



HAL
open science

Apports et limites des options réelles à la décision d'investissement stratégique. Une étude appliquée au secteur des télécommunications

Charlotte Krychowski

► **To cite this version:**

Charlotte Krychowski. Apports et limites des options réelles à la décision d'investissement stratégique. Une étude appliquée au secteur des télécommunications. Sciences de l'Homme et Société. HEC PARIS, 2007. Français. NNT : . pastel-00004617

HAL Id: pastel-00004617

<https://pastel.hal.science/pastel-00004617>

Submitted on 23 Jan 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ECOLE DES HAUTES ETUDES COMMERCIALES

Apport et limites des options réelles à la décision
d'investissement stratégique :
Une étude appliquée dans le secteur des télécommunications

THESE
présentée et soutenue publiquement le 1^{er} octobre 2007
en vue de l'obtention du
DOCTORAT EN SCIENCES DE GESTION
par

Charlotte KRYCHOWSKI

JURY

Président de Jury

Laurent BATSCH
Professeur
Université de Paris-Dauphine

Directeur de Thèse :

Bertrand QUÉLIN
Professeur
Ecole des Hautes Etudes Commerciales

Rapporteurs :

Marcel BOYER
Professeur
Université de Montréal

Dominique JACQUET
Professeur
Université de Paris X-Nanterre

Suffragants :

Jérôme CABY
Professeur
Université de Paris I Panthéon-Sorbonne, IAE Paris

Rodolphe DURAND
Professeur Associé, HDR
Ecole des Hautes Etudes Commerciales

Le Groupe HEC n'entend donner ni approbation ni improbation aux opinions émises dans la thèse, celles-ci devant être considérées comme propres à leur auteur.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont tout d'abord à mon directeur de thèse, Bertrand Quélin, qui m'a soutenue tout au long de ces années de recherche. Je lui transmets mes plus vifs remerciements pour sa disponibilité et son esprit d'ouverture, et pour m'avoir transmis la rigueur de la recherche. Bertrand a créé toutes les conditions me permettant d'effectuer le meilleur travail de recherche possible, et je le remercie tout particulièrement pour les accès aux études terrain qu'il m'a donnés.

Je remercie vivement les professeurs Dominique Jacquet et Marcel Boyer l'honneur d'être les rapporteurs de ce travail

A Dominique Jacquet, j'adresse aussi mes remerciements pour ses cours de finance et son séminaire de recherche sur les options réelles, auxquels j'ai assisté avec beaucoup de plaisir et d'intérêt.

Mes remerciements vont également aux professeurs Laurent Batsch, Jérôme Caby et Rodolphe Durand, qui ont accepté d'examiner ce travail et de participer à ce jury.

Je voudrais aussi témoigner toute ma reconnaissance aux entreprises avec lesquelles j'ai collaboré. J'ai souhaité réaliser une recherche qui établisse un dialogue entre la théorie d'une part, et la complexité ainsi que les contraintes du monde de l'entreprise d'autre part. Sans la confiance et l'intérêt des gens d'entreprise, ce travail n'aurait pas été possible.

Plus spécifiquement, je voudrais remercier Hervé Moal, du cabinet ABD.

J'adresse mes plus profonds remerciements aux représentants de France Telecom, qui ont financé cette recherche, m'ont donné accès à leurs données, et m'ont fait progresser dans ma réflexion par leurs conseils et leurs réactions. Je remercie tout particulièrement François Vulliod, Jacques Cauchy, Etienne Turpin, Lionel Levasseur et Jean-Sébastien Bedo. Mes remerciements vont aussi à l'ensemble des collaborateurs des départements dans lesquels j'ai travaillé : la DPS, la branche réseaux, l'équipe projet « TOP CAPEX » et FT R&D. Il serait difficile de les nommer tous, mais je salue notamment Alain Simonian, Patrick Berthié, Michel Cloud, Eric Zinovieff, François Moulinier et Hélène Martin.

Même si nous avons finalement peu collaboré, je souhaite également remercier Eric Nicolas, chez Renault, pour avoir inspiré et stimulé ma réflexion.

Enfin, cette thèse a bénéficié de l'environnement humain, intellectuel et matériel du programme doctoral d'HEC. Le soutien des autres doctorants m'a été bien utile, ainsi que celui de toute l'équipe du Doctorat : Marie-Anne Dureuil, Danièle Alix, Elisabeth Sartiaux, Dominique de Saint-Aubert et Isabelle Bossard. Je remercie la Fondation HEC pour son financement. J'adresse mes remerciements à tous les professeurs du département *Stratégie et Politique d'entreprise* d'HEC qui m'ont donné des conseils, en particulier Jean-Pierre Nioche et Rodolphe Durand.

TABLE DES MATIERES

Introduction générale	7
I. Contexte et intérêt de la recherche	8
II. Question de recherche.....	10
III. Déroulement de la recherche	11
IV. Plan de la thèse.....	16
Partie I	17
Chapitre 1 – Les options réelles : Une transposition difficile de la théorie à la pratique	19
Section 1 : Les options réelles : une idée séduisante, mais peu utilisée dans le monde de l’entreprise.....	21
Section 2 : Les modalités concrètes d’utilisation des options réelles pour assister les décisions d’investissement : un domaine encore peu exploité par la littérature académique.....	39
Chapitre 2 – Apports possibles des options réelles à la décision d’investissement stratégique 65	
Section 1 : Pour quels types de projets les options réelles sont-elles utiles ?.....	67
Section 2 : Apports et limites des options réelles à la décision d’investissement stratégique.....	78
Section 3 : Validation empirique : contributions et limites des options réelles à la prise de décision d’investissement dans la R&D	92
Partie II	112
Chapitre 3 – Présentation des méthodes actuelles de valorisation d’options réelles	115
Section 1 : Présentation des modèles actuels de valorisation d’options réelles	117
Section 2 : Les limites des modèles actuels de valorisation des options réelles.....	136
Chapitre 4 – Présentation des méthodes de valorisation basées sur les simulations de Monte-Carlo	151
Section 1 : Utilisation des simulations de Monte Carlo par les modèles actuels	153
Section 2 : Proposition d’un modèle simplifié basé sur les simulations de Monte Carlo	165
Partie III	186
Chapitre 5 – Etude de Cas « UMTS »	191
Section 1 : Analyse stratégique de la décision d’investissement.....	194
Section 2 : Valorisation de l’option.....	204
Section 3 : Discussion : Apport des options réelles à la décision de lancement d’une nouvelle technologie	214
Chapitre 6 – Etude de Cas « ADSL »	223
Section 1: Analyse stratégique de la décision d’investissement.....	225
Section 2 : Valorisation de l’option.....	230
Section 3 : Discussion : Apport des options réelles à la décision d’investissement dans un réseau de télécommunications	240
Chapitre 7 – Etude de Cas « R&D »	251
Section 1: Présentation du contexte, et analyse optionnelle de la décision d’investissement	254
Section 2 : Valorisation de l’option.....	269
Section 3 : Discussion : Apport des options réelles à la décision d’investissement dans la R&D	278
Conclusion générale	289
I. Rappel du cheminement de la thèse	290
II. Principales contributions de la thèse.....	290
III. Pistes de recherche future.....	292

Annexes	295
Annexe 1 : Description des outils complémentaires d'aide à la décision d'investissement étudiés dans l'enquête de Ryan & Ryan (2003)	297
Annexe 2 : Liste des entreprises interrogées par Triantis et Borison (2001) sur leur expérience dans la pratique des options réelles	298
Annexe 3 : Liste des revues ayant publié trois articles ou plus sur le thème des options réelles	299
Annexe 4 : Modélisation des sources d'incertitude dans l'étude de cas du Chapitre 5	301
Annexe 5 : Modélisation des sources d'incertitude dans l'étude de cas du Chapitre 6	305
Annexe 6 : Prévision d'évolution des prix de vente dans l'étude de cas du Chapitre 6	306
Annexe 7 : Modélisation des sources d'incertitude dans l'étude de cas du Chapitre 7	306
 Table des matières	 309
Plan détaillé	310
Liste des Tableaux	315
Liste des Figures	317
Liste des Encadrés	319
 Références bibliographiques	 321

Introduction générale

« *In ten years, real options will replace NPV as the central paradigm for investment decisions* »

Copeland et Antikarov, 2001: VI

“*the extent of acceptance and application of real options today has probably not lived up to the expectations created in the mid- to late-1990s*”

Triantis, 2005: 8

I. CONTEXTE ET INTERET DE LA RECHERCHE

La décision d'investissement stratégique est l'allocation des ressources critiques d'une organisation vers des opportunités perçues, dans un environnement en permanente évolution (Bower, 1970 : 7) et source d'incertitude. Plus que par leur taille, les décisions d'investissement stratégiques se définissent par l'impact qu'elles ont sur la performance à long-terme de l'entreprise (Hickson *et al.*, 1986; Van Cauwenbergh *et al.*, 1996: 169) et l'engagement de ressources qu'elles exigent. C'est dire toute l'importance qu'il convient d'accorder à ce processus.

Traditionnellement, les décisions d'investissement ont été considérées comme relevant du domaine de la théorie financière (Grundy & Johnson, 1993). Pourtant, la prise de décision stratégique repose sur des analyses tant financières que stratégiques (Grundy & Johnson, 1993 : 253 ; Barwise et al, 1989).

Ceci s'explique par la **nature complexe de la décision d'investissement stratégique**. Les facteurs affectant l'issue de la décision sont multiples, et ne peuvent être appréhendés que de façon très incomplète par le décideur, doté d'une rationalité limitée (Simon, 1960).

D'après Grundy et Johnson (1993), les outils de valorisation financière ne traitent pas de façon satisfaisante toutes les dimensions de la décision. Les principaux problèmes proviennent du traitement des incertitudes à long terme, des interdépendances entre projets, et des bénéfices intangibles d'un projet.

Inversement, Myers (1984 : 131) souligne que les analyses stratégiques peuvent être erronées. Des erreurs peuvent être faites dans l'identification des domaines permettant d'acquérir un avantage compétitif ou dans l'identification des marchés ouvrant à l'exploitation d'une rente.

De fait, les études empiriques montrent que les modèles de valorisation financière du projet sont très souvent utilisés, mais que le management attache autant, sinon plus d'importance, à des considérations stratégiques provenant de processus informels (Pike, 1983; Carr *et al.*, 1994; Van Cauwenbergh *et al.*, 1996). Ainsi, Butler *et al.* (1991) constatent que la décision est fondée prioritairement sur la qualité du produit, la cohérence avec la stratégie de l'entreprise et la position concurrentielle conférée par la réalisation du projet.

La qualité de la décision d'investissement dépend de la capacité des managers à établir des liens entre les analyses financières et stratégiques.

Malheureusement, ces deux sphères sont difficiles à réconcilier. Myers (1984 :129) indique ainsi qu'un projet d'investissement peut être lancé en dépit d'une VAN (Valeur Actuelle Nette) négative, car le top management estime qu'il a un caractère stratégique. Inversement, un projet dont la VAN est attractive pourra être rejeté s'il ne s'inscrit pas dans la stratégie générale de l'entreprise.

Grundy et Johnson (1993) constatent que les passerelles entre stratégie et finance sont aussi difficiles à établir dans le monde de l'entreprise, que dans la recherche académique.

L'une des principales difficultés auxquelles se heurtent les managers dans la prise de décision est le traitement de l'incertitude (Thompson & Tuden, 1959). L'incertitude peut porter sur les conséquences d'une alternative ou sur les alternatives possibles elles-mêmes (Aharoni, 1966 : 37).

Dans un environnement incertain, il est particulièrement difficile d'anticiper les cash-flows futurs générés par un projet. Bien souvent, suivant l'évolution de la situation, les entreprises sont amenées à modifier les caractéristiques du projet : elles peuvent par exemple en reporter le lancement, en modifier le périmètre – à la hausse ou à la baisse –, élaborer des développements sur la base du projet initial, ou à l'inverse abandonner le projet en cours de route.

Les outils financiers classiques tels que la VAN (Valeur Actuelle Nette) ont été développés à une époque où les entreprises évoluaient dans un univers relativement stable. Or, **l'environnement économique est devenu de plus en plus turbulent** : le cycle de vie des produits est raccourci, les évolutions technologiques sont de plus en plus rapides, et le jeu concurrentiel devient très complexe en raison d'une mondialisation croissante, ainsi que d'un phénomène de dérégulation dans de nombreuses industries.

Dans ce type de contexte, la principale faiblesse de la VAN réside dans son caractère statique. En effet, **le calcul de la VAN suppose que la décision est prise une fois pour toute, sans possibilité de pouvoir dans le futur modifier les caractéristiques de l'investissement.**

Face à ce phénomène, on assiste à l'émergence d'une nouvelle approche, de nature plus dynamique : les **options réelles**. L'idée sur laquelle se fonde ce concept est **qu'une opportunité d'investissement peut être comparée à une option** : l'entreprise réalise un investissement de faible importance pour acquérir l'option ; elle conserve ensuite cette option jusqu'à une date donnée, ou jusqu'à ce qu'une opportunité se présente. Suivant que les circonstances sont alors favorables ou non, elle décidera d'exercer l'option – et d'engranger les gains correspondants – ou bien de l'abandonner. Par exemple, un investissement initial pour s'implanter commercialement dans un nouveau pays pourra par la suite en cas de succès être complété par un développement de l'activité commerciale dans d'autres pays frontaliers.

Le principal apport de l'approche optionnelle réside dans le fait qu'elle reconnaît d'emblée que l'entreprise pourra ajuster sa stratégie d'investissement aux circonstances du moment. Cette « flexibilité managériale » a de la valeur, et il faut en tenir compte dans l'évaluation d'un projet. La valeur totale d'un projet est constituée d'une part de la VAN, et d'autre part de la valeur d'option(s) que contient ce projet. On comprend dès lors pourquoi un projet peut être attractif en dépit d'une VAN négative.

Selon Myers (1984: 135-136), la théorie des options constitue un outil prometteur pour faire dialoguer l'analyse financière et l'analyse stratégique. D'une manière générale, la communauté académique a porté un intérêt grandissant à la théorie des options réelles, et le nombre de publications sur ce sujet a connu un essor très important à partir de la deuxième moitié des années 1990. Certains chercheurs ont vu dans les options réelles le principal outil d'aide à la décision de demain (ex : Copeland et Antikarov, 2001 : VI).

Pourtant, force est de constater que l'utilisation des options réelles dans le monde de l'entreprise reste très limitée : « *Despite the theoretical attractiveness of the real options approach, its use by managers appears to be limited* » (Bowman et Moskowitz, 2001 : 772). Les enquêtes empiriques font état d'une faible diffusion des options réelles dans l'entreprise, et l'une d'elles suggère même que leur pratique est en recul. Pour Triantis (2005: 8), les options réelles ne sont pas à la hauteur des attentes

qu'elles ont suscitées dans la deuxième partie des années 1990, lorsqu'un nombre important d'entreprises a commencé à s'intéresser à cette approche.

Dans ces conditions, on peut s'interroger sur les raisons expliquant ce décalage entre recommandations académiques et pratique des entreprises. La question que nous nous posons est de savoir si, à l'avenir, les options réelles pourront jouer le rôle potentiellement important que les académiques ont identifié dans le processus de décision stratégique.

II. QUESTION DE RECHERCHE

Ce hiatus entre théorie et pratique peut s'expliquer par la nouveauté de l'approche. La VAN a ainsi mis plusieurs décennies à s'imposer largement dans la pratique des entreprises (Teach, 2003). Or, les options réelles constituent un outil encore plus sophistiqué que la VAN. Comme les entreprises ont commencé à utiliser les options réelles au milieu des années 1990, il n'est pas surprenant que celles-ci ne connaissent encore qu'une diffusion limitée dans le monde de l'entreprise.

Néanmoins, **il convient de s'interroger sur deux raisons plus structurelles.**

La première raison touche au **domaine d'application des options réelles.**

Certains chercheurs considèrent que presque toutes les décisions d'investissement sont porteuses d'options (ex : Bowman et Hurry, 1993). Ainsi, Myers (1996 : 100) affirme: "*My point is that real options are nearly ubiquitous.*"

Ce point de vue contraste avec la pratique des entreprises, qui concentrent leur utilisation des options réelles sur des types de décisions d'investissement bien précis, comme des décisions dans la production et l'exploration pétrolière ou dans le développement de programmes de R&D pharmaceutiques.¹

Contrairement aux options financières, les options réelles ne sont pas formalisées par un contrat, et sont donc difficiles à identifier. Rien ne garantit que tous les projets d'investissement peuvent être analysés selon un prisme optionnel. Par exemple, la pression concurrentielle réduit souvent fortement les marges de manœuvre des entreprises. Dans la pratique, celles-ci ne disposent pas nécessairement de la flexibilité qui est à l'origine de la valeur d'option.

Quand bien même un projet serait porteur d'option(s) réelle(s), il n'est pas assuré que la conduite d'une analyse optionnelle apporte des éléments complémentaires utiles par rapport à ceux dont on disposait avec les outils de valorisation « classiques ». Par exemple, Philippe (2004; 2005) montre que, pour des raisons de droits de propriété, il n'est pas toujours approprié d'inclure la valeur d'option dans la valorisation d'une entreprise.

En conséquence, comme le suggèrent McGrath *et al.* (2004: 86), il est pertinent de s'interroger sur les caractéristiques des décisions d'investissement qui bénéficieraient de l'utilisation d'une lecture optionnelle.

La deuxième raison touche aux **modalités d'application des options réelles.**

Un des principaux freins à la diffusion des options réelles dans l'entreprise provient des difficultés de mise-en-œuvre de cette approche.

D'une part, les modèles actuels de valorisation d'options réelles sont perçus comme trop complexes par les managers.² D'autre part, l'adaptation des modèles d'options financières aux décisions d'investissement réelles est un exercice ambitieux, du fait de la difficulté à décrire les caractéristiques de l'option réelle, et/ou à prendre en compte toute sa complexité. Myers (1996 : 100) décrit ce problème de la façon suivante :

¹ Cf. Chapitre 1

² Cf. Chapitre 1

“The second, deeper problem is the fuzziness of many real options. Their terms are not contractual but part and parcel of the business. So they have to be identified and modelled (...). (...) in other cases, for example, strategic investments or outlays for R&D, the real option may be easy to see intuitively but very hard to write down. The option may be too complex, or its boundaries not crisply defined. That may be discouraging for quantitative, normative finance. »

Dans ces conditions, certains chercheurs préconisent une utilisation qualitative des options réelles.³ Il semble en effet que si les entreprises sont réticentes à utiliser les modèles de valorisation d’option, un certain nombre d’entre elles ont intégré la logique optionnelle dans leur façon d’appréhender et de structurer les projets d’investissement (Triantis, 2005).

Mais une utilisation exclusivement conceptuelle risque de vider la théorie des options réelles d’une bonne partie de sa substance, et notamment de sa capacité à faire dialoguer analyses stratégique et financière. Par ailleurs, une telle approche laisse la porte ouverte à une utilisation très subjective des options réelles ; ceci serait particulièrement dommageable, car l’une des principales résistances des dirigeants à l’égard des options réelles provient de leur crainte que cet outil soit utilisé pour justifier le lancement de projets dont la VAN est négative (Triantis & Borison, 2001, 20-21).

Notre question de recherche est donc la suivante :

Comment les options réelles peuvent-elles jouer un rôle dans le processus d’investissement stratégique des entreprises ?

Cette question de recherche générale se décline en trois sous-questions :

- a) **Pour quels types de projets d’investissement les options réelles sont-elles le plus utiles ?**
- b) **Est-il possible de valoriser les options réelles de façon simple, tout en prenant en compte la complexité d’une décision d’investissement stratégique ?**
- c) **In fine, quels sont les apports des options réelles à la décision stratégique : s’agit-il essentiellement d’un outil de valorisation, ou peut-on en attendre des bénéfices de nature plus qualitative ?**

III. DEROULEMENT DE LA RECHERCHE

III.1. Démarche de recherche

Cette recherche s’inscrit résolument dans une démarche appliquée et exploratoire. Comme nous le verrons en détail dans la revue de littérature du Chapitre 1, la littérature sur les options réelles est très largement dominée par des contributions de nature théorique, démontrant l’intérêt des options réelles pour prendre des décisions d’investissement stratégiques.

Dans ce contexte, notre objectif est double.

Il s’agit d’une part, de démontrer que l’intérêt théorique des options réelles pour la décision d’investissement est effectivement validé par des résultats empiriques. D’autre part, il s’agit d’adapter la théorie des options réelles, afin que celle-ci soit applicable dans la pratique.

Ainsi, notre recherche poursuit une **logique prescriptive**, et non descriptive. Notre objectif n’est pas de réaliser une analyse, dans laquelle on essaie de comprendre en quoi les décisions actuelles des entreprises obéissent à une logique optionnelle. Plutôt, nous nous efforcerons de fournir trois clés, qui permettraient aux praticiens d’appliquer la théorie des options réelles :

La première « clé » est celle permettant aux managers de déterminer pour quels types de projets la théorie des options réelles est d’une part applicable, et d’autre part utile.

³ Dans la terminologie anglo-saxonne : « Real Option Reasoning » (ROR) ou « Real Option Thinking »

La deuxième « clé » est une méthodologie générale pour la conduite d'une analyse optionnelle : plutôt que d'opposer, comme le fait souvent la littérature, une version « qualitative » et une version « quantitative » de l'analyse optionnelle, la méthodologie proposée montre comment ces approches peuvent être combinées, avec une prévalence soit de l'une, soit de l'autre suivant les caractéristiques du projet d'investissement étudié. A travers les études de cas réelles, nous montrons aussi comment structurer la problématique étudiée suivant une logique optionnelle, avant d'en venir à la valorisation de l'option.

La troisième « clé » porte sur la valorisation des options réelles. Notre objectif est ici d'adapter les modèles de valorisation d'options réelles, qui ont joué un rôle fondamental pour mettre à jour un certain nombre de mécanismes, mais n'ont pas vocation à être appliqués dans la pratique. Nous proposons un modèle de valorisation original, fondé sur les simulations de Monte Carlo, qui est à la fois plus facile d'utilisation pour les managers, et repose sur des hypothèses plus réalistes que les modèles actuels.

Cette démarche prescriptive, testée de manière empirique, est accompagnée d'un **travail plus exploratoire sur les contributions des options réelles au processus de décision d'investissement stratégique**.

Pour ce faire, nous nous plaçons dans une perspective politique de la décision. Une telle approche contraste avec la littérature sur les options réelles, qui envisage le plus souvent la décision d'investissement sous l'angle de l'acteur rationnel unique.

En fait, la décision d'investissement stratégique fait intervenir de très nombreux acteurs, à tous les échelons de l'entreprise (Bower, 1970). Il s'agit donc de prendre en compte les deux composantes du processus de décision d'investissement stratégique : sa dimension technique – c'est-à-dire la résolution d'un problème complexe – et sa dimension politique – c'est-à-dire la prise en compte des intérêts divergents que soulève le projet d'investissement (Hickson *et al.*, 1989). Nous pourrions ainsi considérer le double rôle des outils d'aide à la décision d'investissement : comme outil de choix, mais aussi comme outil de communication (Van Cauwenbergh *et al.*, 1996).

Concrètement, notre démarche passe par la réalisation d'études de cas fouillées. Nous replaçons la décision d'investissement étudiée dans son contexte stratégique, et analysons les fondamentaux économiques et financiers. En parallèle, nous analysons comme les différents acteurs, à l'intérieur comme à l'extérieur de l'entreprise, se positionnent par rapport au projet d'investissement.

La validation empirique peut passer par plusieurs méthodologies de collecte de données : enquêtes, études de cas, simulations / expérimentations, analyse documentaire, approche historique, etc. Etant donné les objectifs de notre recherche énoncés ci-dessus, la méthodologie retenue s'est naturellement portée sur les études de cas.

Plus spécifiquement, la littérature sur les options réelles a recours à trois grands types de validation empirique : les simulations, les études de cas et les études statistiques de données secondaires ou, plus rarement, de données issues d'enquêtes.

Les simulations / expérimentations sont essentiellement destinées à tester les aspects comportementaux de la décision, ce qui ne constitue pas le cœur de notre recherche.

Les études quantitatives sont mobilisées dans une perspective descriptive. En effet, dans la mesure où les entreprises n'ont, pour l'instant, pas intégré les options réelles dans leur processus de décision stratégique, il n'est pas possible de mener des analyses mesurant par exemple le lien entre recours à l'analyse optionnelle et performance de l'entreprise. Dans la littérature, les études quantitatives sont utilisées pour *décrire* en quoi le comportement des entreprises pourrait s'apparenter à une logique optionnelle. Comme nous l'avons exposé précédemment, cette recherche ne s'inscrit pas dans une logique descriptive.

A l'inverse, **les études de cas se prêtent bien à notre problématique**. Yin (1994) indique que cette méthodologie est particulièrement appropriée pour analyser des situations complexes. Or, notre recherche est précisément motivée par le souci d'adapter la théorie des options réelles au monde réel,

dont la complexité est beaucoup plus importante que celle de l'univers des marchés financiers. Cette complexité provient d'une part, du fait que les options réelles ne sont pas définies par les termes d'un contrat comme les options financières (Myers, 1996), et d'autre part du fait qu'une décision stratégique fait intervenir une multiplicité de facteurs. En conséquence, il est difficile à la fois d'identifier les options générées par un projet d'investissement, et de les valoriser.

Dans ce contexte, l'intérêt des études de cas est double. Elles permettent tout d'abord de montrer dans quelles conditions un projet d'investissement peut être étudié à travers une logique optionnelle, et en quoi les caractéristiques des options réelles se distinguent de celles des options financières. Par ailleurs, les études de cas permettent d'affiner l'arbitrage nécessaire entre d'un côté la complexité des facteurs entrant en ligne de compte pour la décision, et d'un autre côté la nécessaire simplification du réel imposée par tout modèle d'aide à la décision.

Comme nous le détaillerons dans le Chapitre 1, de nombreux chercheurs ont ainsi identifié les études de cas réels comme un des axes prioritaires pour faire progresser la recherche sur les options réelles (Trigeorgis, 1996: 375; Pike, 1997; Laughton, 1998; Triantis, 2005; Hartmann & Hassan, 2006).

Plus précisément, nous avons fait le choix de réaliser des études de cas sous la forme d'une observation *participative*.

Celle-ci a été permise par la réalisation de plusieurs contrats de recherche au sein de différents départements d'un opérateur de télécommunications. L'objet des contrats était, à partir de données empiriques, de montrer l'intérêt et les limites des options réelles à la décision d'investissement, et de produire des éléments de méthodologie.

L'une des principales raisons motivant cette approche est l'accès aux données. En effet, l'analyse de la littérature montre que les études de cas qui ont été réalisées à partir de données publiques restent à un niveau d'analyse peu détaillé en raison de l'absence de données au caractère fortement confidentiel. Par exemple, Bowe et Lee (2004) ont réalisé l'analyse optionnelle d'un projet de construction de ligne de chemin de fer à grande vitesse à partir de données publiques. Les auteurs expliquent que, n'ayant pas accès au processus de décision, il ne leur est pas possible de connaître la valorisation précise du projet effectuée par le management, ni de savoir quelles options sont pertinentes aux yeux du management (p. 82). De façon similaire, Tanguturi et Harmantzis (2006 : 418 ; 2007 : 120) mentionnent la difficulté à déterminer la valeur des paramètres utilisés dans leur modèle d'option, en raison de la nature propriétaire des informations.

Ainsi, l'accès aux données permet de mener une analyse pertinente pour la description de la ou des option(s) qui ont le plus d'importance dans la décision d'investissement étudiée, et pour valoriser cette ou ces option(s).

Par ailleurs, l'accès au terrain permet d'obtenir une vision privilégiée du processus de décision d'investissement. Cette vision est partielle, car une décision d'investissement stratégique implique un grand nombre d'acteurs, et se déroule sur une longue période de temps. Avoir une vision globale du processus aurait nécessité, pour chacune des trois décisions d'investissement étudiées, de réaliser un grand nombre d'entretiens auprès d'un échantillon représentatif des différentes parties prenantes, et de couvrir l'analyse sur une longue période de temps. Un tel programme de recherche va bien au-delà des objectifs de cette thèse.

Il n'empêche qu'un travail de recherche dans les locaux de l'entreprise a permis d'avoir accès à des documents, de réaliser des observations, d'effectuer des entretiens informels et de participer à certaines réunions de travail. L'ensemble du matériel collecté dans ces occasions nous a permis de formuler des conclusions sur le rôle que peut jouer l'analyse optionnelle au cours de l'ensemble du processus de décision stratégique et pour le pilotage de réalisation du projet.

Enfin, il faut noter que nous avons choisi d'analyser des décisions d'investissement en cours, et non pas se rattachant à des projets déjà lancés ou déjà réalisés. Ce choix s'explique par trois grandes raisons : a) le manque de documents écrits décrivant des projets d'investissement précédents ; b) le manque d'intérêt des managers pour collaborer à l'analyse d'une décision passée ; c) le risque de rationaliser a posteriori les principaux facteurs de la décision, en faisant abstraction de toutes les sources d'incertitude qui existaient au moment de la décision d'investissement.

Le principal inconvénient d'une méthodologie fondée sur les études de cas est le risque d'une faible validité. Comme le conseille Yin (1994), nous avons compensé cette faiblesse en réalisant une étude multi-cas. Nos résultats reposent sur trois études de cas, que nous avons sélectionnés de façon à être les plus complémentaires possibles en termes de nature de l'objet d'investissement, de l'environnement concurrentiel et du type d'option réelle étudiée.⁴

III.2. Niveau d'analyse et périmètre de la recherche

Une partie de la littérature, en particulier les publications s'intéressant aux options réelles comme outil de valorisation de l'entreprise, utilisent l'entreprise comme niveau d'analyse.

Dans le cadre de cette thèse, l'exposé de la question de recherche a montré que nous nous intéressons à la décision d'investissement. Nous avons donc retenu – selon les chapitres – **le projet ou le portefeuille de projets comme unité d'analyse**. Comme l'expliquent Jensen et Warren (2001: 179), la théorie des options nécessite une compréhension rigoureuse des coûts et revenus potentiels générés par l'option. Pour cette raison, elle est pertinente à l'échelle d'un projet ou d'un groupe de projets, plutôt qu'à l'échelle de l'entreprise.

Dans le Chapitre 2, consacré à une réflexion générale sur le rôle des options réelles dans la décision d'investissement, nous avons effectué notre analyse au niveau du portefeuille de projets. En effet, les différents projets d'investissement des entreprises sont souvent interdépendants, et leur valeur ne peut pas être estimée de façon isolée. C'est particulièrement le cas dans le domaine de la R&D, que nous avons choisi comme terrain d'étude du Chapitre 2.

Cependant, pour les études de cas, nous avons restreint notre unité d'analyse à un seul projet d'investissement. L'analyse détaillée et la valorisation optionnelle d'un projet d'investissement constituent déjà une tâche difficile, et il aurait été trop complexe à ce stade d'étudier et de valoriser les interactions avec d'autres projets.

La littérature étudiant l'application des options réelles à la décision d'investissement concentre presque exclusivement son analyse sur l'évaluation du projet d'investissement. Or, comme le soulignent Arnold et Hatzopoulos (2000: 621), l'évaluation financière d'un projet ne constitue qu'une petite partie du processus de réalisation d'un investissement.

Bower (1970 : 7-8) explique que la réalisation d'un investissement passe par trois sous-processus :

- (1) des activités intellectuelles de perception, d'analyse et de choix, qui sont généralement désignées par l'expression « prise de décision » ;
- (2) le processus social de mise en œuvre des politiques formulées ;
- (3) le processus dynamique de révision de la politique, dans la mesure où des modifications dans les ressources de l'organisation ou dans son environnement viennent remettre en cause l'analyse initiale.

Dans la continuité de Bower, de Bodt et Bouquin (2001) identifient quatre sous-processus de la décision d'investissement : la construction, la promotion, l'évaluation et le suivi du projet.

Dans ce contexte, **l'ambition de cette thèse est d'étendre l'analyse à l'ensemble du processus d'investissement**.

Naturellement, nous consacrons une bonne partie de notre recherche à la valorisation et à la sélection du projet d'investissement. Mais nous nous intéressons également aux phases en amont de définition du projet, en nous demandant comment les caractéristiques du projet peuvent être modifiées de façon à

⁴ Cf. Introduction de la Partie III de la thèse

créer des options réelles. Arrivés au stade de l'évaluation et de la sélection du projet, nous ne considérons pas cette phase comme un événement unique, mais plutôt comme une succession d'étapes : si la décision a été repoussée, nous nous demandons en quoi les options réelles peuvent contribuer à guider l'organisation jusqu'au point de décision suivant. Enfin, lorsque le projet principal est lancé, nous nous intéressons également au suivi, et à la façon dont les options réelles peuvent contribuer à identifier les opportunités de développement du projet.

III.3. Choix du terrain

Nous avons choisi le **secteur des télécommunications comme terrain de validation empirique**, pour deux principales raisons.

En premier lieu, l'industrie des télécommunications se prête particulièrement bien à la lecture optionnelle. Il s'agit en effet d'un **secteur dont l'intensité capitalistique est forte**. Des dépenses d'investissements très lourdes doivent être consenties en amont pour acheter les licences et déployer les infrastructures réseau. De plus, ces décisions d'investissement doivent être prises **dans un contexte de forte incertitude**.

Le secteur des télécommunications est marqué par l'utilisation de technologies de pointe, dont le rythme de renouvellement est rapide, générant des incertitudes à la fois sur le succès technique et sur les débouchés commerciaux de la nouvelle technologie. Par ailleurs, ce secteur d'activité a connu des transformations profondes suite à un mouvement de dérégulation. Il évolue désormais dans des structures de marché oligopolistiques, qui donnent naissance à de fortes incertitudes sur la dynamique concurrentielle.

Ainsi, Alleman (2002) conclut que le secteur des télécommunications est « mûr » pour la méthodologie des options réelles. Pourtant, l'auteur constate que les options réelles n'ont pas été largement appliquées dans cette industrie.

Cela nous amène à la deuxième raison pour laquelle nous avons choisi le secteur des télécommunications comme terrain d'étude : le **faible nombre de publications académiques sur l'application des options réelles au secteur des télécommunications**.

Comme nous le montrerons dans le Chapitre 1, la littérature a développé de nombreuses applications des options réelles dans les secteurs du pétrole, de l'électricité et de la pharmacie. En revanche, les applications dans le secteur des télécommunications sont rares :

- Trois articles présentent des modèles d'options réelles dans les télécommunications : Keppo (2005) pour valoriser un contrat de location de bande passante et d'Halluin *et al.* (2007) pour déterminer la date optimale d'extension de la capacité d'un réseau de téléphonie mobile. Murto et Keppo (2002) combinent options réelles et théorie des jeux, et offrent une illustration de leur modèle avec un exemple théorique de déploiement d'un réseau de télécommunications.
- On peut par ailleurs relever trois études de cas dans ce secteur : l'étude de Iatropoulos *et al.* (2004), publiée dans *Communications et Stratégies*, ainsi que celles de Harmantzis et Tanguturi (Tanguturi & Harmantzis, 2006; Harmantzis & Tanguturi, 2007). Toutefois, la contribution de ces études de cas reste limitée, en raison d'un recours à des modèles de valorisation très simples – le modèle de Black et Scholes – et / ou le manque de données réelles.

Les investissements des opérateurs de télécommunications sont bien sûr destinés à la mise en place des infrastructures de réseau, auxquelles nous consacrons deux études de cas.⁵ Mais une part assez importante des investissements est également consacrée à la R&D.

⁵ Chapitres 5 et 6

En matière stratégique, la R&D est un domaine essentiel pour la création de valeur (Boer, 2002). Or, le Chapitre 1 montrera que la littérature a identifié la R&D comme l'un des domaines privilégiés pour l'application des options réelles. Dans le même temps, certains chercheurs s'interrogent sur les conditions dans lesquelles les options réelles sont applicables aux décisions de R&D, et mentionnent clairement la nécessité de réaliser des études de cas *réels* dans ce domaine (Perlitz *et al.*, 1999: 267; Huchzermeier & Loch, 2001: 99).

C'est pourquoi il nous a paru particulièrement intéressant de développer une étude de cas appliqué à un projet R&D d'un opérateur de télécommunications.⁶ D'une manière plus générale, nous nous interrogeons dans le Chapitre 2 sur les conditions et les modalités d'utilisation des options réelles pour piloter les projets de R&D d'un opérateur de télécommunications.

IV. PLAN DE LA THESE

La thèse est structurée en **trois grandes parties**.

La première partie décrit le cadre de la recherche, et fait le point sur les apports et les limites des options réelles à la décision d'investissement.

- Le Chapitre 1 vient confirmer l'intérêt de la recherche : la revue de littérature permet d'établir que d'une part, l'utilisation des options réelles par les entreprises est marginale, et d'autre part, que les publications académiques sont largement dominées par des contributions théoriques. Il y a donc un potentiel de recherche important pour adapter les modèles à la pratique, et valider de façon empirique l'intérêt de l'analyse optionnelle.
- Le Chapitre 2 est une réflexion générale sur le rôle que peuvent jouer les options réelles dans le processus de décision d'investissement, et leurs limites d'application. Ces considérations sont illustrées par un diagnostic sur l'apport possible des options réelles effectué au sein du département R&D d'un opérateur de télécommunications.

La Partie II se concentre sur les aspects de la valorisation, qui constitue l'une des principales pierres d'achoppement à l'application des options réelles dans le monde de l'entreprise.

- Le Chapitre 3 fait le point sur les modèles de valorisation existants, et les adaptations nécessaires de ces modèles pour qu'ils soient plus faciles à mettre en œuvre ;
- Le Chapitre 4 propose un modèle de valorisation d'option réelle basé sur les simulations de Monte Carlo, permettant une plus grande facilité d'utilisation que les modèles actuels, tout en reposant sur des hypothèses plus compatibles avec la complexité d'une décision d'investissement réelle.

La Partie III est consacrée aux études de cas. L'objectif des études de cas est de valider, de façon empirique, la pertinence de l'analyse optionnelle comme outil d'aide à la décision d'investissement. En particulier, l'accent est mis sur l'intérêt de valoriser un projet en prenant en compte la valeur d'option qu'il génère. Plus largement, les études de cas constituent une base de réflexion sur la contribution des options réelles à l'ensemble du processus de décision d'investissement stratégique.

- Le Chapitre 5 est une étude de cas sur une décision d'investissement dans un réseau de téléphonie mobile de 3^{ème} génération ;
- Le Chapitre 6 porte sur une décision d'investissement dans un réseau d'accès à haut débit ;
- L'étude de cas du Chapitre 7 porte sur une décision de déploiement d'un projet de R&D.

La conclusion générale dresse le bilan des enseignements tirés dans la thèse, et en particulier des études de cas. Elle identifie les limites de cette recherche, et propose des pistes de recherche futures.

⁶ Chapitre 7

Partie I

*Chapitre 1 – Les options
réelles : Une
transposition difficile de
la théorie à la pratique*

Introduction

Le point de départ de cette thèse est constitué par le contraste entre d'un côté, l'intérêt des académiques pour les options réelles comme outil d'aide à la décision d'investissement, et d'un autre côté la faible utilisation de cette approche par les entreprises.

L'objectif du présent chapitre est d'étudier plus précisément, et de mieux comprendre ce décalage entre académiques et praticiens, à partir d'une revue de la littérature.

Dans un premier temps, nous plantons le décor, en détaillant les positions occupées par les deux « parties » :

- Du côté des académiques, nous revenons sur les fondements théoriques des options réelles et les grandes évolutions de la littérature à ce sujet. Nous présentons et discutons les principaux arguments développés par les académiques sur l'intérêt des options réelles pour assister les décisions d'investissement stratégiques en contexte d'incertitude.
- Du côté des entreprises, nous étudions les éléments factuels témoignant de l'usage des options réelles par les entreprises, et identifions les motifs possibles pour lesquels les entreprises utilisent ou n'utilisent pas les options réelles.

La faible diffusion des options réelles peut bien sûr s'expliquer par des raisons conjoncturelles. Les nouveaux outils de gestion mettent généralement longtemps à s'imposer dans la pratique des entreprises, a fortiori lorsqu'il s'agit d'outils sophistiqués comme les options réelles.

Néanmoins, **il convient aussi de s'interroger sur des motifs plus structurels.** La faible utilisation des options réelles laisse suggérer que la littérature académique sur les options réelles ne propose pas un outil correspondant aux besoins et aux contraintes des entreprises.

Dans la deuxième partie du chapitre, **nous étudions comment et dans quelle mesure l'abondante littérature sur les options réelles s'intéresse à l'applicabilité de cet outil aux décisions stratégiques des entreprises** : la littérature donne-t-elle aux praticiens les modalités concrètes d'utilisation des options réelles ? Les chercheurs ont-ils établi pour quels types de décisions d'investissement les options réelles étaient adaptées ? Les articles académiques ont-ils validé de façon empirique l'intérêt et les limites des options réelles pour prendre des décisions d'investissement ?

C'est le type de questions auxquelles nous nous efforçons de répondre dans le panorama de la littérature présenté en deuxième section du chapitre.

SECTION 1 : LES OPTIONS REELLES : UNE IDEE SEDUISANTE, MAIS PEU UTILISEE DANS LE MONDE DE L'ENTREPRISE

Dans cette section, nous présentons tout d'abord la théorie des options réelles dans ses grandes lignes : l'origine dans l'univers des options financières, les principes fondateurs de la logique optionnelle, et les principaux types d'options réelles.

Nous expliquons l'intérêt de cette approche pour aider à la décision d'investissement en contexte incertain, et montrons l'enthousiasme des chercheurs pour ce nouveau concept à travers la forte progression du nombre de publications sur ce thème.

Face au succès académique des options réelles, nous tentons de mieux cerner les pratiques des entreprises, et les raisons pour lesquelles celles-ci n'utilisent pas les options réelles. Pour ceci, nous nous appuyons sur les résultats d'enquêtes réalisées auprès des entreprises sur les principaux outils utilisés pour leurs décisions d'investissement. Nous exploitons également les exemples de cas réels d'utilisation des options réelles recensés dans la littérature.

I. Les options réelles : une idée séduisante

1.1. La genèse des options réelles

Les options réelles sont un concept directement dérivé de la théorie des options financières, qui est apparu à la fin des années 1970. C'est Myers (1977) qui a le premier véritablement formalisé le concept d'options réelles, en considérant qu'une firme est composée de deux types d'actifs : d'une part des *actifs réels*, qui sont dédiés aux activités existantes, et ont des valeurs de marché indépendantes de la stratégie d'investissement de la firme ; d'autre part des *options réelles*, qui sont des opportunités d'investir dans des actifs réels si les circonstances à l'avenir sont favorables.

Myers a pu mettre en évidence que ces opportunités de croissance, bien que n'étant pas matérialisées par un contrat précis, avaient le même profil d'investissement que les options financières : après avoir effectué un faible investissement initial, l'entreprise pourra plus tard, si les conditions sont favorables, investir de façon plus importante dans ces possibilités de croissance. Myers a qualifié ces options de « réelles » par opposition aux options « financières », dont la valeur est liée à l'évolution d'actifs financiers. Ainsi est né le concept d'options réelles.

1.2. Le principe de l'option réelle

1.2.1. Définition d'une option réelle

Les options réelles correspondent à l'application de la théorie des options financières (cf. Encadré 1.1) à des actifs réels. Ainsi, le détenteur d'une option réelle dispose, en toute souveraineté, du droit : (1) de faire ou de ne pas faire un acte futur ; (2) de prendre ou de ne pas prendre une certaine décision à une date ou avant une date future (McGrath, 1999).

Généralement, l'entreprise acquiert l'option en effectuant un investissement initial (par exemple un test de marché, la formation d'un joint-venture, un projet R&D pilote) qui lui donne l'opportunité d'investir d'avantage. Par la suite, l'entreprise pourra choisir si elle exerce ou non l'option, en développant le projet à grande échelle (lancement du produit sur l'ensemble du marché, développement d'une filiale possédée à 100%, lancement d'un grand programme de R&D) (Coff & Laverty, 2001 : 73).

Encadré 1.1 : Définition d'une option financière

Une option financière est le droit, mais pas l'obligation, d'acheter (ou de vendre) à une date future (l'échéance), et à un prix déterminé (prix d'exercice ou « strike ») un actif financier (par exemple une action) appelé actif sous-jacent, dont le prix varie sur le marché de façon aléatoire (Jaeger, 1996).

Pour disposer d'un tel droit, il faut payer une prime d'option.

On distingue :

- Les options d'achat (« call ») des options de vente (« put ») ;
- les options européennes (exercice possible à une date donnée) des options américaines (exercice possible à tout moment avant une date donnée).

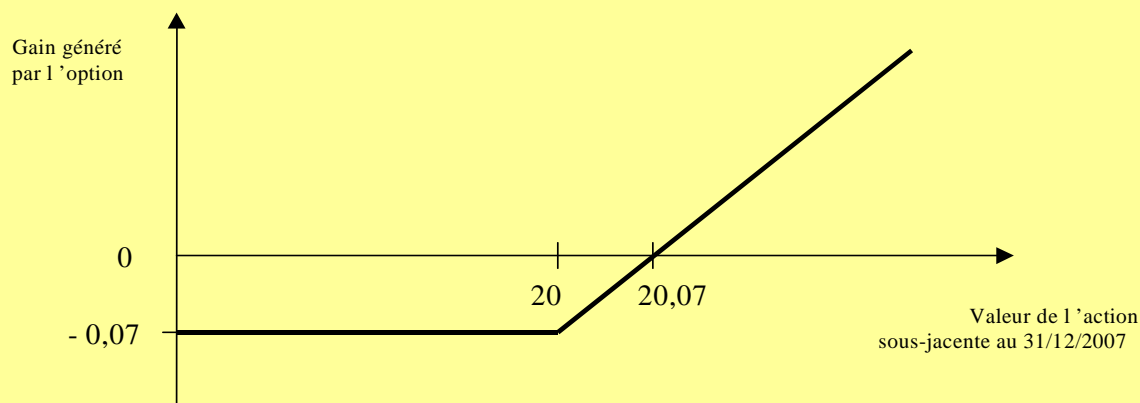
Prenons l'exemple d'une option d'achat (« call ») sur une action, dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Option européenne
- Date d'échéance : 31/12/2007
- Prix d'exercice: 20€

Le 01/09/2007, le cours de l'action sous-jacente était de 11 €. A cette date, l'option étudiée était valorisée par le marché à 0,07 €. Pour comprendre à quoi correspond une telle prime d'option, étudions le gain potentiel (« pay-off ») généré par ce « call » à l'échéance :

- Si le 31/12/2007, le cours est par exemple à 22 €, le détenteur exerce son option, et gagne : $(22 - 20) - 0,07 = 1,93 \text{ €}^1$
- Si le 31/12/2007, le cours est à 15€, le détenteur n'exerce pas son option et perd 0,07 €⁷

Figure E1.1 : Gain généré par l'option d'achat suivant la valeur de l'action à l'échéance



Les gains potentiels générés par l'achat de l'option sont schématisés dans la Figure E1.1. Celle-ci montre que les pertes sont limitées à 0,07 €, quel que soit le cours de l'action sous-jacente à l'échéance. En revanche, les gains potentiels générés par l'achat du « call » sont infinis.

Cette asymétrie dans les gains générés est l'une des principales caractéristiques des options.

Le modèle fondateur de la valorisation des options réelles est celui de Black et Scholes (1972).⁸ La formule de Black et Scholes établit la valeur de l'option (européenne) en fonction de cinq paramètres : le cours actuel de l'actif sous-jacent (S) ; le prix d'exercice de l'option (K) ; le taux d'intérêt sans risque (r_f) ; le temps restant jusqu'à l'échéance de l'option (T) ; la volatilité du cours du sous-jacent (σ).

⁷ Pour être tout à fait rigoureux, il faudrait actualiser la valeur de la prime

⁸ Cf. Chapitre 3, section 1, § II.1. Valorisation de l'option européenne : le modèle de Black et Scholes

La décision sera prise en fonction d'un événement aléatoire, ou plus exactement en fonction de la valeur prise par une variable aléatoire qui suit un processus stochastique et dont on ne peut pas prévoir les valeurs futures (Goffin, 1999). En conséquence, les options réelles sont engendrées dans des contextes de forte incertitude.

Pour illustrer cette définition théorique des options réelles, nous pouvons aussi reprendre l'exemple de la mine de charbon donné par Goffin (1999). L'exemple porte sur l'achat de la concession d'une mine de charbon pour une durée de 10 ans. Cette décision est prise dans un contexte de forte incertitude, car le prix futur de la houille n'est pas connu.

En fait, l'achat de la concession peut être assimilée à l'acquisition d'une option d'achat (« call ») américaine, dont :

- le sous-jacent correspond aux cash-flows générés par l'exploitation de la mine ;
- le prix d'exercice est constitué par les investissements nécessaires pour mettre la mine en exploitation ;
- l'échéance est la durée de la concession.

Comme dans le cas des options financières, on peut observer une asymétrie dans les bénéfices potentiels dégagés par l'acquisition de la concession :

- Si à l'avenir le prix de la houille a baissé, alors l'exploitation de la mine de charbon ne sera pas rentable ; ceci signifie que l'entreprise n'exercera pas son option, et aura perdu un montant équivalent au prix de la concession (la « prime » d'option).
- Si au contraire le prix de la houille a augmenté, alors l'exploitation de la mine de charbon sera rentable. En conséquence, l'entreprise exercera son option en exploitant la mine de charbon.

Ainsi, les options réelles peuvent être utilisées pour déterminer la valeur de la concession. Comme dans le cas des options financières, le montant de la prime d'option sera fonction de cinq principaux paramètres évoqués dans l'Encadré 1.1.

Tableau 1.1 : Analogie entre les options financières et les options réelles

Option financière	Variable	Option réelle
Cours actuel de l'actif sous-jacent	S	Valeur actuelle des cash-flows futurs, calculés avec le prix actuel de la houille
Prix d'exercice	K	Investissements nécessaires pour mettre la mine en exploitation
Taux d'intérêt sans risque	r	Taux d'intérêt sans risque
Temps s'écoulant jusqu'à l'échéance	T	Durée du projet (concession de 10 ans)
Volatilité du cours de l'actif sous-jacent	σ	Volatilité de la valeur du projet → directement corrélée à la volatilité du prix de la houille

Le Tableau 1.1 établit un parallèle entre les paramètres « financiers », et les paramètres « réels » du projet d'investissement. Toute la théorie des options réelles est ainsi fondée sur l'analogie avec les options financières.

1.2.2. L'apport principal des options réelles : la valorisation de la flexibilité managériale

Le principal apport des options réelles sur le calcul de VAN réside dans le fait que les projets d'investissement sont étudiés de façon dynamique, et non plus statique (Leslie & Michaels, 1997).

Lorsqu'un projet d'investissement est valorisé par un calcul de VAN, il est analysé dans une configuration bien précise, sans prendre en compte le fait qu'il peut subir des modifications par la suite. Dans la pratique, on peut observer que les projets d'investissements sont rarement menés de cette manière : les entreprises prennent souvent les décisions de façon incrémentale, et ajustent leur stratégie d'investissement afin de prendre en considération les informations nouvelles (Gertner & Rosenfield, 1999: 14). Ces opportunités d'adaptation ne sont pas prises en compte dans le calcul de la VAN (Kulatilaka, 1993: 271).

En conséquence, les entreprises tendent à manipuler le taux d'actualisation utilisé pour le calcul de VAN, afin d'en corriger les faiblesses. Ainsi, Luehrman (1997) indique que les entreprises sont parfois amenées à choisir, pour les projets stratégiques, un taux de rentabilité minimum (« *hurdle rate* ») inférieur à celui des projets d'investissement plus routiniers. Ceci permet de corriger le fait que les projets stratégiques porteurs d'options de croissance sont sous-valorisés avec la méthode de la VAN. Inversement, on peut observer que certaines entreprises effectuent le calcul de VAN à l'aide de taux d'actualisation bien supérieurs à ceux recommandés par la théorie financière classique (MEDAF). Pour Busby et Pitts (1997) cette pratique est un moyen de prendre en compte l'option d'attente dont peut disposer une entreprise dans le lancement d'un projet. De façon similaire, nous avons pu observer dans le cadre de nos recherches empiriques que les entreprises pouvaient implicitement prendre en compte l'option d'attente en calculant la VAN sur un nombre d'années de cash-flows inférieur à la durée de vie réelle de projet.⁹

Contrairement à la VAN, l'approche optionnelle part du principe que le projet d'investissement pourra évoluer au gré des circonstances : par exemple, si le projet rencontre un succès plus large qu'escompté initialement, il pourra être étendu à d'autres zones géographiques, ou à d'autres lignes de produits. Si inversement, les conditions économiques s'avèrent peu favorables, on pourra envisager un repli, voire un abandon du projet. Cette « flexibilité managériale » face à l'aléa a de la valeur, qui est capturée à travers la valeur d'option.

⁹ Cf. Chapitre 6, section 3, § I. *Une meilleure appréciation de la valeur du projet et de la date optimale d'investissement*

Encadré 1.2 : Les options réelles : Un outil permettant de valoriser la flexibilité managériale

Copeland et Keenan (1998) illustrent à travers l'exemple de l'usine pilote la supériorité des options réelles sur la VAN pour prendre des décisions d'investissement en contexte incertain.

Une entreprise s'interroge sur l'opportunité de construire une usine pour fabriquer un nouveau produit. La construction de l'usine nécessite un investissement de 100 millions de \$. Le succès du nouveau produit est incertain : il y a 50% de chances que la construction de l'usine génère des ventes importantes, et conduise à des cash-flows pour une valeur totale actualisée de 150 millions de \$. Mais il y a 50% de chances que la valeur actualisée des cash-flows n'atteigne que 10 millions de \$. Par ailleurs, il est envisageable de construire une usine pilote pour un montant de 10 millions de \$, avec la possibilité un an plus tard de construire la grosse usine pour un montant de 110 millions de \$ si le produit se révèle un succès.

Le calcul de la VAN conduirait à rejeter le projet. En effet, l'espérance de la valeur actuelle des cash-flows est de 80 millions de \$ (moyenne entre 150 et 10 millions de \$), ce qui ne compense pas les coûts de construction (100 millions de \$).

Mais plutôt que d'investir immédiatement 100 millions de \$, l'entreprise pourrait construire l'usine pilote, ce qui revient à se constituer une option de croissance sur la grosse usine :

- Si le projet est un succès, l'entreprise construira la grosse usine un an plus tard. Ceci lui coûtera 10% plus cher que si elle avait construit d'emblée la grosse usine – soit 110 millions de \$ – mais par ailleurs générera des cash-flows pour une valeur globale de 150 millions de \$. Comme la construction de l'usine pilote a reporté les cash-flows d'une année, il faut actualiser ces derniers (ici au taux de 10%). La valeur du projet en cas de succès est alors de 35 millions de \$ (135 millions de cash-flows moins 100 millions d'investissements) ;
- si au contraire, le projet est un échec, l'entreprise ne construira pas la grande usine.

En simplifiant le raisonnement à l'extrême, la valeur globale du projet est donc de 7,5 millions de \$ (la moyenne entre 35 millions et 0, moins 10 millions de construction de l'usine pilote).

La valorisation par les options réelles conduit donc à une décision diamétralement opposée à celle qui aurait été prise sur la base d'un calcul de Valeur Actuelle Nette.

1.3. Présentation des principaux types d'options réelles

L'exemple d'option réelle présenté dans l'Encadré 1.2 correspond à une option d'attente. Il existe d'autres leviers de flexibilité que l'attente, et la littérature a ainsi élaboré une classification des options réelles en fonction du type de flexibilité en cause.

Les Tableaux 1.2 et 1.3 présentent les principaux types d'options réelles figurant dans la littérature.

Tableau 1.2 : Principales options d'investissement (et de désinvestissement)

Type d'option	Principe	Exemple d'application
Option de croissance	Possibilité, grâce à la réalisation d'un investissement initial, d'avoir accès à de futures opportunités de développement	Construction d'une usine pilote
Option d'apprentissage	Un investissement initial donne la possibilité d'acquérir de l'information, et donc de prendre une décision d'investissement en connaissance de cause	Forage pétrolier
Option de report (ou d'attente)	Possibilité d'attendre avant de prendre la décision de réaliser ou non un investissement	Exploitation d'une mine de charbon
Option de séquençage	Le découpage d'un investissement en plusieurs phases donne la possibilité d'abandonner (modifier) le projet en cours de route si l'information nouvelle est défavorable	Construction d'une centrale électrique
Option d'abandon	Possibilité d'abandonner un projet en cours de route grâce à la revente des actifs concernés	Revente de la flotte en cas d'échec dans l'exploitation d'une ligne maritime

Tableau 1.3 : Principales options d'exploitation

Type d'option	Principe	Exemple d'application
Option d'arrêt temporaire et option de production à débit variable	Possibilité, suivant l'évolution des circonstances, de stopper l'exploitation d'un actif (ou de réduire / d'augmenter l'envergure de l'exploitation)	Fermeture temporaire d'une raffinerie si le « crack-spread » est trop faible
Option de choix de l'input minimum	Possibilité de produire un output avec l'input le moins onéreux	Production d'énergie par une centrale thermique soit avec du gaz, soit avec du fuel
Option de choix de l'output maximum	Possibilité, à partir d'un input donné, de produire l'output permettant une rentabilité maximale	Production par une laiterie soit de lait UHT, soit de lait pasteurisé, soit de yaourts

La littérature fait traditionnellement la distinction entre deux grandes catégories d'option :

- les options d'exploitation (« operating options ») ou options de flexibilité : ces options tirent leur valeur de la flexibilité dont disposent les dirigeants dans le cadre de l'exploitation d'un actif donné (on raisonne ici à niveau d'équipement constant) ;
- les options d'investissement / désinvestissement (« Investment and dis-investment options ») ou options stratégiques : ces options tirent leur valeur de la flexibilité dans le rythme et les modalités d'acquisition (de cession) d'un actif.

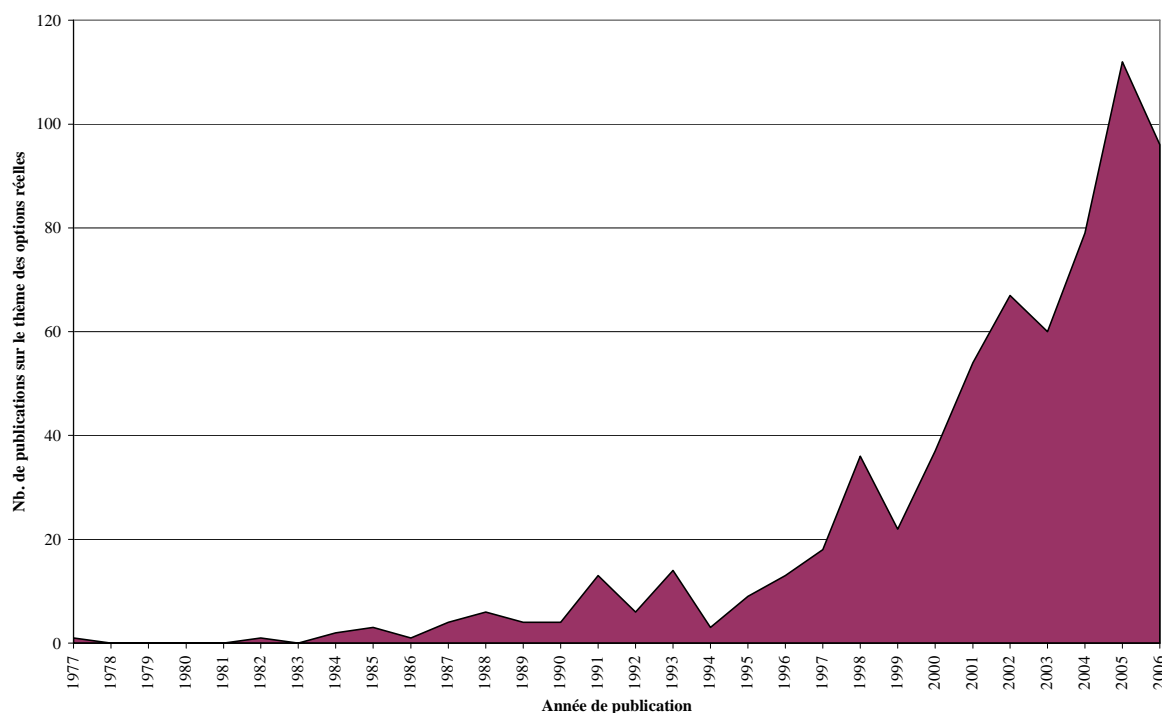
A ces deux catégories d'options, Amram et Kulatilaka (1999) ajoutent les options de nature contractuelle (« contractual options »). Il s'agit des termes d'un contrat qui modifient le profil de risque supporté par les détenteurs de l'actif. Les auteurs citent l'exemple des capital risqueurs, qui incluent fréquemment dans les contrats des clauses leur donnant un droit de priorité en cas de faillite (protection à la baisse) ou encore le droit d'investir ultérieurement aux côtés d'autres investisseurs (protection contre un phénomène de dilution en cas de hausse).

On pourrait aussi citer les clauses contenues dans les contrats de leasing automobile ou de location immobilière évoquées par Bowman et Hurry (1993) comme des exemples typiques d'options réelles de nature contractuelle.

1.4. Un succès grandissant dans le monde académique

La Figure 1.1 représente le nombre d'articles publiés chaque année dans les principales revues anglo-saxonnes d'économie et de gestion sur le thème des options réelles. Les détails de la constitution de la base bibliographique sont présentés plus loin, en Section 2.¹⁰

Figure 1.1 : Evolution du nombre de publications sur les options réelles



Après l'article fondateur de Myers (1977), la problématique des options réelles est restée assez confidentielle dans la littérature académique, et s'est cantonnée essentiellement à la publication de modèles théoriques de valorisation d'options réelles (ex: Stulz, 1982; Brennan & Schwartz, 1985; McDonald & Siegel, 1985; McDonald & Siegel, 1986; Majd & Pindyck, 1987).

L'essor de la thématique des options réelles remonte à la fin des années 1990. Il a sans doute été favorisé par la publication d'ouvrages, qui ont permis de faire connaître ce paradigme à un plus large public (Dixit & Pindyck, 1994; Trigeorgis, 1996; Amram & Kulatilaka, 1999; Copeland & Antikarov, 2001).

Les options réelles ont progressivement donné naissance à une abondante littérature, avec plus d'une centaine d'articles publiés en 2005, et presque autant en 2006.

Il existe aujourd'hui un large consensus pour affirmer qu'en contexte incertain, les options réelles constituent une approche plus appropriée que les outils classiques d'aide à la décision d'investissement, en particulier la Valeur Actuelle Nette (VAN).

Pour de nombreux académiques, les options réelles marquent un tournant majeur dans les méthodes de décisions d'investissement. Copeland et Antikarov (2001) avaient même prédit qu'en l'espace de dix ans, les options réelles auraient supplanté la VAN comme outil d'aide à la décision d'investissement.

¹⁰ Cf. section 2, § I. *Panorama général de la littérature sur les options réelles*

Pourtant, nous allons voir dans les pages qui suivent que les options réelles sont très peu utilisées par les entreprises pour prendre les décisions d'investissement.

II. Une faible utilisation des options réelles par les entreprises

II.1. Résultats d'enquêtes sur l'utilisation des options réelles par les entreprises

Le contraste entre l'engouement des académiques pour les options réelles, et la faible utilisation de celles-ci par les entreprises est saisissant.

Trois principales enquêtes ont estimé le pourcentage des entreprises ayant recours aux options réelles. Les enquêtes ne sont pas directement comparables, et on observe des différences dans les résultats. Mais ces études convergent clairement vers le constat que les options réelles constituent un outil peu utilisé par les entreprises.

II.1.1 L'étude de Graham et Harvey (2001)

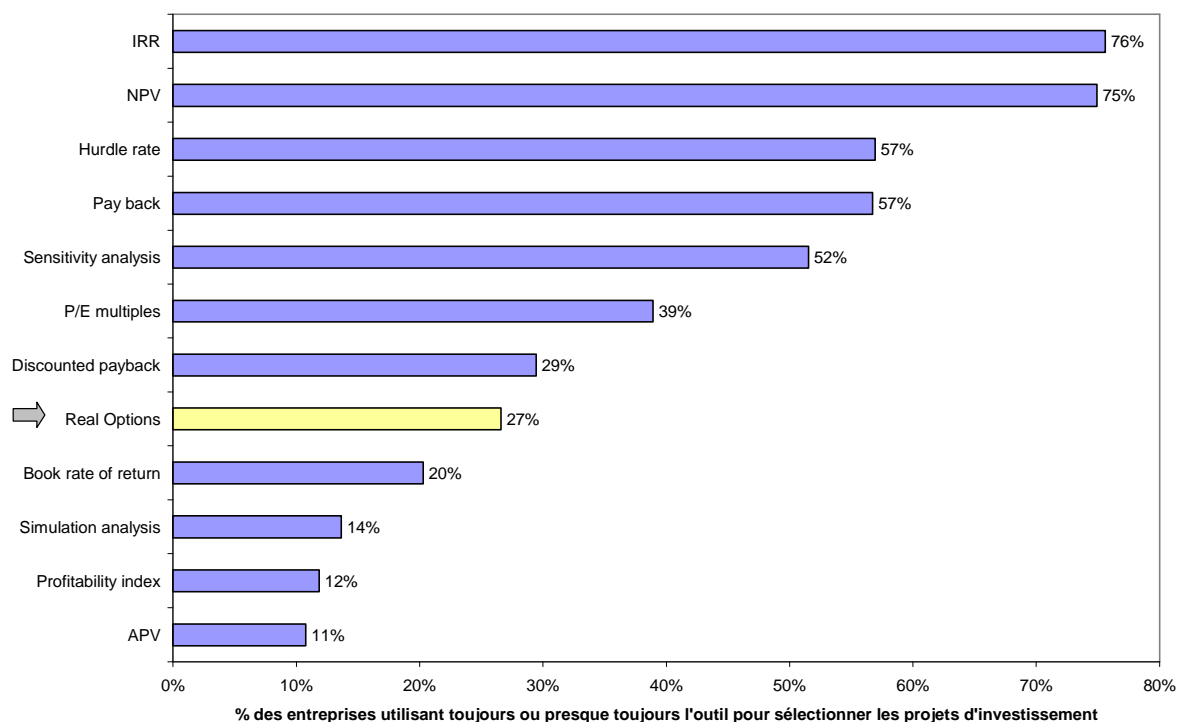
Graham et Harvey (2001) ont mené une enquête auprès de 392 directeurs financiers d'entreprises Nord Américaines. L'échantillon était constitué d'entreprises de toutes tailles : 26% des entreprises de l'échantillon avaient un chiffre d'affaires annuel inférieur à 100 millions \$, tandis que 42% avaient un chiffre d'affaires annuel supérieur à 1 milliard \$.

L'enquête révèle que les techniques les plus utilisées pour prendre les décisions d'investissement sont, de loin, le taux de rentabilité interne (IRR, Internal Rate of Return), et la Valeur Actuelle Nette (NPV, Net Present Value). Ces deux techniques sont « toujours ou presque toujours » utilisées par respectivement 76% et 75% des entreprises de l'échantillon. A l'inverse, seulement 27% des directeurs financiers interrogés ont recours aux options réelles.

On peut par ailleurs noter que l'enquête n'a pas établi de lien entre d'une part le recours aux options réelles et d'autre part les caractéristiques de l'entreprise (taille, niveau d'endettement, activité manufacturière ou non, entreprise cotée ou non). Les seuls facteurs pouvant influencer sur le recours aux options réelles (statistiques significatives à un seuil de 10%) sont

- l'âge du directeur financier : les directeurs financiers de moins de 59 ans sont plus susceptibles d'utiliser les options réelles ;
- l'environnement réglementaire de l'entreprise : les entreprises appartenant à des secteurs non régulés sont plus susceptibles de recourir aux options réelles que les entreprises subissant une importante régulation (comme par exemple les « utilities »).

Figure 1.2. : Techniques utilisées par les entreprises pour sélectionner les projets d'investissement (Graham & Harvey, 2001)



Source : Graham et Harvey (2001)

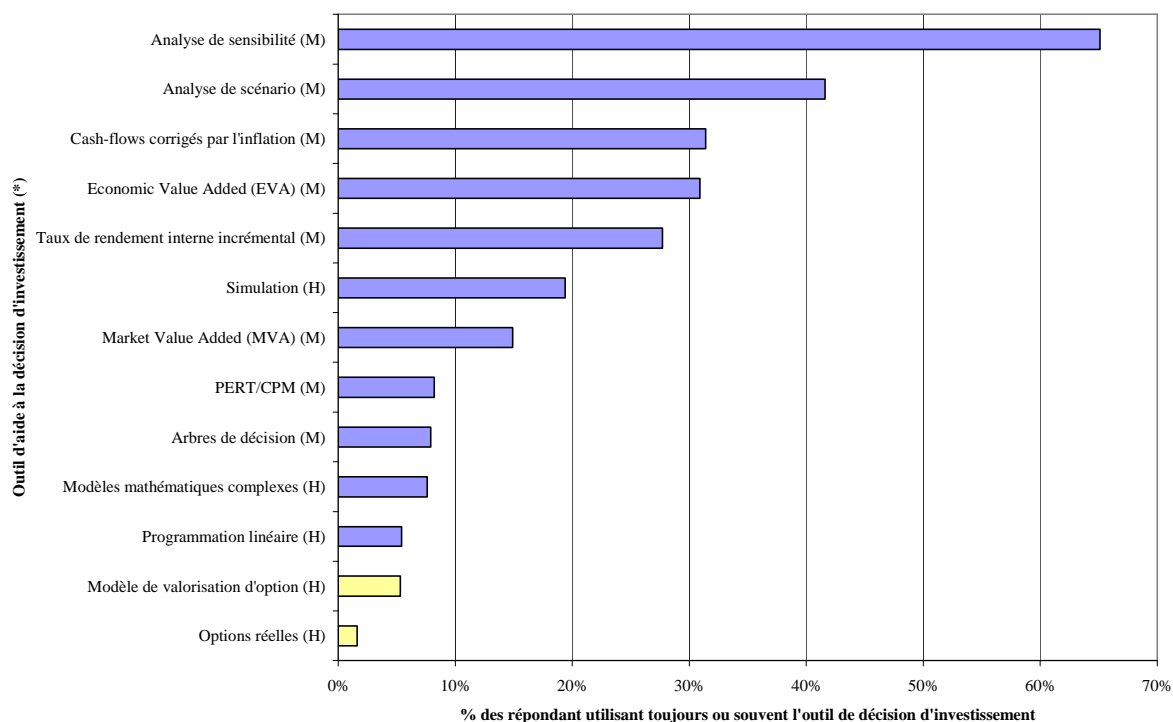
II.1.2. L'étude de Ryan et Ryan (2002)

Ryan et Ryan (2002) ont mené une enquête auprès des directeurs financiers des entreprises du « Fortune 1000 » pour déterminer quels sont les outils d'aide à la décision d'investissement les plus utilisés. Ils présentent les résultats basés sur 205 réponses.

Comme Graham et Harvey (2001), les auteurs constatent une nette domination de la VAN et du taux de retour interne (IRR), qui sont « toujours ou souvent » utilisés par respectivement 85,1% et 76,7% des entreprises.

En complément des sept techniques les plus souvent utilisées, les chercheurs ont interrogé les directeurs financiers sur leur utilisation de 13 outils complémentaires. Parmi ceux-ci, les options réelles apparaissent comme l'outil le moins utilisé (Figure 1.3).

Figure 1.3 : Taux d'utilisation d'outils d'aide à la décision d'investissement complémentaires (Ryan & Ryan, 2002)



Note (*): Niveau de difficulté technique : M = moyen ; H = haut. La description des outils est précisée en Annexe 1 de la thèse.

Source : Ryan et Ryan (2002)

Les auteurs distinguent deux modes d'utilisation des options réelles.

- Le premier correspond à l'emploi de modèles de valorisation d'option, comme le modèle binomial ou le modèle de Black et Scholes.
- Le deuxième correspond à la prise en compte des « opportunités d'extension, de contraction ou d'abandon du projet d'investissement avant la fin de sa vie ». Ryan et Ryan ne donnent malheureusement pas d'avantage de précision sur les modalités d'utilisation ; on peut supposer qu'ils font ici référence à une utilisation qualitative des options réelles (« *Real Option Thinking* »), par opposition à une approche quantitative utilisant les modèles de valorisation d'option.¹¹

Tableau 1.4 : Détail du taux d'utilisation des options réelles par les entreprises

	Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais	Toujours ou souvent	Toujours, souvent ou parfois	Rarement ou jamais
	100%	75%	50%	25%	0%	≥ 75%	≥ 50%	≤ 25%
Modèle de valorisation d'option	0.0%	5.3%	15.5%	26.7%	52.4%	5.3%	20.9%	79.1%
Options réelles	0.5%	1.1%	9.7%	23.2%	65.4%	1.6%	11.4%	88.6%

Source : Ryan et Ryan (2002)

¹¹ Le faible taux d'utilisation de l'outil « options réelles » pourrait en partie s'expliquer par l'ambiguïté de l'intitulé.

C'est l'approche quantitative fondée sur les modèles d'option qui est la plus utilisée des deux : 5,3% des entreprises l'utilisent « toujours ou souvent » (soit dans plus de 75% des cas) ; le taux d'utilisation passe à 20,9% si l'on inclut les réponses « parfois » (soit dans plus de 50% des cas).

II.1.3. Les enquêtes de Bain & Co.

Le cabinet de conseil Bain & Company a initié en 1993 un cycle d'études sur les outils de management les plus employés par les entreprises (Rigby & Gillies, 2000). Le spectre est plus large que celui des enquêtes de Graham et Harvey (2001) ou Ryan et Rayan (2002), car il couvre l'ensemble des outils de management, et non pas seulement d'aide à la décision d'investissement.

L'enquête de 2000 a été effectuée auprès de 451 cadres dirigeants d'entreprises présentes dans plus de 30 secteurs d'activité (Teach, 2003). Elle a révélé que 6% des entreprises nord américaines, et 13% des entreprises dans le reste du monde, ont recours aux options réelles (Colleau & Rigby, 2001).

Tableau 1.5. : Taux d'utilisation d'outils de management par les entreprises (Bain & Co.)

	% d'entreprises utilisatrices	
	Amérique du Nord	Reste du monde
Planning stratégique	89%	74%
Mission de l'entreprise	85%	74%
Stratégies de croissance	65%	47%
Qualité totale	40%	56%
Réduction du temps de cycle	38%	27%
Intégration de la chaîne de production	35%	27%
Développement de scénarios	21%	34%
Analyse des options réelles	6%	13%
Analyse des bouleversement de marché	5%	13%

Source : Colleau et Rigby (Bain & Co.), 2001

Par ailleurs, l'enquête de 2000 révèle un taux d'abandon élevé : environ 32% des utilisateurs ayant eu recours aux options réelles ont par la suite abandonné cet outil, alors que le taux moyen d'abandon sur l'ensemble des outils de management testés est de 11%.

La déception des entreprises à l'égard des options réelles est confirmée par le fait que le taux d'utilisation des options réelles semble en baisse. En effet, Bain & Co. a supprimé les options réelles de sa liste des outils de management dans son enquête de 2003.

II.1.4. L'enquête de De Bodt et Bouquin (2001)

En France, la faible diffusion des options réelles est confirmée par une enquête postale réalisée par De Bodt et Bouquin (2001) sur le contrôle de l'investissement : parmi les 44 entreprises ayant répondu au questionnaire, seulement deux affirment utiliser « des critères issus de la théorie des options réelles » pour réaliser les études de rentabilité de leurs décisions d'investissement.

Tableau 1.6 : Outils utilisés par les entreprises françaises pour la sélection de projets d'investissement

<i>On utilise, pour l'étude de la rentabilité</i>	Nombre de réponses (plusieurs réponses possibles)	% par rapport au total de réponses	% par rapport à l'échantillon
TIR	30	38,0%	68,2%
Période de remboursement	26	32,9%	59,1%
VAN	16	20,2%	36,4%
Retour sur capitaux engagés*	3	3,8%	6,8%
Création de valeur*	2	2,5%	4,6%
Critères issus de la théorie des options	2	2,5%	4,6%
TOTAL	79	100%	

*: Ces critères ont été mentionnés par les répondants eux-mêmes

Source : De Bodt et Bouquin, 2001

Ces enquêtes d'utilisation comportent naturellement certaines limites, et il faut interpréter les résultats avec prudence.

En premier lieu, comme le soulignent Graham et Harvey (2001 : 197), les résultats reflètent les opinions des personnes interviewées, et ces opinions ne correspondent pas nécessairement à la pratique.

Dans le cas précis des options réelles, qui constituent un instrument complexe d'utilisation, il est fort possible que le pourcentage total d'utilisateurs indiqué par les deux études ci-dessus incluent des entreprises n'utilisant qu'une version très simpliste (par exemple uniquement qualitative) des options réelles.

Ainsi, Triantis et Borison (2001) estiment que l'utilisation des options réelles comme un raisonnement sous forme qualitative (c'est-à-dire la formulation avec un vocable optionnel de la logique qui sous-tend un investissement) semble beaucoup plus répandue que l'analyse formelle des options réelles.

Busby et Pitts (1997)¹² notent pour leur part que les explications données par les répondants laissaient suggérer que ceux-ci ne donnaient pas aux options réelles le même sens que celui utilisé dans la littérature.

D'autre part, comme le remarquent Ryan et Ryan (2002), la réponse donnée reflète l'opinion d'un seul individu, et non pas la pratique de l'entreprise dans son ensemble.

Or, Triantis et Borison (2001) indiquent qu'il existe pour une entreprise plusieurs stades pour l'utilisation des options réelles. Celles-ci peuvent n'avoir été testées que dans le cadre d'un projet pilote. Ou bien l'entreprise peut se trouver dans un deuxième stade, où les options réelles sont utilisées pour certains types de décisions seulement.¹³ Seul un très petit nombre d'entreprises (ex : Texaco, Intel) tendraient vers un stade où les options réelles sont véritablement intégrées dans le processus de décision d'investissement de l'entreprise.

Par ailleurs, les auteurs notent que l'utilisation des options réelles dans les entreprises se fait généralement à l'initiative du middle management.

Le fait que le directeur financier d'une (grande) entreprise ne mentionne pas les options réelles comme outil d'aide à la décision, ne signifie donc pas que celles-ci ne sont pas utilisées au sein de l'organisation.

¹² Voir Section 1, § II.3. pour plus de détails sur l'enquête de Busby et Pitts (1997). Voir aussi à ce sujet le Chapitre 2

¹³ L'étude de la littérature suggère par exemple que, dans le cas des compagnies pétrolières, les options réelles sont uniquement employées pour les décisions d'investissement dans les activités amont (exploration et production).

En dépit de ces précautions d'usage, il apparaît clairement à travers ces enquêtes que les options réelles ne constituent à l'heure actuelle qu'un outil d'aide à la décision d'investissement marginal pour les entreprises.

II.2. Une utilisation des options réelles qui semble pour l'instant concentrée sur certains secteurs d'activité

Si le taux moyen d'utilisation des options réelles reste faible, il semble que celles-ci sont majoritairement utilisées dans un nombre restreint de secteurs d'activité, et pour des problématiques précises.

Dans le Tableau 1.7, nous avons rassemblé les entreprises citées dans la littérature comme ayant utilisé les options réelles. Le tableau précise par ailleurs le type d'investissement pour lequel les options réelles ont été utilisées.

En complément du Tableau 1.7, nous avons placé en Annexe 2 une liste de 33 multinationales utilisant les options réelles à des degrés de sophistication divers. Il s'agit d'entreprises auprès desquelles Triantis et Borison (2001) ont mené une série d'entretiens pour comprendre leurs motivations pour les options réelles, et le type d'usage qu'elles en font.

Le Tableau 1.7 montre que l'utilisation des options réelles est concentrée sur trois secteurs d'activité.

1. Le secteur pétrolier, pour des investissements concernant les activités « amont » d'exploration et de production (de pétrole ou de gaz).
2. Le secteur de l'énergie
 - Les options réelles y sont utilisées comme outil de trading dans le négoce de l'électricité. Ainsi, la Tennessee Valley Authority s'est fondée sur les options réelles pour négocier des options d'achat de capacités de production électrique (Tufano, 1996; Coy, 1999; Copeland & Antikarov, 2001).
 - La littérature relate par ailleurs des exemples dans lesquels les options réelles ont permis de valoriser des actifs de production flexibles face à la forte volatilité des prix de l'électricité.
3. Le secteur de la pharmacie et des biotechnologies

Les options réelles sont utilisées soit à des fins internes, pour piloter les programmes de R&D (ex : Genentech dans Triantis et Borison, 2001), soit comme support de négociation avec des tiers pour l'achat et la vente de sociétés ou de licences (ex : Merck dans Nichols, 1994).

L'identification de ces trois pôles comme principaux utilisateurs des options réelles est confirmée par Boer (2002: 28). L'échantillon d'entreprises interrogées par Triantis et Borison (2001) est lui aussi largement dominé par des entreprises présentes dans le secteur de l'énergie et du pétrole (14 entreprises sur 33).

Tableau 1.7. : Exemples d'entreprises ayant utilisé les options réelles

Secteur d'activité	Type d'investissement	Exemples d'entreprises	Références bibliographiques
Pétrole & gaz	Exploration / production	Anarkado Petroleum	Coy, 1999; Copeland & Antikarov, 2001 ; Miller & Park, 2002
		Chevron	Coy, 1999
		Exxon, Mobil,	Copeland & Antikarov, 2001
		Texaco	Copeland & Antikarov, 2001, Miller & Park, 2002
		Shell	Kemna, 1993
		BP Amaco	Miller & Park, 2002
Energie	Outil de trading	Tennessee Valley Authority	Tufano, 1996; Coy, 1999; Copeland & Antikarov, 2001
		Dynegy, Amerada Hess, Duke Energy, Aquila Energy	Boer, 2002
	Valorisation de sociétés / d'actifs de production ou transport du courant électrique	Enron	Coy, 1999; Copeland & Antikarov, 2001
		Société Générale, Réseau de Transport d'Electricité	Colloque du 25/1/2002 à l'Université Paris IX Dauphine
		New England Electric	Miller & Park, 2002
Pharmacie / bio-technologies	- Choix d'investissement dans la R&D - Valorisation de sociétés ou de licences	Merck	Nichols, 1994; Bowman & Moskowitz, 2001
		Genentech	Triantis & Borison, 2001; Boer, 2002 ; Miller & Park, 2002
		Amgen	Stuart, 1999 ; Boer, 2002
		Eli Lilly, Baxter International, Genzyme, Smith & Nephew	Boer, 2002
Industrie	Production et distribution	Hewlett Packard	Coy, 1999; Copeland & Antikarov, 2001; Triantis & Borison, 2001 ; Miller & Park, 2002 ; Billington & Triantis, 2003
		ICI	Copeland & Antikarov, 2001
		Intel	Triantis & Borison, 2001; Teach, 2003
	Utilisation de machines de production flexibles	ABB Motors	Bengtsson & Olhager, 2002
	Lancement d'un nouveau produit	Philips	Pennings & Lint, 2000
	Négociation de droits (licences, annulation / modification de commandes)	Intel, Pratt & Whitney	Copeland & Antikarov, 2001
		Airbus Industries, Cadence Design Systems	Copeland & Antikarov, 2001; Miller & Park, 2002
		Toshiba	Miller & Park, 2002
	Décision de sortie d'un marché	Apple	Copeland & Antikarov, 2001
Services	Système d'information	Yankee 24	Benaroch et Kaufman, 2000
		Client anonyme d'IBM	Bardhan et al., 2004

L'intérêt des entreprises dans ces secteurs pour les options réelles s'explique par la combinaison d'une forte intensité capitalistique, et d'un niveau d'incertitude élevé concernant la rentabilité des projets d'investissement : incertitude sur les prix du pétrole et la taille des réserves d'un gisement dans le secteur pétrolier, sur les prix de l'électricité dans le secteur de l'énergie, sur le succès puis l'acceptation par les autorités sanitaires, ainsi que sur la taille des débouchés commerciaux dans le secteur de la pharmacie et des biotechnologies.

Comme le notent Triantis et Borison (2001), il s'agit d'industries à forte culture d'ingénieurs, qui sont familières avec l'utilisation d'outils d'analyse sophistiqués, et cherchent en permanence à améliorer leurs méthodes de valorisation des projets et d'allocation du capital.

Par ailleurs, dans le cas du secteur du pétrole et de l'électricité, la valeur des investissements est fortement corrélée au prix d'actifs négociés sur les marchés financiers. Les options réelles étudiées dans ces secteurs se trouvent dans une logique proche de celle des options financières. La transposition des modèles de valorisation d'options financières à la valorisation des options réelles est donc relativement aisée. En particulier, l'accessibilité à des prix négociés sur les marchés financiers permet de plus facilement estimer la valeur de paramètres de calcul comme la volatilité ou le taux de dividende, ce qui est un des obstacles majeurs rencontrés dans la valorisation des options réelles.¹⁴

Dans le secteur de la pharmacie, on ne retrouve pas cette proximité avec les marchés financiers. En revanche, la flexibilité managériale face à l'incertitude est importante. Le séquençage des programmes de recherche en plusieurs phases ou l'élaboration de contrats contingents avec les entreprises partenaires suivent une logique incrémentale, qui est au cœur du raisonnement optionnel.

En dehors de ces trois grands pôles d'utilisation, on peut relever diverses applications des options réelles par des entreprises, notamment pour des décisions d'investissement concernant :

- l'emplacement ou la construction des actifs de production ;
- le système d'information.

Enfin, on note des applications intéressantes des options réelles pour assister les entreprises dans leur négociations de droits, que ce soit des droits de licence ou encore des droits d'annulation ou de modification de commandes. Ces applications correspondent à la valorisation de ce qu'Amram et Kulatilaka (1999) dénomment «les options contractuelles». ¹⁵ On se rapproche dans ce cas de la logique des options financières, car les caractéristiques de l'option étudiée sont en grande partie décrites dans le contrat négocié. En conséquence, on se retrouve dans un environnement plus « balisé » que pour les autres catégories d'options réelles, et la valorisation s'en trouve facilitée.

Ces exemples d'utilisation des options réelles par les entreprises sont d'une portée limitée.

D'une part, même dans les secteurs où les options réelles sont censées être particulièrement adaptées, il ne faut pas déduire de quelques exemples d'utilisation que le recours aux options réelles est une pratique courante de l'industrie.

D'autre part, la littérature ne nous donne qu'une faible visibilité sur les modalités concrètes d'utilisation des options réelles par les entreprises. Dans presque tous les cas, seule la problématique de la décision d'investissement et sa nature optionnelle sont décrites. Mais à l'exception de Merck (Bowman & Moskowitz, 2001), on ne connaît pas la teneur des analyses optionnelles effectuées par ces entreprises.

Ce que suggèrent en tous cas ces exemples d'utilisation, c'est que les options réelles semblent utiles pour des décisions d'investissement intervenant sur des problématiques bien précises.

¹⁴ Cf. Chapitre 3, section 2, § II.2.4. *Une grande difficulté à évaluer la valeur des paramètres utilisés par les modèles*

¹⁵ cf. Section 1, § I.3. *Présentation des principaux types d'options réelles*

Cet état de fait contraste fortement avec une partie de la littérature annonçant les options réelles comme un nouveau paradigme, et l'universalité du raisonnement optionnel comme logique sous-jacente aux décisions d'investissement stratégiques (ex: Bowman & Hurry, 1993).

II.3. Les raisons possibles de la faible utilisation des options réelles par les entreprises

Deux principales raisons peuvent expliquer la faible utilisation des options réelles par les entreprises : la nouveauté de l'approche, et les difficultés de mise-en-œuvre.

II.3.1. Nouveauté de l'approche

Les options réelles sont une approche récente, qui n'est enseigné en MBA que depuis une dizaine d'années, et leur faible diffusion dans le monde de l'entreprise provient en premier lieu du fait qu'elles sont peu connues du grand public.

Busby et Pitts (1997) ont envoyé un questionnaire postal aux directeurs financiers de toutes les entreprises du FT-SE 100. Les auteurs ont reçu sur cet échantillon 44 questionnaires complétés, dont les réponses étaient exploitables.

L'enquête révèle que le concept d'options réelles reste largement méconnu dans le domaine de l'entreprise. A la question « Avez-vous déjà entendu parler du terme « options réelles », « options de croissance » ou « options d'exploitation », seulement respectivement 6, 3 et 2 répondants (sur 44) ont répondu par l'affirmative.

De façon plus récente et plus ciblée, on peut mentionner le constat de Slade (2001: 198) dans le secteur minier. D'après Trigeorgis (1996), le secteur minier se prête particulièrement bien à l'application des options réelles. Pourtant, lors des entretiens menés dans le cadre de la préparation de son étude sur les mines de cuivre canadiennes, Slade a constaté que très peu des personnes responsables des décisions d'investissement avaient déjà entendu parler de la théorie des options réelles, et qu'aucun d'entre eux ne l'avaient jamais utilisée.

En dehors de cet obstacle conjoncturel, apparaît une difficulté plus structurelle, liée à la complexité de la théorie des options réelles.

II.3.2. Complexité de l'outil et difficultés de mise-en-oeuvre

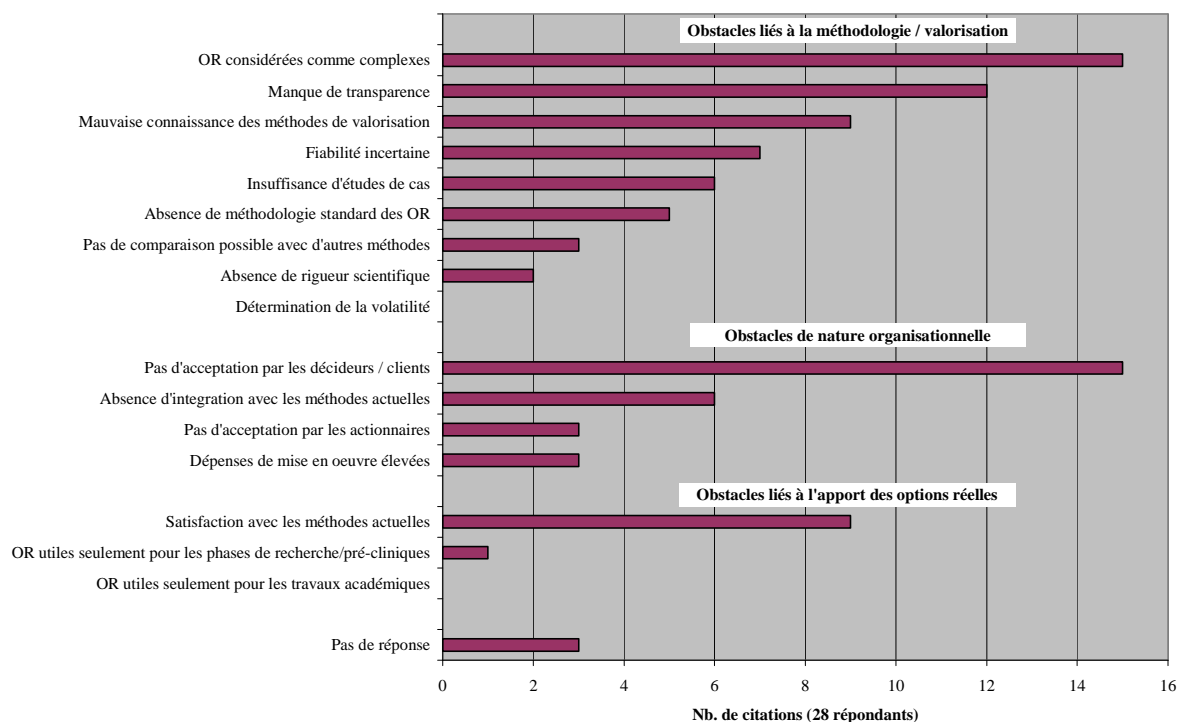
D'une manière générale, Ryan et Ryan (2002) constatent que plus un outil d'aide à la décision d'investissement est complexe à mettre en œuvre, moins il est utilisé par les entreprises. La Figure 1.3 montre ainsi que tous les outils dont le niveau de difficulté technique est élevé se retrouvent en fin de classement du taux d'utilisation par les entreprises.

Dans les commentaires généraux effectués par les directeurs financiers ayant répondu à l'enquête de Busby et Pitts (1997), les deux répondants qui avaient lu l'ouvrage de Dixit et Pindyck (1994) ont indiqué que la théorie des options réelles dans sa forme actuelle était trop compliquée, et devait être simplifiée pour pouvoir être utilisée dans la pratique par les entreprises.

Pour leur part, Hartmann et Hassan (2006) ont mené une enquête auprès de 28 grands groupes pharmaceutiques sur l'utilisation des options réelles pour prendre des décisions d'investissement dans la R&D.

Les chercheurs ont proposé une série de raisons expliquant la faible utilisation des options réelles. Nous les avons regroupées en trois grandes catégories : les raisons de nature méthodologique, les raisons de nature organisationnelle, et l'absence de besoin d'une méthodologie comme celle des options réelles (Figure 1.4).

Figure 1.4 : Principaux obstacles à l'utilisation des options réelles cités par 28 grands groupes pharmaceutiques



Source : d'après Hartmann et Hassan, 2006, p.350

Les résultats, présentés dans la Figure 1.4, montrent la domination des obstacles de nature méthodologique. La théorie des options réelles est perçue comme trop complexe ; elle manque de transparence, et souffre de l'absence d'une méthodologie d'application standard. Les méthodes de valorisation possibles sont multiples, et la fiabilité des résultats est jugée incertaine.

Même dans le secteur du pétrole, qui est l'un des secteurs d'application des options réelles privilégiés, la mise en œuvre des options réelles apparaît difficile.

Ainsi, Cortazar et Schwartz (1997: 126) soulignent que, en dépit du consensus existant sur l'intérêt des options réelles pour prendre les décisions d'investissement dans le domaine des « commodities », le rythme d'adoption est très lent. Les auteurs expliquent ce phénomène par la complexité de la théorie des options réelles.

Cortazar et Schwartz précisent que la plupart des entreprises utilisant les options réelles se limitent à des formules d'approximation, comme le modèle de Black et Scholes. Or, ces modèles ont été développés pour valoriser des options *financières*. Ils ne prennent pas en compte les spécificités propres aux décisions d'investissement dans le domaine des « commodities ».

* * *

Une approche qui semble adaptée uniquement à des problématiques d'investissement précises, une méthodologie complexe à mettre en œuvre, et qui n'a pas effectué sa mutation de l'univers financier vers l'univers réel : voici quelques pistes de réflexion contribuant à expliquer le déphasage entre académiques et praticiens au sujet des options réelles.

Dans la section suivante, nous nous efforçons d'analyser en quoi la littérature académique, si abondante soit-elle, a étudié la pertinence et les limites de l'approche des options réelles comme outil d'aide à la décision d'investissement stratégique.

SECTION 2 : LES MODALITES CONCRETES D'UTILISATION DES OPTIONS REELLES POUR ASSISTER LES DECISIONS D'INVESTISSEMENT : UN DOMAINE ENCORE PEU EXPLOITE PAR LA LITTERATURE ACADEMIQUE

Dans cette section, nous dressons une cartographie de la littérature sur les options réelles. L'objectif de cette étude est d'analyser dans quelle mesure les recherches académiques ont étudié la pertinence et les limites des options réelles comme outil d'aide à la décision d'investissement stratégique.

Pour ceci, nous procédons en deux temps :

- Dans un premier temps, nous dressons un panorama général de l'ensemble de la littérature sur les options réelles. En passant en revue environ 700 articles sur les options réelles publiés dans les principales revues anglo-saxonnes de sciences économiques et de gestion, nous identifions quels sont les types de problématiques pour lesquelles les options réelles sont les plus utilisées.
- Dans un deuxième temps, nous nous concentrons sur les articles plus spécifiquement consacrés à l'application des options réelles à la décision d'investissement stratégique. Pour comprendre l'apport et les limites de la littérature à notre sujet de recherche, nous analysons ces articles avec une double question.
Il s'agit d'une part de comprendre la problématique des auteurs, et d'étudier en quoi celle-ci permet de mieux cerner l'applicabilité des options réelles à la décision d'investissement. D'autre part, nous analysons le type de recherche effectué dans ces publications, et plus précisément leur degré de validation empirique. En effet, nous avons évoqué dans la section 1 le décalage entre d'un côté la multiplication des publications sur les options réelles, et de l'autre côté la faible utilisation faite par les entreprises de cette approche. L'une des raisons de cette faible utilisation réside dans la forte opacité de la théorie des options réelles aux yeux des managers. Il est donc important de déterminer dans quelle mesure la littérature actuelle a su s'adapter à la réalité des entreprises, ou relève essentiellement de considérations théoriques.

I. Panorama général de la littérature sur les options réelles

Le panorama général de la littérature sur les options réelles qui est présenté dans les pages qui suivent a été établi en analysant une base de 705 articles de recherche. Ces articles ont été publiés dans les principales revues anglo-saxonnes de sciences économiques et de gestion avec comité de lecture¹⁶. Ils ont été sélectionnés dans la base de recherche « Business Source Premier » à l'aide des critères suivants :

- Date de publication comprise entre 1977 (date de la 1^{ère} publication des options réelles, avec l'article fondateur de Myers) et avril 2007 ;
- Articles comportant l'expression « real option » dans le titre, les mots clés, ou le résumé.

Nous avons regroupé les revues étudiées en six grandes disciplines :

- Revues de finance ;
- Revues d'économie ;
- Revues de recherche opérationnelle et sciences du management ;
- Revues de management et stratégie ;
- Revues spécialisées sur d'autres fonctions de l'entreprise que la stratégie ou la finance (marketing, comptabilité / contrôle, droit / fiscalité, etc.) ;
- Revues sectorielles.

¹⁶ Nous avons rajouté à cette base de données les articles publiés dans la revue « Harvard Business Review » qui n'est pas à comité de lecture

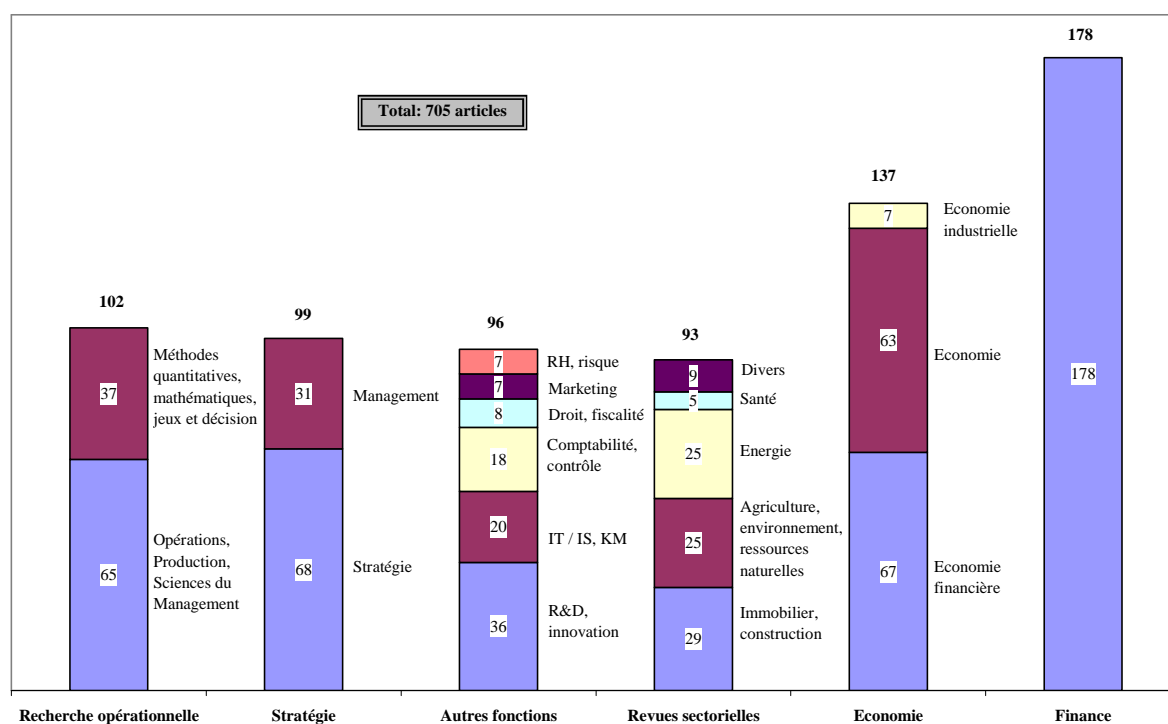
Pour une plus grande visibilité, certaines de ces disciplines ont été divisées en « Catégories ».

L'attribution des revues par discipline / catégorie a été établie essentiellement sur la base de la segmentation retenue dans la « Journal Quality List »¹⁷, qui reprend les classements des principales revues d'économie et de gestion effectués par de grandes universités américaines, européennes et asiatiques, ainsi que par le Financial Times.

Lorsque cela était nécessaire, nous nous sommes également appuyés sur le classement des revues du CNRS, qui est très complet dans le domaine des sciences économiques, et couvre un certain nombre de revues qui ne sont pas citées dans la JQL. Pour un nombre restreint de revues à plus faible diffusion, nous avons également utilisé la description de la revue donnée par la base « Business Source Premier ».

Les principaux résultats de l'étude sont résumés dans les Figures 1.5 et 1.6. La Figure 1.5 détaille la répartition du nombre d'articles par discipline / catégorie. Pour permettre au lecteur de mieux appréhender à quoi correspondent les différentes disciplines, la Figure 1.6 présente les revues les plus représentatives de chacune d'entre elles.¹⁸

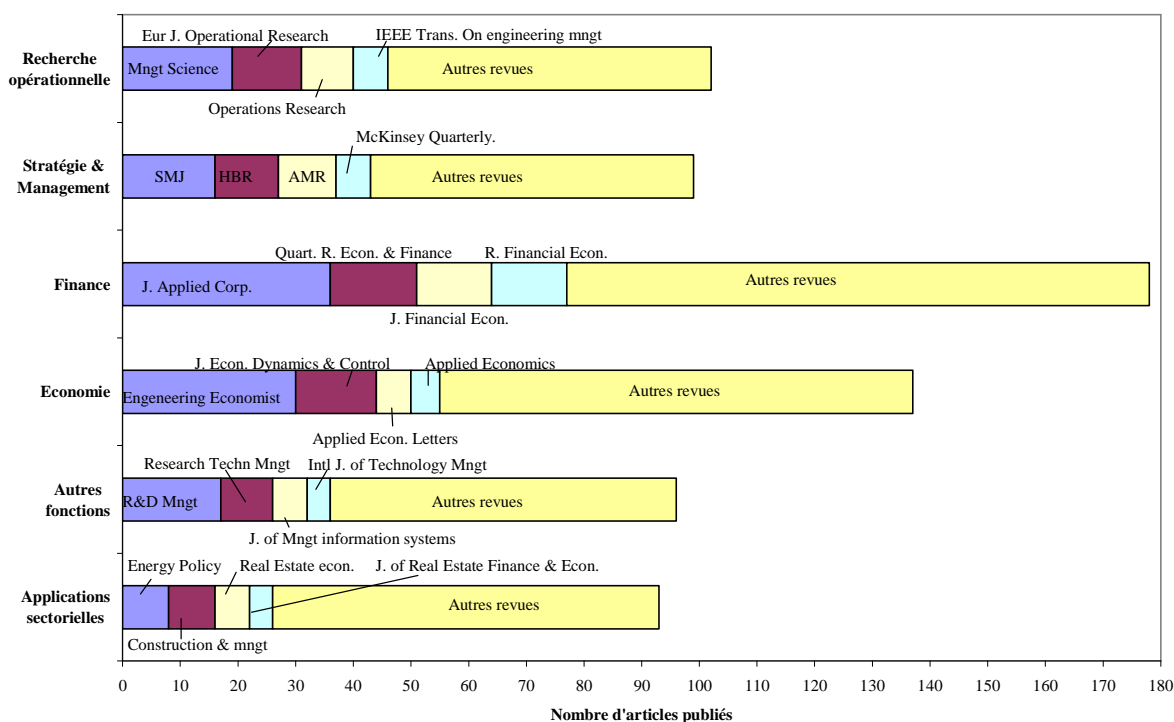
Figure 1.5 : Répartition des publications sur les options réelles par type de revue



¹⁷ 26^{ème} édition, 5 mars 2007. Liste compilée et éditée par Dr Anne-Wil Harzing, <http://www.harzing.com>

¹⁸ Pour plus de détail, nous avons fait figurer en Annexe 3 la liste de toutes les revues ayant publié au moins trois articles sur le thème des options réelles.

Figure 1.6 : Principales revues ayant publié sur le thème des options réelles



Le premier constat qui se dégage de ce panorama est la domination de la littérature sur les options réelles par la sphère financière. Celle-ci représente environ 60% des publications de notre base de données : 178 publications dans les revues de finance, 137 publications dans les revues d'économie et 102 publications dans les revues de recherche opérationnelle. Dans cette discipline, nous avons placé d'une part les revues spécialisées dans les méthodes quantitatives et mathématiques, la théorie des jeux et de l'aide à la décision (37 publications), et d'autre part les revues centrées sur les opérations, la production et la science du management (65 publications).

Cette prévalence de la sphère financière n'est guère étonnante, puisque les options réelles trouvent précisément leur origine dans la théorie des options financières. Néanmoins, elle constitue un indice suggérant que la théorie des options réelles reste pour l'instant très attachée à ses racines financières, et n'a pas encore véritablement franchi la porte du monde « réel ».

Le deuxième enseignement de cette étude est la grande diversité des problématiques abordées par la littérature sur les options réelles. Il apparaît en effet que les articles sur les options réelles sont publiés dans des revues appartenant à des domaines très différents des sciences de gestion et des sciences économiques.

- Nous avons évoqué plus haut les revues de finance, d'économie, de recherche opérationnelle et sciences du management, cumulant environ 60% des publications.
- Viennent ensuite les revues de stratégie et management, qui représentent de l'ordre de 15% des publications sur les options réelles.
- Le troisième pôle est constitué par les publications sur les applications des options réelles, qui peuvent être soit sectorielles, soit fonctionnelles. Les revues sectorielles représentent 13% des publications. Les principaux secteurs d'activité concernés sont :

- La construction et l'immobilier (29 articles) ;
- L'agriculture, l'environnement et les ressources naturelles, ces dernières couvrant notamment les activités minières et forestières (25 articles) ;
- L'énergie, regroupant essentiellement les activités pétrolières et électriques (25 articles) ;
- La santé (5 articles) ;
- Divers secteurs tels que les télécommunications, la banque et assurance, le tourisme (9 articles).

Les revues spécialisées dans certains aspects de la gestion de l'entreprise autres que la finance et la stratégie représentent elles aussi 13% des publications sur les options réelles. Ces revues couvrent les domaines suivants :

- Le management de la R&D, et de l'innovation en général (36 articles) ;
- La gestion des systèmes d'information et le « knowledge management » (20 articles) ;
- La comptabilité et le contrôle de gestion (18 articles) ;
- Le droit et la fiscalité (8 articles) ;
- Le marketing (7 articles)
- Divers domaines (7 articles), comprenant les ressources humaines et le management du risque.

L'hétérogénéité de la littérature sur les options réelles est également révélée par le grand nombre de revues ayant publié sur les options réelles. Les 705 articles de notre base de données ont été publiés dans 268 revues différentes. Parmi celles-ci, 201 revues ont publié seulement un ou deux articles sur les options réelles.

Les problématiques traitées par la littérature sur les options réelles vont bien au-delà des réflexions initiées par Myers en 1977 sur la valeur de l'entreprise. Les options réelles constituent une grille de lecture, qui peut être appliquée à de nombreux sujets d'étude, et étudiée à différents niveaux d'analyse.

1 En sciences de gestion, à l'échelle de l'entreprise :

- *Finance* : les options réelles sont utilisées pour mieux appréhender la valorisation des entreprises effectuée par les marchés financiers ;
- *Stratégie / Finance* : les options réelles permettent de mieux valoriser les projets d'investissement.
- *Marketing* : les options réelles peuvent être utilisées sur des problématiques de *pricing*, pour prendre en compte la valeur de la flexibilité dans les contrats. On trouve par exemple des applications dans le domaine de la production électrique (Deng & Xia, 2006), dans les achats de matériaux de construction (Ng *et al.*, 2004) ou dans la valorisation des contrats de leasing (Grenadier, 1995).

Les options réelles peuvent être également utilisées pour déterminer les cibles de clientèles sur lesquelles il est optimal de concentrer les actions de marketing (Haenlein & Kaplan, 2006).

- *Ressources humaines* : les options réelles permettent de comprendre des phénomènes tels que l'intérêt pour l'entreprise de disposer de ressources excédentaires¹⁹ (Fox & Marcus, 1992).
- *Comptabilité et contrôle de gestion* : les modèles optionnels permettent d'expliquer pourquoi les entreprises peuvent avoir intérêt à transférer les revenus d'un segment d'activité vers un autre dans leurs états comptables (Chen & Zhang, 2007) ;
- Etc.

2 En sciences économiques, à l'échelle d'un ensemble d'entreprises

- Les options réelles peuvent par exemple permettre de mieux comprendre le lien entre niveau général de l'investissement et évolution des taux d'intérêt.

¹⁹ « slack ressources » dans la terminologie anglo-saxonne

Cette diversité des problématiques est signalée par McGrath *et al.* (2004). Les auteurs indiquent que la littérature repose sur des acceptions très différentes du concept d'option réelle. Les auteurs en retiennent quatre principales : les options réelles comme (1) la partie de la valeur totale d'une entreprise faisant l'objet d'opportunités de croissance ; (2) une décision d'investissement spécifique, présentant des caractéristiques optionnelles ; (3) un ensemble de choix (4) un processus heuristique dans la définition de la stratégie d'une entreprise.

Quel que soit le découpage effectué, il apparaît clairement que le sujet d'étude de cette thèse, c'est-à-dire les options réelles comme outil d'aide à la décision d'investissement stratégique, ne représente qu'une partie limitée de cette abondante littérature sur les options réelles. Dans les pages suivantes, nous resserrons donc notre revue de littérature sur ce sujet.

II. Analyse de la littérature sur l'application des options réelles à la décision d'investissement stratégique

II.1. Détermination du panel d'articles

Notre analyse détaillée porte sur 154 articles de recherche figurant dans la base utilisée pour le panorama général de la littérature sur les options réelles.

Pour rappel, l'objectif poursuivi est d'analyser les apports et les limites de la littérature concernant l'applicabilité des options réelles aux décisions d'investissement stratégiques des entreprises.

Il n'était matériellement pas possible d'analyser l'ensemble des quelques 700 articles rassemblés dans notre base de données. En conséquence, nous avons travaillé sur un échantillon restreint d'articles, qui ont été sélectionnés de la façon suivante :

Nous avons concentré notre analyse sur les revues d'excellence. La liste des revues a été établie sur la base des classements repris par la Journal Quality List (JQL). Il est vrai que l'on peut parfois observer des différences significatives dans les classements, pour une même revue, suivant l'institution à l'origine du classement. Néanmoins, on peut considérer que l'ensemble des revues retenues pour cette étude détaillée, et qui sont présentées en Figure 1.7, est de très bonne tenue.

Après avoir réduit l'échantillon à ces revues d'excellence, nous avons procédé de façon différenciée suivant le domaine de la revue.

- Nous avons conservé l'ensemble des articles publiés dans les revues de stratégie et management.
- Pour les autres revues, nous avons restreint notre analyse aux publications ayant pour mot clé, en plus du terme « *real option* », l'expression « *capital budgeting* » et / ou le mot « *investment* ».

De cette façon, nous avons établi une liste de 154 articles, dont la répartition par domaine de recherche et par revue est présentée dans la Figure 1.7. La sélection d'articles sur la base de mots clés ne garantit pas l'exhaustivité de l'étude. Néanmoins, l'échantillon d'articles retenus est de taille relativement importante, et permet d'obtenir une bonne vision de la physionomie générale de la littérature sur les options réelles comme outil d'aide à la décision d'investissement.

Figure 1.8 : Principaux thèmes traités par les articles publiés dans les revues de stratégie

Options réelles et décision d'investissement stratégique	Utilisation des options réelles pour analyser certaines décisions d'investissement	Mobilisation des options réelles, en complément d'autres théories (TCE, RBV), pour analyser des problématiques de gouvernance	Options réelles & risque
<p>Intérêt et applicabilité des options réelles à la prise de décision stratégique</p> <ul style="list-style-type: none"> Adner & Levinthal, 2004a,b McGrath et al., 2004 Kogut & Kulatilaka, 2004 Zardkoohi, 2004 <p>• Miller & Shapira, 2004</p> <p>• Miller, 2002</p> <p>• Bowman & Moskowitz, 2001</p> <p>• Bowman & Hurry, 1993</p> <p>Les options réelles dans la pratique</p> <ul style="list-style-type: none"> Fichman et al., 2005 <p>• Cornelius et al., 2005</p> <p>• Davis, 2002</p> <p>• Sharp, 1991</p>	<p>Choix technologiques</p> <ul style="list-style-type: none"> Warner et al., 2006 • McGrath & Nerkar, 2004 • Miller & Arikian, 2004 • McGrath, 1997 • Hurry et al, 1992 <p>Entrée sur un nouveau marché</p> <ul style="list-style-type: none"> • Folta & O'Brien, 2004 • Miller & Folta, 2002 	<p>Analyse des frontières de la firme</p> <ul style="list-style-type: none"> • Villalonga & McGahan, 2005 • Leiblein & Miller, 2003 • Leiblein, 2003 <p>Choix d'investissement ou de désinvestissement dans des joint ventures</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kumar, 2005 • Reuer & Tong, 2005 • Folta & Miller, 2002 • Chi, 2000 • Folta, 1998 <p>Mode de gouvernance des alliances</p> <ul style="list-style-type: none"> • Santoro & McGill, 2005 	<p>Pertinence des options réelles comme outil de management du risque</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reuer & Leiblein, 2000 • Miller & Reuer, 1998 • Miller, 1998 <p>Les options réelles comme levier de développement de l'entrepreneurship</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lee et al., 2007 • Doh & Pearce, 2004 • McGrath, 1999

Type de validation empirique

xxx : Etudes de cas

yyy : Etudes statistiques sur l'ensemble d'un secteur d'activité, simulations, réflexions basées sur expérience en entreprise

zzz : Article théorique sans validation empirique

Problématique en lien direct avec le sujet de thèse

Sur les quatre principales catégories identifiées, seules deux (fond grisé sur la Figure 1.8) ont un lien avec le sujet de cette thèse, à savoir l'apport et les limites des options réelles à la décision d'investissement stratégique.

La première thématique qui est au-delà de notre périmètre d'étude porte sur le lien entre options réelles et management du risque.

- A l'échelle de l'économie, certains travaux analysent dans quelle mesure la connaissance et la dissémination du raisonnement optionnel peut favoriser le développement de l'entrepreneurship dans une économie (McGrath, 1999; Doh & Pearce II, 2004; Lee *et al.*, 2007).
- A l'échelle de l'entreprise, d'autres articles étudient en quoi l'acquisition d'options réelles – à travers la réalisation d'investissements permettant une flexibilité accrue – peut permettre à une entreprise de réduire le risque auquel elle est exposée (Miller, 1998; Miller & Reuer, 1998; Reuer & Leiblein, 2000b).

La deuxième grande thématique dans le domaine de la stratégie et du management qui n'a qu'un lien connexe avec notre sujet d'étude concerne les choix de gouvernance des entreprises. La théorie des options réelles est mobilisée pour expliquer ces choix, généralement en combinaison avec d'autres théories – théorie de la ressource et / ou économie des coûts de transaction.

Certaines études se concentrent sur la décision initiale de formation d'un joint-venture ou d'une alliance, par rapport à l'alternative de l'acquisition (ex: Folta & Miller, 2002) et/ou du désinvestissement (ex: Villalonga & McGahan, 2005). D'autres études se placent à la phase de terminaison du joint-venture, et étudient la décision de rachat du reste du capital, ou au contraire de la cession de la participation au partenaire (ex: Kumar, 2005). Enfin, Santoro et McGill (2005) s'interrogent sur le mode de gouvernance d'une alliance (gouvernance hiérarchique ou licence).

En dehors de deux articles conceptuels (Chi, 2000; Leiblein, 2003), les articles classés dans cette catégorie effectuent des validations empiriques : à l'aide d'une étude des cours de bourse pour Kumar (2005), ou bien par l'étude de données statistiques secondaires pour les autres.

Ces études utilisent les options réelles pour expliquer les choix de gouvernance en se basant sur la recherche de Kogut (1991). Kogut montre que la décision d'investir dans un joint-venture conduit à la création d'une double option : l'option par la suite de racheter la participation du partenaire si l'entreprise souhaite se développer dans le domaine d'activité du joint-venture, ou au contraire l'option de céder sa participation au partenaire si l'entreprise souhaite se recentrer sur son cœur de métier.

Le recours à la théorie des options réelles permet de mieux prendre en compte la valeur de la flexibilité permise par un mode de gouvernance sous forme d'alliance / de joint-venture ; il a permis aussi d'établir le rôle de l'intensité de l'incertitude (ex : Kumar 2005) ou du type d'incertitude en cause (Santoro & McGill, 2005) sur les choix de gouvernance.

Il apparaît clairement que les options réelles sont ici utilisées comme une grille de lecture, permettant de mieux appréhender la rationalité des choix des entreprises en matière de gouvernance. En revanche, ces articles ne considèrent pas les options réelles comme un outil de décision utilisé de façon consciente par les entreprises pour décider d'investir ou non dans un joint-venture. Ils représentent donc une contribution au champ de la théorie de la firme, mais pas au processus de décision d'investissement stratégique qui est le thème de cette thèse.

Options réelles pour prendre des décisions d'investissement technologique ou d'entrée sur un nouveau marché

L'ensemble de ces articles s'intéresse à la décision d'investissement dans une technologie ; on peut y rattacher l'article de Folta et O'Brien (2004), qui porte sur la décision d'entrée sur un nouveau marché. Le point de départ de ces articles est le constat qu'un investissement dans une nouvelle technologie ou un nouveau marché peut être appréhendé comme une option réelle.

Dans ce contexte, certains articles (McGrath, 1997; Miller & Folta, 2002) analysent les paramètres déterminant la valeur de l'option (prix d'exercice, valeur du sous-jacent, taux de dividende, etc.), et établissent un parallèle entre ces paramètres de calcul et les facteurs stratégiques conditionnant la décision d'investissement (taille du marché potentiel, degré d'unicité des ressources, importance de l'avantage au premier entrant,...). Les auteurs en déduisent des règles de décision, permettant aux managers de déterminer si l'option doit être exercée, maintenue en vie ou abandonnée en fonction de leur analyse de ces facteurs stratégiques.

Ces articles initient une réflexion intéressante sur l'intérêt d'une analyse qualitative des options réelles pour prendre des décisions d'investissement. Néanmoins, leur portée est limitée du fait de leur teneur exclusivement théorique, sans validation empirique.

Un autre groupe d'articles explore les déterminants des choix technologiques ou d'entrée sur un nouveau marché.

- A travers des études statistiques, certains chercheurs analysent dans quelle mesure les décisions des entreprises sont prises de façon optionnelle. Hurry *et al.* (1992) constatent que les structures de capital risque japonaises sont d'avantage guidées par une logique optionnelle que leurs homologues américains ; Folta et O'Brien (2004) concluent que, de façon consciente ou non, les managers prennent en compte la valeur d'option dans leurs décisions.
- Miller et Arikan (2004), s'interrogent sur les grands paradigmes possibles pouvant guider les choix technologiques des entreprises. Conscients des limites cognitives et organisationnelles des modèles d'options réelles, ils explorent par le biais de simulations théoriques deux approches

alternatives à la valorisation des options : la théorie de l'évolution, et le « raisonnement optionnel »²⁰, c'est-à-dire une utilisation qualitative des options réelles.

- McGrath et Nerkar (2004), ainsi que Warner *et al.* (2006) s'appuient sur des études statistiques (respectivement dépôts de brevets et acquisitions d'entreprises) pour étudier les déterminants des choix technologiques. Toutefois, leur utilisation des options réelles est essentiellement rhétorique, et leur contribution au sujet d'étude de cette thèse est donc accessoire.

Options réelles et décision d'investissement stratégique

Une série d'articles s'interroge sur la pertinence et les limites d'application des options réelles pour la prise de décision stratégique. Cette thématique est au cœur du sujet de notre thèse, et nous ne détaillerons pas ici le contenu de ces articles, qui sont largement cités par la suite, en particulier dans le Chapitre 2.

La réflexion a été initiée par Bowman et Hurry (1993), qui ont vu dans les options réelles le mécanisme de choix sous-tendant le processus de décision stratégique. Les auteurs en déduisent que les applications potentielles des options réelles pour la formulation de la stratégie sont très nombreuses, et que la lecture à travers une grille optionnelle peut permettre de comprendre de nombreux phénomènes dans la conduite de la stratégie.

Les publications suivantes viennent tempérer cet enthousiasme initial.

Bowman et Moskowitz (2001) montrent la difficulté à développer des modèles de valorisation d'option adaptés à chaque décision d'investissement. D'autres chercheurs explorent l'impact des biais cognitifs sur la valorisation et l'exécution des options réelles (Miller, 2002; Miller & Shapira, 2004).

Enfin, Adner et Levinthal (2004) sont à l'origine d'une série d'articles de réponse sur les conditions d'application des options réelles. Les deux auteurs soulignent les limites de l'analogie entre options financières et options réelles. Il s'ensuit une discussion sur les cas pour lesquels l'utilisation des options réelles est justifiée, et ceux pour lesquels elle ne l'est pas.

La résolution de telles questions est naturellement indispensable pour mieux cerner le rôle que peuvent avoir les options réelles dans le processus de décision stratégique. Néanmoins, ces publications trouvent leur limite dans l'absence de toute validation empirique : à l'exception de l'article de Bowman et Moskowitz (2001), qui se base sur un cas d'investissement réel étudié par Merck, et dans une moindre mesure de l'article de Miller et Shapira (2004), qui utilisent les résultats d'un questionnaire auprès de 67 étudiants en MBA à temps partiel, tous les articles présentés dans cette catégorie sont uniquement constitués de réflexions théoriques.

Or, pour déterminer si les options réelles pourront réellement à l'avenir figurer comme l'une des approches de référence pour les décisions d'investissement en contexte incertain, il faut nécessairement passer par une phase de confrontation avec la réalité de l'entreprise.

A l'autre extrémité du spectre, on trouve dans des revues à dominante plus managériale des articles s'interrogeant sur les modalités d'utilisation concrètes des options réelles.

En général, ils consacrent une première partie à la présentation des options réelles et à l'intérêt de celles-ci pour prendre des décisions d'investissement en contexte incertain.²¹

S'adressant à un public composé autant de praticiens que d'académiques, ces articles cherchent par ailleurs à donner des conseils pour la pratique des options réelles, notamment en :

²⁰ ROR ou « Real Option Reasoning » dans la terminologie anglo-saxonne

²¹ Cette présentation inclut généralement une explication du principe optionnel, en parallèle avec les options financières ; une typologie des options réelles ; la démonstration de l'intérêt des options réelles, pour valoriser les projets d'investissement en contexte incertain : notion de valorisation de la flexibilité managériale ; différence avec l'approche par la VAN, en général illustrée par un exemple théorique reposant sur des hypothèses très simplifiées

- indiquant pour quels types d'investissement les options réelles sont les plus utiles (Sharp, 1991; Davis, 2002) ;
- listant les « pièges » associés à l'utilisation des options réelles, par exemple la difficulté à ne pas exercer l'option d'abandon (Fichman *et al.*, 2005) ;
- proposant des méthodes heuristiques pour la valorisation des options (Sharp, 1991; Davis, 2002).

Une partie de ces articles est directement fondée sur une expérience pratique de la valorisation de projets en contexte incertain (au sein de l'entreprise Shell pour Cornelius *et al.*, 2005, et de l'incubateur « Product Genesis » pour Davis, 2002). D'une manière générale, les questions soulevées par ces articles, en particulier concernant les difficultés de valorisation de l'option, ne manquent pas de pertinence.

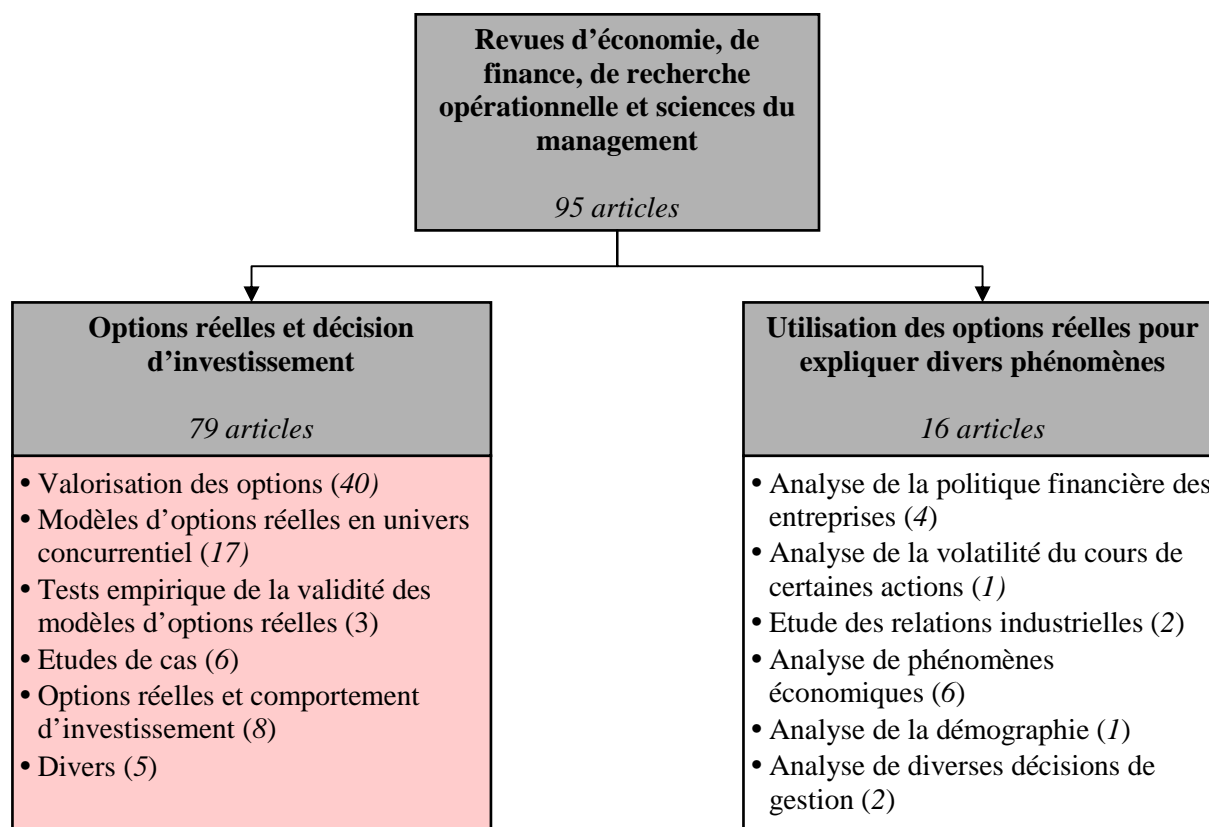
Malheureusement, les réponses apportées ne sont pas satisfaisantes, car elles sont trop simplistes ou trop superficielles. Sharp (1991) propose de remplacer les modèles formels de valorisation d'option par le seul « jugement managérial » ; Davis (2002) propose, pour la valorisation des projets de R&D, de multiplier la valeur de la VAN par un facteur (établi sur la base de l'analyse de différents risques) qui reflète la valeur d'option. Cornelius *et al.* (2005) ouvrent une piste de réflexion très intéressante sur l'intégration des options réelles avec la technique des scénarios stratégiques, mais en restent simplement au stade de la présentation de l'idée.

II.3. Analyse des articles publiés dans les revues d'économie, de finance, de recherche opérationnelle et sciences du management

II.3.1. Vue d'ensemble

La Figure 1.9 récapitule les principales problématiques traitées par les articles sur les options réelles publiés dans les revues de finance, économie et recherche opérationnelle / science du management.

Figure 1.9 : Principaux thèmes traités par les articles publiés dans les revues d'économie, de finance, de recherche opérationnelle et sciences du management



Comme dans le domaine de la stratégie, on peut constater que seulement une partie des articles étudiés a un lien direct avec la décision d'investissement.

Nous avons ainsi exclu de notre analyse détaillée seize articles, dont l'usage des options réelles est destiné à expliquer divers phénomène, concernant :

- La politique financière des entreprises :
 - Niveau d'endettement (Myers, 1977), lien entre maturité de la dette et niveau d'investissement (Hennessy, 2004), politique de distribution des dividendes (Holt, 2003), lien entre la stratégie de financement et les décisions d'investissement (Childs *et al.*, 2005) ;
- La volatilité des actions ayant un ratio « market to book » élevé (Cooper, 2006) ;
- Les relations industrielles :
 - Mouvements d'acquisitions et désinvestissements dans les industries en déclin (Lambrecht & Myers, 2007), choix de diversification ou de spécialisation des entreprises au cours de leur cycle de vie (Bernardo & Chowdhry, 2002) ;
- L'économie:
 - Niveau de production (Cortazar & Schwartz, 1993), niveau d'investissement (Ingersoll Jr. & Ross, 1992; Alvarez & Stenbacka, 2003; Bloom *et al.*, 2007), évolutions monétaires (Aizenman, 2004), lien entre productivité et volume de dépôt de brevets (Bloom & Van Reenen, 2002)
- La démographie (Iyer & Velu, 2006)
- Les décisions de gestion des entreprises
 - Commercialisation des innovations (Cassiman & Ueda, 2006), formation d'un joint-venture à l'étranger (Chen & Hu, 1991).

Dans ces articles, le raisonnement optionnel est utilisé pour former des hypothèses concernant les phénomènes listés ci-dessus. Par exemple, on suppose qu'une augmentation de la volatilité conduit à une valeur plus élevée de l'option d'attente, et se traduira par un report des décisions d'investissement. Ces hypothèses sont ensuite validées sur la base d'études statistiques.

Comme dans le cas des revues de stratégie, ces études utilisent les options réelles comme grille de lecture, mais ne permettent pas de déterminer l'intérêt des options réelles pour aider à la prise de décision stratégique.

Venons en maintenant à l'analyse des articles en lien avec la décision d'investissement. Les quatre principales thématiques traitées par ces articles sont récapitulées dans le Tableau 1.8.

Tableau 1.8 : Classification par thème des articles publiés dans les revues de finance, économie et recherche opérationnelle / sciences du management

Thème	Références bibliographiques
<p>La valorisation des options</p> <p>Modèles de valorisation pouvant s'appliquer à des options financières ou réelles</p> <p>Problématiques de valorisation spécifiques aux options réelles</p> <p>Modèles de valorisation d'options réelles pour des décisions d'investissement génériques</p> <p>Modélisation d'une décision d'investissement dans un secteur d'activité ou pour une fonction de l'entreprise</p> <p>Etude du timing de l'investissement</p> <p>Proposition d'approche pour la décision d'investissement combinant les options réelles à d'autres outils</p>	<p>Stulz, 1982; Ibanez, 2004; Hilliard & Schwartz, 2005; Lindset, 2007</p> <p>Boyarchenko & Levendorskii, 2007; Santiago & Vakili, 2005; Sarkar 2000, 2003; Henderson & Hobson, 2002; Martzoukos & Trigeorgis, 2002</p> <p>Arnold et al., 2007; Guo et al., 2005; Malchow-Moller & Thorsen, 2005; Alvarez & Keppo, 2002; Shackleton & Wojakowski, 2002; Dangl, 1999; Bollen, 1999; Bar-Ilan & Strange, 1996; Dixit, 1995; Triantis & Hodder, 1990; Kulatilaka, 1993; Majd & Pindyck, 1987; Pindyck, 1988, 1991, 1993; Trigeorgis, 1991, 1993; Laughton & Jacoby, 1993; McDonald and Siegel, 1985, 1986</p> <p>Schwartz and Zozaya-Gorostiza, 2003; Childs and Triantis, 1999; Grenadier & Weiss, 1997; McLaughlin & Taggart Jr, 1992; Loubergé et al., 2002; Saphores, 2003; Brennan & Schwartz, 1985</p> <p>Childs & al., 1998; Lee, 1998</p> <p>Meier, Christofides and Salkin, 2001</p>
<p>Analyse optionnelle en univers concurrentiel</p> <p>Modèles en temps continu combinant options réelles et théorie des jeux</p> <p>Autres modèles d'options utilisant la théorie des jeux</p> <p>Autres articles mobilisant les options réelles en univers concurrentiel</p>	<p>Kong & Kwok, 2007 ; Odening et al., 2007; Pawlina & Kork, 2006 ; Noe & Parker, 2005 ; Huisman & Kort, 2004 ; Murto et al., 2004 ; Décamps & Mariotti, 2004 ; Boyer et al., 2004 ; Lambrecht & Perraudin, 2003 ; Grenadier, 2002 ; Weeds, 2002 ; Kulatilaka and Perotti, 1998</p> <p>Smit & Ankum, 1993 ; Smit, 2003</p> <p>McGahan, 1993 ; Aguerrevere, 2003 ; Lee, 2004</p>
<p>Etudes empiriques des options réelles comme outil d'aide à la décision d'investissement</p> <p>Etudes de cas</p> <p>Validation empirique de la pertinence des modèles de valorisation d'options réelles</p>	<p><u>Smith and McCardle, 1999; Cortazar, Schwartz and Salinas, 1998; Kemna, 1993 ; Smit, 1997; Pennings and Lint, 1997, 2000</u></p> <p>Harchaoui & Lasserre, 2001; Berger et al., 1996; Quigg, 1993</p>
<p>Options réelles et comportement d'investissement</p>	<p>Mauer & Sarkar, 2005; Grenadier & Wang, 2005; Grenadier & Wang, 2007; Bergemann & Hege, 1998</p> <p>Hugonnier & Morellec, 2007</p> <p>Howell & Jäggle, 1997</p> <p>Pfeiffer and Schneider, 2007; Stark, 2000</p>
<p>Divers</p>	<p>Mittendorf, 2004; Carlson et al., 2006; Kasanen, 1993; Dixit, 1992; d'Halluin et al., 2007</p>

Type de validation empirique

xxx : Etudes de cas

yyy : Etudes statistiques sur l'ensemble d'un secteur d'activité, simulations, exemples réels

zzz : Article théorique sans validation empirique

II.3.2. Modèles de valorisation d'options

L'un des principaux thèmes étudiés a trait à la valorisation des options.

En premier lieu, certains chercheurs ont élaboré des modèles de valorisation d'options qui sont destinés à valoriser des options présentant des caractéristiques bien particulières, et peuvent être soit

des options financières, soit des options réelles (Stulz, 1982; Ibañez & Zapatero, 2004; Hilliard & Schwartz, 2005; Lindset, 2007).

D'autres articles de recherche font état de la différence entre options réelles et options financières, et se penchent sur des problématiques de valorisation spécifiques aux options réelles, comme par exemple la valorisation en contexte de marché incomplet (Henderson & Hobson, 2002), la modélisation de processus stochastiques pour le sous-jacent autres que le mouvement brownien géométrique (Martzoukos & Trigeorgis, 2002; Sarkar, 2003) ou le lien entre niveau d'incertitude et valeur d'option (Santiago & Vakili, 2005).

Viennent ensuite un très grand nombre de publications, dont l'objet est la présentation d'un modèle de valorisation d'une option réelle particulière. Ces modèles sont destinés à déterminer la politique d'investissement optimale, lorsque la décision d'investissement étudiée présente certaines caractéristiques génériques.

Par exemple, des modèles spécifiques ont été développés lorsque l'investissement peut être reporté (McDonald & Siegel, 1986), lorsqu'existent des opportunités d'extension de capacité (Pindyck, 1988), lorsque les perspectives de croissance évoluent de façon stochastique (Guo *et al.*, 2005), lorsqu'il existe une infinité d'options répétées et non pas une seule option d'attente (Malchow-Moller & Thorsen, 2005), lorsque la demande est incertaine et qu'il existe des délais de livraison (Alvarez & Keppo, 2002), lorsque l'investissement peut être reporté mais que la capacité ne peut pas être modifiée une fois l'investissement réalisé (Dangl, 1999), lorsqu'il existe un long délai entre la décision d'investissement et la réalisation du projet (Majd & Pindyck, 1987; Bar-Ilan & Strange, 1996). D'autres modèles étudient la décision d'investissement dans des actifs de production flexibles (Triantis & Hodder, 1990; Kulatilaka, 1993).

Il s'agit pour presque toutes ces publications de modèles en temps continu, bâtis sur le socle commun du modèle de Black et Scholes (1973), et qui développent au fil du temps des hypothèses de plus en plus précises, afin de tenir compte d'un contexte d'investissement bien particulier.

Dans la même veine, mais de façon plus spécifique, un certain nombre de publications s'est attaché à développer des modèles d'options réelles s'appliquant non pas à des décisions d'investissement génériques, mais à des décisions précises, dans un secteur d'activité donné.

Les applications concernent par exemple les décisions d'enfouissement des déchets nucléaires (Loubergé *et al.*, 2002), de récolte d'une ressource pour laquelle il existe un risque d'extinction (Saphores, 2003), d'investissement dans des projets de technologie de l'information (Schwartz & Zozaya-Gorostiza, 2003), d'investissement dans des projets miniers ou d'exploitation d'autres ressources naturelles (Brennan & Schwartz, 1985), d'investissement dans une technologie pour un nouveau produit lorsqu'il existe plusieurs technologies concurrentes (Grenadier & Weiss, 1997), le pilotage dans le temps de programmes de R&D contenant des projets concurrents (Childs & Triantis, 1999), etc.

Deux autres articles concentrent leur analyse non pas sur la valeur de l'option, mais sur sa date optimale d'exercice (Lee, 1988; Childs *et al.*, 1998).

Enfin, on peut inclure dans la catégorie « valorisation » un article proposant un modèle de décision d'investissement dans lequel l'approche optionnelle est combinée à d'autres outils comme la programmation dynamique et les scénarios (Meier *et al.*, 2001).

La totalité de ces modèles de valorisation correspondent à des développements exclusivement théoriques. Le plus souvent, les auteurs passent tout d'abord en revue les modèles de valorisation similaires, puis explicitent leurs propres hypothèses de travail. Ils exposent ensuite le raisonnement permettant l'élaboration de leur modèle. Dans certains cas, une application numérique est effectuée afin d'illustrer les implications du modèle. L'application numérique est réalisée sur la base de paramètres jugés « représentatifs », mais qui n'en restent pas moins fictifs.

II.3.3. Modèles d'options en univers concurrentiel

Les premiers modèles d'options réelles présentés ont été développés dans la perspective d'une firme isolée, en faisant abstraction de la concurrence.

Dixit et Pindyck (1994: 309-314) ont alors développé un modèle d'option simple, en temps continu, pour déterminer la date optimale d'investissement en contexte de duopole. Leur recherche a permis de démontrer que la validité des modèles « classiques » d'options réelles était fortement remise en cause par l'existence de la concurrence.

Le modèle de Dixit et Pindyck a ouvert la voie à une abondante littérature combinant options réelles et théorie des jeux, dont des articles représentatifs sont indiqués dans le Tableau 1.8.²²

Comme dans le cas des modèles d'options réelles pour une firme isolée, les modèles d'options utilisant la théorie des jeux n'ont pas vocation à être directement utilisés par les entreprises.

En premier lieu, ces modèles reposent sur des hypothèses restrictives, peu compatibles avec la complexité d'une décision d'investissement réelle. Par exemple, la grande majorité d'entre eux est modélisée en temps continu. Afin de pouvoir déterminer une solution analytique, les modèles en temps continu font le plus souvent l'hypothèse d'une option de report perpétuelle, alors que dans la réalité les opportunités d'investissement ne peuvent pas être repoussées indéfiniment. Par ailleurs, les modèles en temps continu sont généralement fondés sur l'hypothèse simplificatrice d'une volatilité et d'un taux de dividende constants.

D'autres exemples d'hypothèses peu réalistes sont :

- Des coûts de production symétriques (Joaquin & Khanna, 2001) ou nuls (Dixit & Pindyck, 1994; Grenadier, 1996) ;
- Un volume de production déterminé d'avance (par exemple, Dixit et Pindyck, 1994, ainsi que les nombreux articles basés sur leur modèle) ;
- Les concurrents participent à un jeu où le gagnant emporte toute la mise²³ (Murto & Keppo, 2002; Lambrecht & Perraudin, 2003; Noe & Parker, 2005) ;
- L'évolution globale de l'industrie est stochastique, mais la différence entre les scénarios avec et sans investissement est déterminée (Pawlina & Kort, 2006).

La seconde raison pour laquelle ces modèles sont difficilement applicables dans la pratique est leur complexité mathématique. Les modèles en temps continu sont certes élégants sur le plan mathématique, mais trop complexes pour être compris et utilisés à bon escient par les managers (Triantis 2005).

Dans ce contexte, les articles de Smit et Ankum (Smit & Ankum, 1993; Smit, 2003) sont très intéressants. Là encore, les hypothèses de travail sont simplificatrices, mais les auteurs utilisent un modèle basé sur des arbres, qui est beaucoup plus intuitif pour les managers.

Surtout, l'article de Smit (2003) est remarquable pour son souci d'appliquer le modèle à un cas réel. Parmi tous les articles cités dans le Tableau 1.8 dans la catégorie « Analyse optionnelle en univers concurrentiel », il s'agit du seul article pour lequel l'exposé d'un modèle théorique est complété par une étude de cas pratique.²⁴

²² Pour une revue de littérature sur ce sujet : cf. Smit, H. T. J., Trigeorgis, L. 2006. Real options and games: Competition, alliances and other applications of valuation and strategy. *Review of Financial Economics* **15**(2): 95-112

²³ Dans la terminologie anglo-saxonne : "winner-take-all" game

²⁴ L'autre exception est l'article de McGahan (1993), qui est lui aussi basé sur un exemple réel. Néanmoins, il s'agit d'un cas un peu à part, dans la mesure où les options réelles sont utilisées de façon conceptuelle, sans donner lieu à la formulation d'un modèle d'option.

II.3.4. Options réelles et comportement d'investissement

Un autre groupe de publications se trouve en lien avec la théorie comportementale, et s'intéresse à la rationalité suivie par les managers dans leurs décisions d'investissement en contexte optionnel. Cette thématique est traitée sous des angles de vue variés :

- Certains travaux s'appuient sur une combinaison des options réelles et de la théorie de l'agence pour modéliser les décisions d'investissement des agents (Bergemann & Hege, 1998; Grenadier & Wang, 2005; Mauer & Sarkar, 2005; Grenadier & Wang, 2007).
- Hugonnier et Morellec (2007) étudient pour leur part l'impact de l'aversion au risque des managers sur leur exercice de l'option d'attente.
- Howell et Jäggle (1997) étudient dans quelle mesure l'intuition des managers pour la valorisation des options est en ligne avec la théorie des options.
- Enfin, Pfeiffer et Schneider (2007) ainsi que Stark (2000) s'intéressent à la mesure de la performance en contexte d'option réelle.

L'ensemble de ces travaux est de nature théorique. L'exception est l'article de Howell et Jäggle, fondé sur des simulations effectuées auprès de 84 managers, auxquels les auteurs ont demandé de prendre des décisions d'investissement dans des situations fictives.

II.3.5. Etude empirique des options réelles comme outil d'aide à la décision d'investissement

Cette catégorie regroupe les articles ayant pour objectifs de tester les options réelles de façon empirique. Elle est constituée de deux groupes bien distincts.

Le premier est constitué d'articles portant sur la validation empirique des modèles de valorisation optionnelle.

L'étude de Quigg (1993) porte sur la valorisation de l'option de développer un terrain nu. Elle a été réalisée sur la base de 2700 transactions immobilières à Seattle. Les prix de l'immobilier montrent que cette option est prise en compte dans les valorisations des agents, avec une « prime d'option » moyenne de 6% par rapport à la valeur intrinsèque du terrain.

Berger *et al.* (1996) se sont penchés sur la valeur de l'option d'abandon, qui reflète le fait que même en cas d'insuccès d'une activité, il existe tout de même une valeur de cession minimale. En analysant les comptes de 157 entreprises, les auteurs constatent une validation claire de l'existence d'une option d'abandon.

Harchaoui et Lasserre (2001) ont étudié les décisions d'ouverture et de fermeture de mines en fonction du prix du cuivre. Ils concluent que le modèle d'option explique de façon satisfaisante à la fois la taille des investissements et leur timing.

Sur les trois problématiques étudiées, ces études tendent ainsi à confirmer la validité des modèles d'options réelles pour valoriser les projets d'investissement.

L'autre groupe d'articles est constitué d'études de cas, fondées sur des décisions d'investissement réelles.

Les articles de Pennings et Lint (1997; 2000) et de Cortazar *et al.* (1998) suivent une structure similaire. Un modèle d'option « sur-mesure » est élaboré pour permettre de prendre une décision d'investissement spécifique. En dernière partie d'article, les auteurs proposent une validation du modèle sur une décision d'investissement réelle. Les résultats obtenus montrent l'intérêt des options réelles pour analyser la décision d'investissement.

Cependant, ces études de cas restent d'avantage destinées à des académiques qu'à des praticiens. D'une part, l'élaboration d'un modèle en temps continu prenant en compte les caractéristiques de la décision d'investissement étudiée n'est pas à la portée des managers. D'autre part, la question de la valeur des paramètres de calcul – qui est généralement déterminante pour les résultats obtenus – reste relativement floue. Soit les paramètres sont simplement donnés sans justification, soit ils sont censés

être fondés sur des projets précédents ou similaires, sans toutefois donner de détails sur les calculs permettant de calculer leur valeur.

Les études de Kemna (1993), ainsi que de Smith et McCardle (1999) ont été réalisées dans le secteur de l'exploration et la production pétrolière. Il s'agit d'un secteur qui a recours depuis longtemps à des outils d'aide à la décision d'investissement sophistiqués (arbres de décision, simulations de Monte Carlo sur la VAN, etc.). Ces deux articles sont très intéressants, car ils sont le fruit de groupes de travail qui ont été spécifiquement formés par des compagnies pétrolières pour tester l'applicabilité des options réelles à des décisions d'investissement.

L'article de Kemna est constitué de quatre études de cas. Malheureusement, les cas sont présentés de façon assez succincte, et on regrette le manque de détails sur la valorisation des options étudiées. L'un des intérêts majeurs de l'article réside dans les leçons générales tirées par les auteurs sur l'application des options réelles, telles que la difficulté à identifier la ou les option(s) en présence, la nécessité de prendre en compte l'influence des concurrents ou encore d'effectuer des analyses de sensibilité sur la valeur des paramètres.

L'article de Smith et McCardle détaille les difficultés concrètes que pose l'utilisation des options réelles, et proposent une approche très intéressante combinant options réelles et programmation dynamique.

II.4. Analyse des articles publiés dans les revues sectorielles ou spécialisées dans certaines fonctions de l'entreprise

D'une manière générale, les articles sur les options réelles publiés dans les revues sectorielles ou spécialisées dans certaines fonctions de l'entreprise ont une dimension plus concrète que les articles étudiés jusqu'à présent.

Ceci s'explique par le fait que ces revues s'adressent généralement autant à des praticiens qu'à des académiques ; d'autre part, les options réelles y sont appliquées non pas à des décisions d'investissement génériques, mais le plus souvent à des problématiques d'investissement précises.

Comme nous le verrons dans les paragraphes qui suivent, les problématiques abordées sont multiples.

II.4.1. Articles sur les options réelles publiés dans les revues sectorielles

Les publications sur les options réelles dans les revues sectorielles se trouvent à plusieurs niveaux d'analyse : certaines se placent du point de vue de l'Etat comme décisionnaire, d'autres du point de vue des agents économiques (Tableau 1.9).

➤ *Articles ayant l'Etat comme unité d'analyse*

Conrad et Kotani (2005) étudient à partir de quelle valeur seuil des prix du pétrole il peut être justifié pour l'Etat américain d'autoriser le pompage de pétrole dans la réserve naturelle de l'Arctique. De façon similaire, Lin *et al.* (2007) déterminent à partir de quel seuil de polluant une politique de l'Etat visant à réduire la pollution s'impose.

Marreco et Carpio (2006) analysent quelle subvention l'Etat brésilien peut consentir aux investisseurs finançant la construction de centrales thermiques, et permettant ainsi au Brésil de disposer d'une option de flexibilité en cas de faible production d'électricité par les centrales hydrauliques.

➤ *Articles ayant les agents économiques comme unité d'analyse*

Une partie de ces articles analyse les décisions d'investissement des agents en présence de « permis à polluer » (Laurikka, 2006; Laurikka & Koljonen, 2006; Wossink & Gardebroek, 2006).

Les autres publications portent soit sur la valorisation d'actifs de production en présence d'option(s) (Zinkhan, 1991; Slade, 2001; Keppo & Lu, 2003; Moreira *et al.*, 2004; Madlener *et al.*, 2005; Chorn & Shokhor, 2006), soit sur la date optimale d'exercice de l'option (Insley, 2002)

Tableau 1.9 : Principales problématiques optionnelles traitées dans les revues sectorielles

	Unité d'analyse: l'agent économique		Unité d'analyse: l'Etat
	Valorisation d'un actif de production / date optimale d'exercice d'une option	Prise en compte par les agents de droits à polluer dans leurs décisions d'investissement	Valeur de la flexibilité / seuil de décision pour un état
Agriculture		Wossink & Gardebroek, 2006	
Ressources naturelles (bois, mines)	Insley, 2002 Zinkhan, 1991 Slade, 2001		
Electricité	Madlener <i>et al.</i> , 2005 Keppo & Lu, 2003 Moreira <i>et al.</i> , 2004	Laurikka & Koljonen, 2006 Laurikka, 2006	Marreco & Carpio, 2006
Pétrole	Chorn <i>et Shokor</i> , 2006		Conrad & Kotani, 2005
Tous secteurs			Lin <i>et al.</i> , 2007

Type de validation empirique

- xxx : Etude de cas détaillée
 yy : Application numérique basée sur les paramètres moyens du secteur d'activité
 zzz : Article théorique sans validation empirique

Problématique en lien direct avec le sujet de thèse

Comme nous l'avons constaté dans la section précédente, les applications qui se prêtent le mieux aux options réelles sont celles pour lesquelles une des principales sources d'incertitude est négociée sur les marchés (prix de vente du bien produit ou coût du bien nécessaire à la production). Ainsi, les publications concernant les applications sectorielles concernent surtout le secteur de la production électrique, de l'exploration et la production pétrolière, et de l'exploitation de ressources naturelles (bois, mines) ou l'agriculture.

Par ailleurs, le Tableau 1.9 révèle la dimension opérationnelle de ces publications. Peu d'entre elles sont fondées uniquement sur des développements théoriques. La plupart des articles sont constitués d'un modèle théorique, qui fait ensuite l'objet d'une application numérique.

Toutefois, ces articles ne sont pas destinés à être utilisés comme méthodologie de référence pour les décisions d'investissement des entreprises :

- Premièrement, ils reposent tous sur des modèles de valorisation en temps continu, dont la mise-en-œuvre en entreprise est particulièrement difficile ;
- Deuxièmement, l'objectif de ces articles est le plus souvent de comprendre la logique d'investissement des entreprises, afin que l'Etat puisse élaborer des politiques d'incitations ou de sanctions qui aient les effets escomptés.²⁵

En conséquence, les modèles développés – qui analysent des phénomènes complexes, à l'échelle d'une économie – simplifient significativement les données du problème. Par ailleurs, les applications numériques sont fondées non pas sur des décisions d'investissement réelles, mais sur des paramètres de calcul représentatifs du secteur d'activité.

Le mérite de ces applications numériques est donc d'obtenir des ordres de grandeur sur la valeur des options, et leur impact général sur la politique d'investissement des entreprises. Mais les résultats ne sont pas confrontés à des décisions réelles d'entreprises, et les modèles présentés ne peuvent pas être utilisés par les entreprises pour leurs décisions d'investissement.

²⁵ Ceci s'applique à tous les articles ayant l'Etat comme unité d'analyse, ainsi qu'à ceux visant à mesurer l'impact des permis de polluer sur les décisions d'investissement des entreprises.

L'exception est l'article de Chorn et Shokor (2006), qui présente une étude détaillée d'une approche combinant options réelles et programmation dynamique. Celle-ci est appliquée à la décision d'expansion de la production d'un gisement de gaz en Asie Centrale.

II.4.2. Articles sur les options réelles publiés dans les revues spécialisées dans certaines fonctions de l'entreprise

Le Tableau 1.10 présente les problématiques traitées par les publications dans les revues spécialisées dans certaines fonctions de l'entreprise. Les domaines d'étude sont : la comptabilité et le contrôle de gestion, le management des systèmes d'information, le management de la R&D.

Tableau 1.10 : Principales problématiques optionnelles traitées dans les revues spécialisées dans certaines fonctions de l'entreprise

Problématique	Références bibliographiques	Domaine d'étude
Pratique des entreprises	Verbeeten, 2006 Busby & Pitts, 1997 Hartmann & Hassan, 2006	Comptabilité / contrôle Systèmes d'information R&D
Conditions d'application des options réelles	Fichman, 2004 Benaroch <i>et al.</i> , 2006	Systèmes d'information
Etudes de cas réelles	Benaroch & Kauffman, 1999 Benaroch & Kauffman, 2000 Taudes <i>et al.</i> , 2000	Systèmes d'information
Divers	Chen & Zhang, 2003 Kallapur & Eldenburg, 2005	Comptabilité / contrôle

Problématique en lien direct avec le sujet de thèse

Presque tous ces articles sont au cœur de notre sujet de recherche.

- Un premier groupe d'articles explore les pratiques des entreprises en matière d'options réelles. Nous avons déjà cité dans ce chapitre l'étude de Busby et Pitts (1997), ainsi que celle de Hartmann et Hassan (2006) pour les décisions d'investissement dans les programmes de R&D des compagnies pharmaceutiques. Pour sa part, Verbeeten (2006) montre l'impact du degré d'incertitude sur l'utilisation par les entreprises d'outils d'aide à la décision sophistiqués, comme les options réelles ou la théorie des jeux.
- D'autres publications s'intéressent aux conditions générales d'application des options réelles dans un domaine particulier, en l'espèce, les systèmes d'information. En particulier, Fichman (2004) entreprend une analyse systématique des conditions d'application des options réelles aux décisions d'investissements dans les technologies de l'information.
- Un troisième groupe d'articles est consacré à la réalisation d'études de cas réelles, dans lesquelles l'approche optionnelle a été utilisée pour analyser des décisions d'investissement (Benaroch & Kauffman, 1999; Benaroch & Kauffman, 2000; Taudes *et al.*, 2000). Les auteurs analysent de façon détaillée en quoi la décision d'investissement étudiée se prêtait à une analyse optionnelle. Dans les deux cas, le modèle de valorisation utilisé est très simple, puisqu'il s'agit de la formule de Black et Scholes. Ces études de cas mettent en lumière l'intérêt d'utiliser les options réelles pour structurer une décision d'investissement stratégique en contexte d'incertitude. Elles illustrent également les limites d'un modèle simple de valorisation comme celui de Black et Scholes. Taudès *et al.* (2000)

évoquent notamment la difficulté à fixer la valeur des paramètres, et s'interrogent sur le bien-fondé d'une des hypothèses centrales du modèle affirmant que l'actif sous-jacent suit un mouvement brownien géométrique.²⁶

La validité de ces articles est limitée du fait de leur application à une seule décision d'investissement. Néanmoins, leur contribution au sujet de cette thèse est centrale, de par la preuve qu'elles fournissent de l'intérêt des options réelles pour la décision d'investissement, et des éléments ou pistes de réflexion qu'elles apportent dans l'application concrète de la théorie des options réelles.

En marge de ces trois principaux thèmes, Chen et Zhang (2003) étudient dans quelle mesure les données comptables signalent la création de valeur potentielle par une entreprise, autrement dit la valeur d'option de celle-ci.

Kallapur et Eldenburg (2005) effectuent un test empirique dans les hôpitaux de l'état de Washington pour monter, conformément à la logique optionnelle, qu'une augmentation de l'incertitude incite les organisations à investir dans des technologies à coût fixe faible, et coût variable élevé.

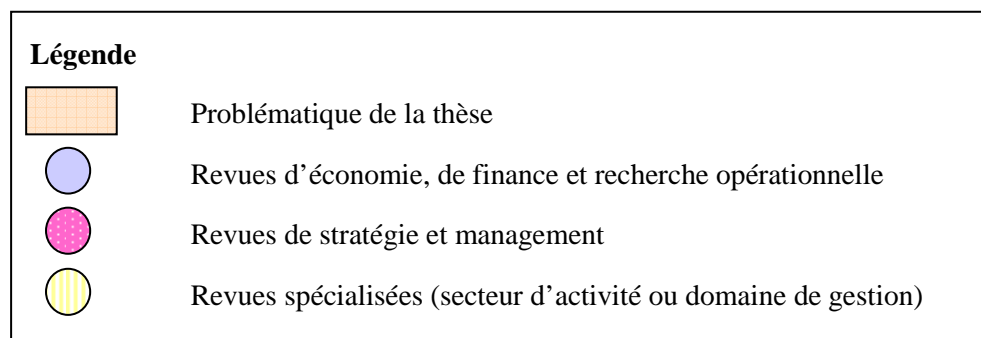
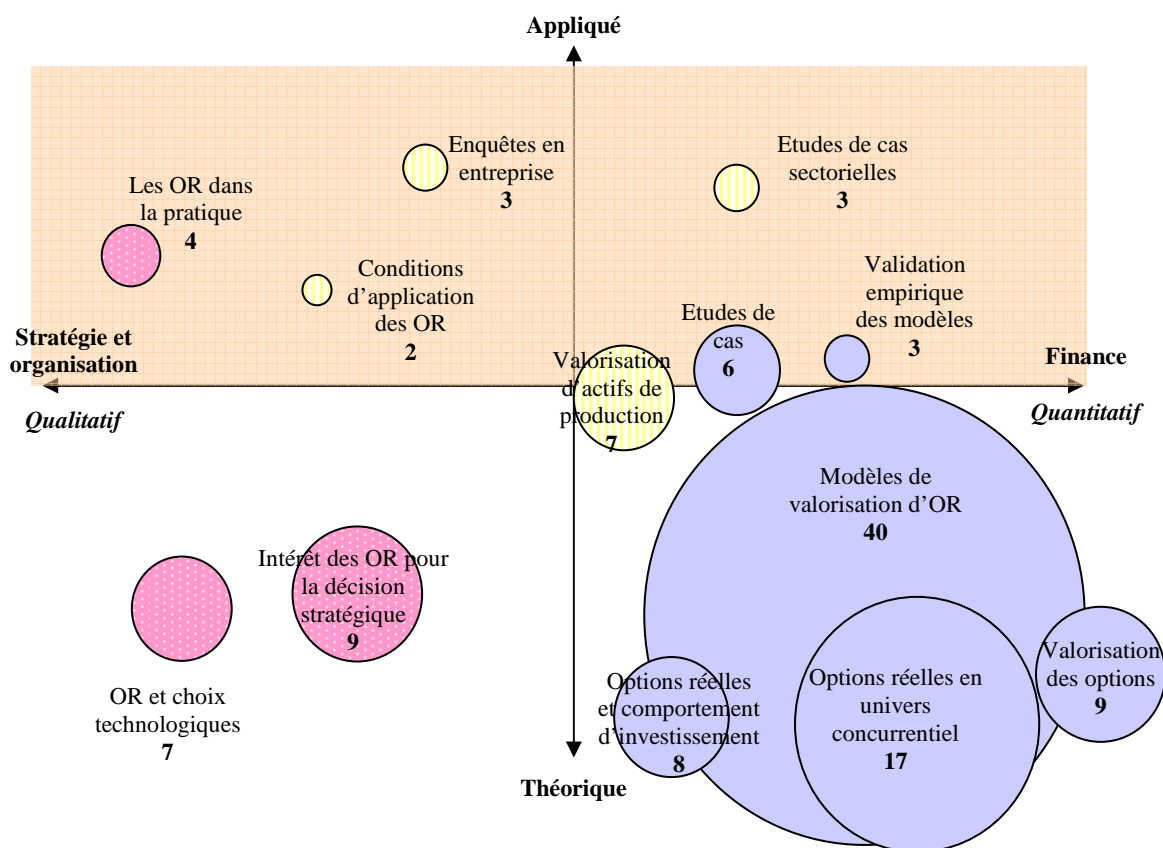
III. Bilan : Apports et limites de la littérature sur l'utilisation concrète des options réelles pour la décision d'investissement

La Figure 1.10 donne une vue synoptique de la revue de littérature que nous avons effectuée sur les articles étudiant l'application des options réelles à la décision d'investissement.

Les bulles représentent les principaux thèmes identifiés dans la revue de littérature, et leur taille est proportionnelle au nombre d'articles publiés (indiqué en gras sur la figure). Chacune de ces thématiques a été positionnée par rapport à deux axes. L'axe horizontal indique la nature de la recherche, avec d'une part des travaux quantitatifs, se rattachant au domaine de la finance, et d'autre part des travaux qualitatifs, se rattachant au domaine de la stratégie. L'axe vertical représente le type de recherche, qui peut être soit théorique, soit empirique.

²⁶ Ce point est abordé de façon détaillée dans le Chapitre 3, section 2, § II.1.1. *Hypothèse du Mouvement Brownien Géométrique (MBG)*

Figure 1.10 : Cartographie de la littérature sur le thème « application des options réelles aux décisions d'investissement stratégiques » (118 articles)



Trois principaux enseignements se dégagent de notre revue de littérature.

1. Seule une partie de la littérature s'intéresse à l'application des options réelles à la décision d'investissement stratégique.

Dans le panorama général sur la littérature des options réelles, nous avons déjà indiqué la grande diversité des utilisations du concept d'options réelles.

De façon similaire, notre analyse détaillée des articles sélectionnés sur la base des mots clés « capital budgeting » ou « investissement », en plus de l'expression « options réelles », montre que seule une partie de la littérature s'intéresse aux options réelles comme outil d'aide à la décision d'investissement : sur les 155 articles sélectionnés, la Figure 1.10 montre que seulement 118

s'intéressent de près ou de loin à la décision d'investissement. Les autres articles, qu'ils soient issus de la sphère « stratégique » ou de la sphère « financière », ne font des options réelles qu'une utilisation métaphorique, pour expliquer divers phénomènes (choix de gouvernance, politique financière des entreprises, dynamique générale de l'économie).

D'autre part, les articles qui traitent de la pertinence et des limites des options réelles comme outil d'aide à la décision d'investissement abordent rarement cette question de manière directe.

Certains sous-domaines contribuent à former une « toile de fond » qui met en lumière certains mécanismes, mais sans entrer dans le cœur du sujet. C'est par exemple le cas de tous les articles publiés dans les revues de finance, combinant les options réelles avec les théories de comportement des managers en matière d'investissement.

D'autre part, une grande partie de la littérature identifie des décisions d'investissement « types », qui se prêtent bien à une lecture optionnelle. C'est par exemple le cas, en finance, de tous les articles consacrés à des modèles de valorisation d'option réelle, ou encore, en stratégie, de tous les articles analysant les choix technologiques à travers le prisme des options réelles.

En revanche, la littérature n'étudie que rarement de façon systématique les conditions d'application des options réelles, c'est-à-dire les types d'investissement pour lesquels les options réelles sont utiles, et ceux pour lesquels elles ne le sont pas.

La question du « comment » est généralement laissée de côté : en quoi consiste une analyse optionnelle ? A quel stade du processus de décision l'analyse optionnelle doit-elle intervenir ? Autant de questions qui restent en suspens.

Enfin, la littérature fait généralement l'hypothèse d'un investisseur unique et rationnel. Les limites cognitives et organisationnelles à l'application des options réelles sont les plus souvent occultées. Ainsi, Miller et Arikian (2004: 484) estiment que les chercheurs devraient accorder une plus grande attention aux aspects comportementaux de la gestion des options réelles.

2. La littérature est dominée par des articles publiés dans les revues d'économie, de finance et de recherche opérationnelle. D'autre part, on observe une déconnexion complète entre les articles publiés dans cet « univers de la finance », et les articles publiés dans le champ de la stratégie.

La Figure 1.10 montre que la littérature est majoritairement constituée de publications provenant du domaine de la finance, de l'économie et de la recherche opérationnelle. En particulier, les modèles de valorisation d'option – en univers monopolistique ou concurrentiel – sont très nombreux. A l'inverse, les articles issus de revues de stratégie ou de revues spécialisées occupent une place beaucoup plus restreinte.

Par ailleurs, on peut regretter que ces différents domaines soient complètement disjoints : les citations croisées entre les publications issues de la sphère « financière » et celles issues de la sphère « stratégique » sont fort rares, et ces deux univers ne s'appuient pas l'un sur l'autre pour faire progresser la recherche.

Pour schématiser, ces deux univers de la littérature sur les options réelles recouvrent des démarches de recherche très différentes : la sphère financière est constituée essentiellement de travaux de nature prescriptive, qui développent des modèles quantitatifs de choix d'investissement applicables dans des contextes très spécifiques. A l'opposé, la sphère stratégique est dominée par des travaux de nature descriptive, qui s'efforcent d'expliquer les décisions d'investissement des entreprises en fonction de grands paramètres stratégiques supposés déterminants dans la valeur d'option.

Les publications sont concentrées sur ces deux pôles extrêmes, au lieu de former un continuum. En conséquence, les managers ne peuvent pas s'appuyer sur une littérature opérationnelle : soit ils sont confrontés à des modèles quantitatifs trop complexes, et surtout trop spécifiques pour être transférés à

une décision d'investissement réelle ; soit ils disposent d'une littérature très qualitative, identifiant les principaux facteurs stratégiques, mais restant à un degré d'analyse trop général pour guider la décision des managers dans un contexte stratégique spécifique.

3. La littérature est très nettement dominée par les recherches de nature théorique. En revanche, les articles centrés sur une validation empirique des options réelles sont rares.

On observe un déséquilibre très net entre, d'une part, les contributions de nature théorique (partie inférieure de la Figure 1.10) qui sont largement majoritaires, et d'autre part, les articles de recherche appliquée (partie supérieure de la Figure 1.10).

A titre d'illustration, Bowe et Lee (2004) font le constat suivant: un numéro spécial de *R&D Management* paru en avril 2001 et consacré aux options réelles contient 12 articles. Parmi ceux-ci, seulement un article, de Seepä et Laamanen (2001), a fondé ses résultats sur des données réelles. Et encore, il s'agissait de données très agrégées concernant les investissements de capital risque.

Nous avons vu dans la revue de littérature détaillée que les articles sur les options réelles publiés dans les revues de stratégie sont presque tous fondés sur des réflexions uniquement théoriques.

De même, dans les revues de finance, économie et recherche opérationnelle, seuls trois articles sont consacrés à la validation empirique des modèles ; les rares études de cas pratiques reposent le plus souvent sur des modèles complexes d'utilisation, et donnent peu de détails sur le choix de la valeur des paramètres de calculs. Le reste des publications est essentiellement constitué de modèles de valorisation théoriques, qui sont dans le meilleur des cas testés sur des applications numériques fictives. Ces modèles reposent sur des hypothèses simplificatrices, en particulier lorsqu'ils s'efforcent de prendre en compte les interactions avec la concurrence.

Dans ce contexte, certains chercheurs soulignent la nécessité de développer et de tester empiriquement des méthodes heuristiques.

Triantis (2005: 14) explique que l'on peut continuer à sophistiquer les modèles mathématiques de valorisation d'options réelles. Mais la finalité de ceux-ci n'est pas d'être utilisés en entreprise. Ils doivent seulement servir de référence pour développer des approches heuristiques permettant de valoriser les options réelles de façon simple, et effectuer les choix stratégiques qui en découlent. De façon similaire, Miller et Arkan (2004 : 484) soulignent la nécessité de développer des approches heuristiques robustes, qui seront plus utiles que des modèles de valorisation d'option complexes, et reposant sur des hypothèses qui ne prennent pas en compte les contraintes cognitives et organisationnelles des managers.

L'une des approches les plus fécondes pour élaborer des méthodes heuristiques robustes est la réalisation d'études de cas, fondées sur des décisions d'investissement réelles. Dans sa liste des principales directions de recherche future pour le développement des options réelles, Trigeorgis (1996: 375) a placé en tête la réalisation d'études de cas réelles, qui abordent de façon détaillée les problèmes de mise-en-œuvre de l'analyse optionnelle.

Laughton & Jacoby (1998) indiquent que l'intérêt des études de cas est de tester dans quelle mesure l'on peut effectuer un arbitrage entre la précision et la simplicité des modèles de valorisation d'option. Les auteurs rappellent que la valorisation d'un projet constitue un *support* à la décision d'investissement, et qu'à ce titre il est important que les managers puissent dialoguer autour des hypothèses du modèle.

Pike (1997: 937) souligne lui aussi la nécessité de réaliser des études de cas réelles : « *The relevant literature (...) still lack the realism of real world capital investment decisions. Only a handful of articles (...) have analysed actual case studies on real options, and most practical experience seems to rest in a few major companies, typically within the oil industry, where beneficial application is more obvious than for the majority of companies.* »

Dix ans plus tard, ce constat reste toujours d'actualité : les résultats de notre revue de littérature, présentés en Figure 1.10, montrent que les études de cas réelles sont encore rares – surtout en regard des très nombreux modèles théoriques. Notre revue de littérature détaillée s'est concentrée sur les revues d'excellence, et il est vrai que d'autres études de cas ont été publiées dans des revues de moindre prestige.²⁷ La contribution de ces études n'est pas négligeable, mais il est vrai que l'analyse optionnelle n'y est souvent pas effectuée avec toute la rigueur nécessaire. Ces études ont en effet tendance à valoriser des options dont elles n'ont pas vérifié au préalable les conditions d'existence, et en particulier la possibilité de révélation d'information entre l'achat de la prime d'option et la date d'exercice (ex: Bowe & Lee, 2004; Miller & Park, 2004; Tzouramani & Mattas, 2004).

Par ailleurs, ces études de cas ne traitent la question que de façon incomplète : elles s'en tiennent généralement à la stricte valorisation du projet, et non pas au processus de décision dans son ensemble. D'une manière générale, Hartmann et Hassan (2006 : 351) constatent que les managers souhaiteraient qu'il existe d'avantage d'études de cas.

Ainsi, cette revue de littérature montre que le sujet sur lequel s'est positionnée cette thèse, à savoir la validation empirique des bénéfices et des limites des options réelles à la décision d'investissement (zone sur fond grisé dans la Figure 1.10), présente un potentiel de recherche important.

²⁷ Cf. notamment liste des études de cas donnée dans le Chapitre 3, section 1, Tableau 3.2

Conclusion du chapitre

Dans ce premier chapitre de la thèse, nous avons tout d'abord présenté les origines de la théorie des options réelles dans le monde de la finance de marché. Nous avons exposé les fondements théoriques des options réelles, et l'intérêt qu'elles ont suscité auprès des académiques.

L'essor très important qu'a connu le nombre de publications sur les options réelles depuis la fin des années 1990 contraste avec la faible utilisation des options réelles par les entreprises. Dans ce chapitre, nous avons repris plusieurs enquêtes confirmant la faible diffusion des options réelles dans le monde de l'entreprise. L'étude de la littérature a permis de mettre en évidence que l'utilisation des options réelles reste concentrée sur des types de décisions d'investissement très spécifiques : l'exploration et la production pétrolière, la production électrique, la R&D dans le secteur pharmaceutique. Par ailleurs, la littérature suggère que **la faible utilisation des options réelles s'explique essentiellement par les difficultés de mise-en-œuvre de la théorie.**

Dans ce contexte, on peut se demander si les options réelles peuvent s'appliquer à toutes les décisions d'investissement, ou si leur domaine d'application est limité. Par ailleurs, il convient d'étudier si la « preuve » de l'intérêt des options réelles a été effectivement apportée, et si les modèles développés par les académiques sont applicables dans la pratique.

Pour ce faire, nous avons réalisé une **étude détaillée de la littérature, en passant en revue 154 articles publiés dans des revues académiques anglo-saxonnes d'excellence sur le thème de l'application des options réelles à la décision d'investissement.** A notre connaissance, il s'agit de la première revue de littérature exhaustive sur ce sujet. On peut tirer trois principaux enseignements de cette étude.

(1) **Les académiques ont rarement traité de façon directe la question de l'applicabilité des options réelles.** Les publications se concentrent généralement sur des décisions d'investissement types, dans lesquelles le raisonnement optionnel semble particulièrement approprié. Mais rares sont celles cherchant à systématiquement identifier les types d'investissement pour lesquels l'analyse optionnelle est bénéfique, et ceux pour lesquels elle ne l'est pas.

(2) **La littérature est très largement dominée par l'élaboration de modèles de valorisation d'options réelles.** Ces modèles partent de l'hypothèse implicite d'un décideur unique et rationnel, et font largement l'impasse sur les contraintes cognitives et organisationnelles qui surgissent dans les décisions d'investissement réelles. La littérature concentre son attention sur les aspects quantitatifs de l'analyse, alors que ceux-ci ne représentent qu'une partie du processus de décision stratégique.

(3) **Les publications académiques sur les options réelles sont dans leur grande majorité de nature exclusivement théorique.** L'implication de ce phénomène est double.

D'une part, très peu d'études permettent de confirmer avec des éléments empiriques l'intérêt des options réelles comme outil d'aide à la décision d'investissement.

D'autre part, la théorie des options réelles n'a pas été opérationnalisée. La littérature actuelle ne donne pas aux managers les clés nécessaires pour utiliser les options réelles comme support à la décision d'investissement stratégique. En particulier, il manque une vision claire sur ce en quoi consiste une analyse optionnelle, et quels apports (quantitatifs ? qualitatifs ?) celle-ci présente pour la décision d'investissement. Par ailleurs, la littérature n'a pas développé de modèles de valorisation qui soient adaptés à la pratique des entreprises.

La présente thèse porte sur l'étude, avec une validation empirique, de l'apport et des limites des options réelles comme outil d'aide à la décision d'investissement stratégique. **Ce chapitre a ainsi permis d'établir qu'il s'agit d'un thème sur lequel le potentiel de recherche est important.**

Dans les trois chapitres suivants, nous nous interrogerons d'une part sur les apports et le domaine d'application des options réelles, et d'autre part sur les méthodes de valorisation transposables dans la pratique des entreprises. Les trois derniers chapitres suivants seront consacrés à la validation empirique, à travers trois études de cas réelles.

*Chapitre 2 – Apports
possibles des options
réelles à la décision
d'investissement
stratégique*

Introduction

Dans le Chapitre 1, nous avons montré qu'en dépit de l'intérêt porté par les académiques aux options réelles, cette approche reste très peu utilisée dans le monde de l'entreprise. Par ailleurs, nous avons constaté que la littérature suggère une grande diversité des usages possibles des options réelles, sans cependant en déterminer les conditions concrètes d'utilisation.

L'objectif de ce chapitre est de mieux cerner à la fois les apports possibles des options réelles à la décision d'investissement, et leurs limites d'utilisation.

Dans un premier temps, nous montrons que **les options réelles ne sont pas utiles pour toutes les décisions d'investissement**. Nous analysons quelles conditions doivent être réunies pour que d'une part, le projet d'investissement suive une logique optionnelle, et que d'autre part les options réelles apportent un éclairage supplémentaire par rapport aux outils classiques d'aide à la décision d'investissement.

Lorsque ces conditions sont remplies, nous explorons quelles sont les contributions potentielles des options réelles : **à quels types de décisions d'investissement les options réelles permettent-elles de répondre ? Sur quel mode les options réelles apportent-elles une aide à la prise de décision : de façon quantitative, comme outil de valorisation, ou de façon plus conceptuelle ? Enfin, nous détaillons quelles sont les principales limites à l'utilisation des options réelles pour la prise de décision.**

La troisième section de ce chapitre est consacrée à une validation empirique des apports et limites des options réelles dans le domaine de la R&D. Comme nous l'avons souligné dans le Chapitre 1, la R&D est l'un des domaines dans lesquels les options réelles sont les plus utilisées. Pour la constitution de ce chapitre, nous nous appuyons sur des données empiriques constituées à l'occasion d'un contrat de recherche le département R&D d'un opérateur de télécommunications. L'objectif du contrat était d'établir un diagnostic sur les apports possibles des options réelles pour les décisions d'investissement de l'opérateur. **Nous explorons ainsi pour quels types de projets les options réelles sont les plus utiles, à quelles décisions d'investissement elles permettent de répondre, et quelle est la nature de leur contribution.**

SECTION 1 : POUR QUELS TYPES DE PROJETS LES OPTIONS REELLES SONT-ELLES UTILES ?

L'approche par les options réelles n'est pas adaptée à tous les types de projets d'investissement, comme l'indique Damodaran (2000: 40) : « *Not all investments have options embedded in them, and not all options, even if they do exist, have value* ». Dans cette section, nous explorons les conditions d'existence des options réelles, ainsi que les déterminants de la valeur de ces options.

Dans un deuxième temps, nous détaillons les cas de figure dans lesquels l'approche optionnelle est susceptible d'apporter un éclairage nouveau à la décision d'investissement, en comparaison des éléments fournis par le calcul de VAN.

I. Condition d'existence des options réelles au sein des projets d'investissement

D'après Bowman et Hurry (1993), toute décision d'investissement peut être interprétée à travers le prisme des options. Il nous semble au contraire important de souligner que toutes les opportunités d'investissement ne sont pas porteuses d'options réelles ; et même lorsque c'est le cas, l'option n'a pas nécessairement de la valeur.

Goffin (1999: 520-522) cite quatre conditions principales pour qu'un projet puisse être analysé à travers une logique optionnelle.

1. L'irréversibilité de l'investissement initial ;
2. Le risque ;
3. La flexibilité ;
4. La révélation d'information.²⁸

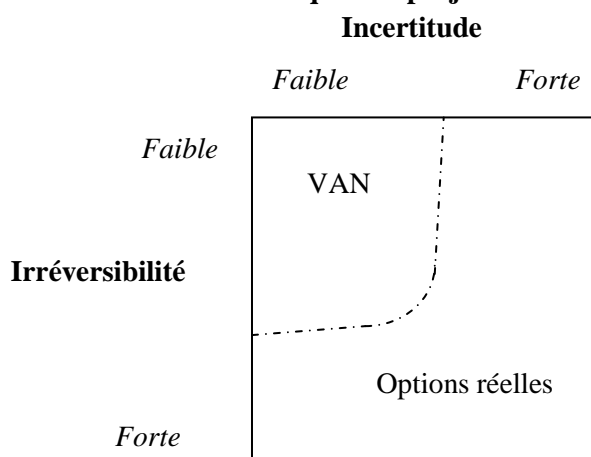
Si ces conditions ne sont pas simultanément remplies, nous ne nous trouvons pas dans une logique optionnelle. Dans un tel cas de figure, une analyse par les options réelles n'apportera pas d'information complémentaire aux conclusions correspondant à un calcul de VAN (Kamrad, 1995).

I.1. Irréversibilité

L'irréversibilité de la dépense d'investissement initiale est indispensable. En effet, s'il existait la possibilité de « récupérer » l'investissement initial en cas d'évolution défavorable de la situation, alors l'option n'apporterait plus aucune valeur supplémentaire (Figure 2.1).

²⁸ Cette terminologie n'est pas employée par Goffin. Cependant, l'auteur utilise une formulation similaire, lorsqu'il indique que dans la logique optionnelle, « *le temps qui passe doit apporter une information supplémentaire* » (p. 522).

Figure 2.1 : Frontières d'application des options réelles par rapport à la VAN en fonction des caractéristiques du projet



Source: Adner & Levinthal (2004: 76)

Sur les marchés financiers, l'achat de la prime d'option est irréversible. Celle-ci est due, même si par la suite l'option n'est pas exercée.

Dans le cas des décisions stratégiques, on peut considérer que les dépenses d'investissement sont pour une large part irréversibles : Goffin indique que la plupart des investissements physiques des entreprises sont largement irréversibles. Même s'il existe la possibilité de revendre un actif, cela se fera à un prix très inférieur à celui du neuf. Quant aux investissements immatériels (R&D, marketing), ils sont par nature largement irréversibles.

1.2. Risque

En finance de marché, le risque correspond à la volatilité du cours du sous-jacent. On peut observer les propriétés suivantes :

- Plus le risque est élevé, plus la valeur d'option est élevée. Si à l'inverse l'évolution du cours du sous-jacent était certaine, alors l'option n'existerait pas ;
- Le risque est exogène au porteur de l'option : celui-ci n'a pas de moyen d'influencer l'évolution du cours du sous-jacent (cours de l'action, taux d'intérêt, etc.) ;
- Le risque peut être modélisé : le cours du sous-jacent est une donnée observable, sur lequel on dispose de données historiques et prospectives (via les marchés dérivés).

Dans quelle mesure ces propriétés du risque observables sur les marchés financiers sont-elles transposables à l'univers des investissements des entreprises ?

En premier lieu, on peut noter que l'incertitude est présente dans les décisions d'investissement stratégiques. D'après Wernerfelt et Karnani (1987), les entreprises faisant face à une décision d'investissement stratégique peuvent être confrontées à quatre grandes sources d'incertitude, qui sont, par ordre d'importance :

i) L'incertitude liée à la demande :

Taille du marché, taille des segments, définition des segments, caractéristiques du produit désiré par les consommateurs, canaux de distribution appropriés.

ii) L'incertitude liée à l'offre (endogène ou exogène) :

Développement possible d'autres technologies (quand ? lesquelles ?) ; capacités de l'entreprise (des cadres « clé » peuvent quitter l'entreprise ; possibilité d'accident).

- iii) L'incertitude liée à la concurrence :
Nature des concurrents (quels nouveaux entrants potentiels ?), stratégie des concurrents et réponse des concurrents face à notre stratégie.
- iv) L'incertitude externe :
Pressions sociale, intervention des pouvoirs publics.

Dans le domaine plus spécifique des industries de haute technologie, Lint et Pennings (1999) notent que l'incertitude s'est accrue, car l'environnement économique est devenu de plus en plus turbulent : le cycle de vie des produits est raccourci, les évolutions technologiques sont de plus en plus rapides, et le jeu concurrentiel devient très complexe en raison d'une mondialisation croissante.

En revanche, ces mêmes auteurs notent que l'incertitude dans le cas des options réelles se distingue fondamentalement de l'incertitude des marchés financiers, en cela qu'elle n'est pas nécessairement exogène au porteur de l'option.²⁹

Lint et Pennings établissent ainsi une distinction entre l'incertitude « micro » (« micro-uncertainty ») et l'incertitude « macro » (« macro-uncertainty »), suivant qu'il existe ou non la possibilité d'exercer une influence sur la source d'incertitude

- Par exemple, lorsque l'option réelle fait intervenir une incertitude sur le prix d'une matière première (pétrole, cuivre ou autre ressource naturelle), ou encore sur la taille d'une réserve de ressource naturelle, nous sommes en présence d'une incertitude « macro ».
- En revanche, lorsque l'incertitude porte sur le succès d'un nouveau produit auprès du marché ciblé, la vitesse de pénétration d'un nouveau produit, la structure de marché ou le prix de vente d'un futur produit, alors il s'agit d'incertitude « micro ».

Les auteurs citent plusieurs moyens d'agir sur les sources d'incertitude « micro », comme : (1) la formation d'alliances avec des concurrents ; (2) le lobbying auprès d'industries vendant des produits complémentaires (pour imposer un nouveau standard et s'assurer du succès d'un nouveau produit) ; (3) les opérations de fusion-acquisition (pour réduire l'incertitude sur la structure de marché et les prix de vente).³⁰

Dans le secteur des télécommunications, on pourrait citer la subvention des terminaux (téléphone mobiles « 3G », modem ADSL) permettant de réduire l'incertitude sur la vitesse de pénétration d'un nouveau produit.

Si une entreprise mène des actions visant à réduire l'incertitude « micro », alors la valeur de l'option se trouve réduite. Dans une situation extrême où ces manœuvres permettraient de supprimer complètement l'incertitude, on ne se trouverait plus en logique optionnelle du tout.³¹

Enfin se pose la question de la modélisation du risque. A ce sujet, Knight (1971) – l'un des précurseurs dans l'étude de ce domaine – établit un distinguo entre le concept de « risque » et celui de « d'incertitude ». L'auteur considère que dans une situation de risque, la probabilité d'occurrence des différentes issues d'un événement est connue, alors qu'elle ne l'est pas dans une situation d'incertitude.

On retrouve cette opposition dans la littérature à travers les définitions très diverses qui sont données au concept d'incertitude. Ainsi, des théoriciens de l'information comme Attneave (1959) ou Garner (1962) définissent l'incertitude comme le logarithme du nombre d'issues possibles que peut avoir un événement. A cette définition très mathématique, d'autres auteurs opposent une conception beaucoup

²⁹ Sur ce point, cf. également Perlitz *et al.*, 1999

³⁰ Lint et Pennings citent également des actions marketing (ex : test de marché, déploiement partiel) permettant de réduire l'incertitude. Mais il s'agit ici d'actions permettant de collecter de l'information sur la source d'incertitude, et non pas d'agir sur la source d'incertitude elle-même. Nous analysons la collecte d'information plus loin, dans le § 1.1.4. *Mécanismes de révélation d'information.*

³¹ De façon similaire, Wernerfelt et Karnani (1987) indiquent que l'entreprise peut exercer une influence sur l'incertitude. En particulier, la détermination de la technologie dominante peut dépendre de façon significative de la volonté d'une entreprise d'investir dans cette technologie. Les auteurs estiment en ce cas que l'intérêt de reporter l'investissement est limité. Interprété en langage optionnel, on peut dire que s'il existe la possibilité d'influer sur la source d'incertitude, alors la valeur de l'option de report est faible.

plus large de l'incertitude, tels Lawrence et Lorsch (1967) qui considèrent que l'on se trouve en contexte d'incertitude dès lors que les trois conditions suivantes sont réunies :

- Manque de clarté de l'information.
- Longueur de la durée de temps s'écoulant jusqu'à l'issue finale.
- Incertitude générale sur les relations causales.

D'après Milliken (1987), les trois définitions de l'incertitude les plus citées dans la littérature sont les suivantes :

- L'incapacité d'attribuer des probabilités quant à l'occurrence d'événements futurs ;
- Le manque d'information sur les relations cause – effet ;
- L'incapacité de prévoir avec précision quelles seront les conséquences d'une décision.

Les décisions d'investissement stratégiques peuvent donc être placées sur un spectre, suivant que l'on se trouve plus dans une perspective de « risque » ou « d'incertitude » (au sens de Knight). Plus l'on est proche de l'extrémité « risque », plus les options réelles seront utiles à la décision d'investissement.

A titre d'exemple, dans le cadre d'une activité de trading d'électricité, une banque française a eu recours aux options réelles pour l'assister dans son choix de construction d'une usine électrique. Elle est alors parvenue à modéliser l'incertitude liée au prix de l'électricité, mais pas celle liée à l'attitude du régulateur.³²

A l'autre extrémité du spectre dans laquelle les issues possibles dans le futur ne sont même pas connues, on atteint la limite d'application des options réelles.³³

1.3. Flexibilité

D'après Goffin, la flexibilité correspond à la possibilité dans le futur de profiter de circonstances favorables, et d'éviter les circonstances défavorables.

Pour que la logique optionnelle opère, il faut que la condition d'incertitude soit combinée à celle de la flexibilité. Ceci n'est pas toujours le cas. Même en contexte incertain, il est possible que l'investissement soit lancé selon une configuration bien précise, qui ne pourra pas être modifiée par la suite. L'entreprise se trouve alors engagée dans une logique de pari,³⁴ et non dans une logique d'option (Copeland & Keenan, 1998: 42).

Pour illustrer cette notion de flexibilité, les deux auteurs prennent l'exemple de la construction d'une usine pilote dans le cadre du lancement d'un nouveau produit dont le succès est incertain. Si les dirigeants décident de construire dans un premier temps une usine pilote, et de ne construire l'usine principale ultérieurement, uniquement dans le cas où les premiers résultats seraient encourageants, alors il s'agit d'un projet répondant à une logique optionnelle. Si à l'inverse les dirigeants choisissent de construire immédiatement l'usine principale, alors ils se placent dans une logique de pari, et les options réelles ne sont d'aucune utilité pour valoriser l'investissement.

Dans quels cas peut-on considérer qu'un projet d'investissement est flexible ? Malheureusement, la littérature sur la flexibilité est très formelle et abstraite (Carlsson, 1989). Par ailleurs, elle se limite souvent au domaine de la gestion de production.

Stigler (1939) définit la flexibilité comme les attributs d'une technologie de production qui permet de s'adapter à des variations dans les volumes de production.

³² Source : « Les options réelles – applications et limites », Colloque du 25 janvier 2002, organisé à l'Université Paris IX Dauphine par le Centre de Recherches sur la Gestion et le Centre de Géopolitique de l'Énergie et des Matières Premières.

³³ cf. Plus bas, § 1.1.3. *Flexibilité*

³⁴ « *bet* » ou « *commitment* » dans la terminologie anglo-saxonne

Marschak et Nelson (1962) ont ensuite élargi la définition de ce concept, en proposant trois définitions alternatives :

- (i) L'envergure de l'éventail de choix : une action initiale sera d'autant plus flexible, qu'elle ouvre de nombreuses possibilités d'action pour les périodes futures ;
- (ii) Coût marginal : une usine sera d'autant plus flexible que les coûts additionnels pour modifier le volume de production sont faibles (définition assez proche de celle de Stigler) ;
- (iii) Bénéfice marginal attendu : une usine sera d'autant plus flexible qu'elle générera plus de profits (ou enregistrera des pertes inférieures) lorsque sa structure de production sera modifiée.

Surtout, Marschak et Nelson indiquent que la notion de flexibilité s'applique non seulement au choix de l'outil de production, mais aussi à la conduite de la Recherche et Développement, ainsi qu'au choix du portefeuille d'activités.

On peut également citer Cohendet et Llerena (1989), selon lesquels la flexibilité peut être décrite comme la « possibilité pour un décideur de pouvoir à tout moment reconsidérer ses choix de manière à maintenir l'optimalité de sa décision ».

Pour une vision plus opérationnelle de la flexibilité, l'approche la plus appropriée dans le cadre de cette recherche est sans doute de reprendre les grandes catégories d'options réelles – qui correspondent en fait aux différents types de flexibilité que peut présenter un projet.³⁵

Dans leur questionnaire auprès de directeurs financiers, Busby et Pitts (1997) ont investigué dans quelle mesure les projets d'investissement sont porteurs de flexibilité.

Le Tableau 2.1 indique la proportion des interviewés affirmant que les flexibilités d'un type donné (report, abandon, etc.) sont observables avec la fréquence indiquée (0%-20%, 20%-40%, etc.). Les chiffres soulignés correspondent à la médiane.

Tableau 2.1 : Fréquence des types de flexibilité dans les décisions d'investissement (en %)

Fréquence	Types de flexibilité (%)				
	Report	Abandon	Redéploiement	Croissance	Modification technique
0 - 20%	21	49	30	14	43
21 - 40%	16	<u>28</u>	<u>23</u>	21	<u>29</u>
41 - 60%	16	9	16	12	12
61 - 80%	<u>16</u>	9	16	<u>28</u>	10
81 - 100%	30	5	14	26	7
Total	100	100	100	100	100

Source : Busby et Pitts (1997)

L'étude de Busby et Pitts a été réalisée sur un échantillon réduit (44 répondants), et ses résultats doivent être interprétés avec précaution. Elle suggère que de nombreux projets sont porteurs de flexibilité, en particulier la flexibilité de report et de croissance. Mais elle montre également que la présence de flexibilité est loin d'être systématique.³⁶

En théorie, on peut penser que les managers disposent de nombreuses possibilités de faire évoluer un projet. Dans la pratique cependant, les marges de manœuvre des entreprises sont parfois

³⁵ cf. typologie des options réelles : Chapitre 1, section 1, § 1.3. *Présentation des principaux types d'options réelles*

³⁶ Sur l'option de croissance, on peut citer l'étude de Howell et Jägle (1997 : 928) auprès de 82 managers : 40% des interviewés ont estimé que les projets dans leur industrie donnent lieu à des possibilités d'investissements complémentaires.

considérablement réduites. Les auteurs mentionnent notamment les rigidités organisationnelles ou encore des impératifs d'ordre marketing. Par exemple, des entreprises peuvent être réticentes à retirer du marché un nouveau produit qui rencontre peu de succès, car cela pourrait envoyer des signaux négatifs auprès des consommateurs pour les produits lancés par la suite. Nous verrons plus loin que la pression concurrentielle peut également fortement affecter les modalités d'exercice d'une option. Enfin, la flexibilité des entreprises peut être significativement bridée par des contraintes réglementaires. Dans le domaine des télécommunications mobiles par exemple, l'octroi de licence d'exploitation d'un spectre est généralement assorti d'obligation de déployer un réseau dans une période de temps donnée.

D'autre part, il faut noter que la notion de flexibilité implique que l'évolution du projet d'investissement puisse être décidée de façon souveraine par l'entreprise qui détient l'option réelle. De la même manière, le porteur d'une option financière peut décider de façon souveraine, d'exercer ou non son option.

Si l'exercice de l'option dépend d'une partie tierce, alors les options réelles ne peuvent pas aider à la décision d'investissement. Par exemple, Amram et Kulatilaka (2000) affirment que les projets de développement de nouvelles molécules dans l'industrie pharmaceutique ne se prêtent pas à une analyse optionnelle.

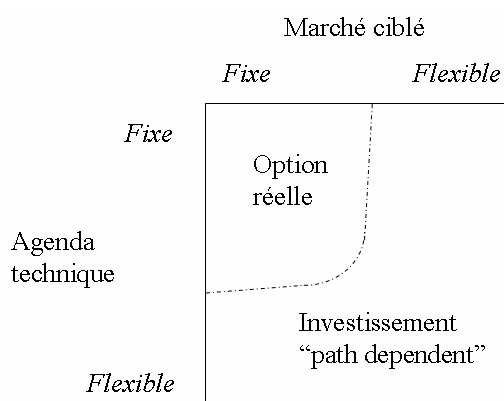
Pourtant, ces projets présentent de fortes similarités avec les projets d'exploration pétrolière, qui sont fréquemment analysés avec une approche optionnelle. Dans les deux cas, on observe :

- Une forte incertitude : seules très peu de molécules initialement développées seront finalement mises sur le marché.
- Un séquençage du projet en plusieurs phases : phases I, II et III, puis phase de « New Drug Application »).

Mais dans le cas de l'industrie pharmaceutique, le passage d'une phase à une autre ne peut pas être assimilé à une option, qui serait exercée de manière souveraine par la compagnie pharmaceutique. En effet, ce passage ne s'effectue que très rarement sur la base de facteurs économiques. Au contraire, il est dans presque tous les cas conditionné par de bons résultats sur le plan scientifique, et un accord de la part des autorités sanitaires (la « Federal Drug Association » aux Etats-Unis). Une fois que les autorités ont donné leur accord, le taux d'abandon est très faible. Nous ne nous trouvons donc pas face à une logique optionnelle.

Paradoxalement, pour que la logique optionnelle puisse opérer, il ne faut pas non plus que l'éventail des possibles soit trop large, car il devient alors très difficile de décrire en quoi consiste l'exercice de l'option.

Figure 2.2 : Frontières d'utilisation des options réelles et des opportunités « de dépendance de sentier »



Source: Adner & Levinthal (2004: 76)

Adner et Levinthal (2004b) indiquent que si les évolutions du projet, soit en terme de technologie, soit en termes de débouché commercial sont trop vastes, alors les options réelles ne constituent pas une approche adaptée.

1.4. Mécanismes de révélation d'information

En finance, la condition de la révélation d'information est remplie, car la valeur du sous-jacent est observable à tout moment. A la date d'échéance, le porteur de l'option connaît à la fois la valeur du sous-jacent et du prix d'exercice. Il sait donc exactement quel sera le montant du « pay-off » s'il exerce l'option.

Dans le cas des options réelles, il existe une incertitude sur la valeur du projet au moment où l'on réalise l'investissement initial – qui correspond à la création ou à l'acquisition de l'option. Pour que la logique optionnelle fonctionne, il faut que cette incertitude se réduise avec le temps, de façon à ce que la décision d'exercice soit appropriée (Merton, 1998: 339).

Ce phénomène de révélation d'information peut être réalisé soit de façon passive – comme dans le cas des options financières – soit de façon active.

Le mécanisme de révélation d'information qui entre en jeu dépend notamment du type d'incertitude mise en cause (Fichman *et al.*, 2005: 78). S'il s'agit d'une incertitude portant sur le prix d'une matière première, alors l'incertitude est réduite de façon passive. Ce peut être aussi le cas lorsque l'incertitude porte sur le potentiel de marché, et qu'il existe la possibilité d'observer le succès d'une nouvelle technologie dans d'autres zones géographiques. S'il s'agit d'une incertitude portant sur les aspects techniques, la révélation d'information s'effectue plutôt de façon active, par exemple par le biais de programme de R&D ou dans le cas de l'exploration pétrolière, par le biais d'un forage. D'autres mécanismes de révélation d'information active sont la réalisation d'un projet pilote ou divers moyens d'investigation marketing, comme des tests marketing, le marketing en temps réel, un déploiement partiel ou une annonce anticipée du nouveau produit (Lint & Pennings, 1999: 487-489).

Cependant, la réduction d'incertitude n'est pas toujours possible. Coff et Laverly (2001: 74) indiquent que ce problème est particulièrement aigu lorsque l'option porte sur un savoir (« *knowledge asset* »). Si l'incertitude sur la valeur du projet reste élevée, alors une entreprise peut être exposée à deux types de problèmes :

- Prendre la mauvaise décision à l'échéance de l'option, c'est-à-dire exercer une option alors que le projet n'est pas rentable, ou au contraire abandonner une option alors que le projet est rentable ;
- Ne pas abandonner une option, et maintenir en vie un mauvais projet pendant des années (Coff & Laverly, 2001 : 74-75 ; Fichman *et al.*, 2005 : 82). Ce problème est d'autant plus susceptible de se produire que la date d'échéance d'une option réelle n'est généralement pas fixée clairement comme celle d'une option financière.³⁷

Dans la pratique, la révélation d'information n'est généralement que partielle, à des degrés divers suivant les cas. Si la réduction d'incertitude n'est pas possible du tout, alors l'option réelle n'existe pas, et la décision d'investissement fait intervenir une règle de VAN standard (Coff & Laverly, 2001).

En résumé, un projet d'investissement suit une logique optionnelle s'il remplit simultanément plusieurs conditions : (1) l'investissement initial est irréversible ; (2) l'incertitude est forte, elle est modélisable, et l'entreprise ne dispose pas de moyens d'agir directement sur la source d'incertitude ; (3) les caractéristiques du projet peuvent être modifiées par l'entreprise face à l'aléa, sans toutefois

³⁷ Cf. Section 2, § II.2.2 *Obstacles à l'abandon des options réelles*

que l'éventail des possibles soit trop large non plus ; (4) il existe la possibilité d'acquérir de l'information sur les principales sources d'incertitude.

Si la condition d'irréversibilité est généralement remplie, les autres ne le sont pas nécessairement, ou à des degrés divers. Durand *et al.* (2002) considèrent ainsi que, suivant le degré de relâchement des hypothèses, l'application des options réelles aux décisions stratégiques s'effectuera sur des modes distincts : utilisation « pure », « restreinte » ou « métaphorique ».

II. Conditions pour que les options réelles apportent un éclairage supplémentaire à la VAN

Pour que les options réelles aient un apport à la prise de décision, il faut non seulement que l'investissement soit porteur d'option(s) réelle(s), mais aussi que la valorisation par les options réelles apportent des éclairages complémentaires à ceux que l'on aurait pu obtenir avec une méthode classique comme la VAN.

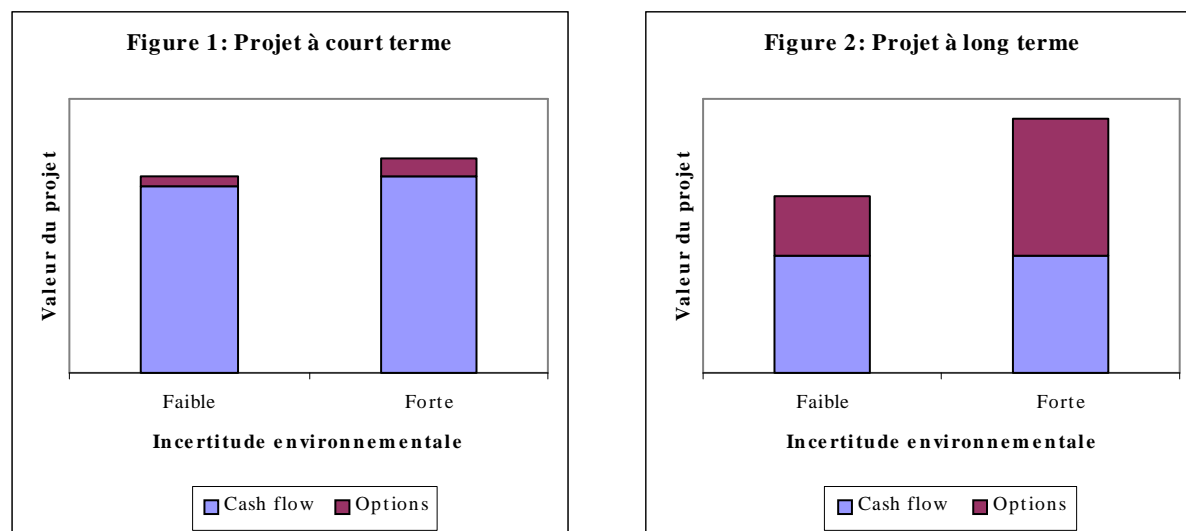
A cet égard, on peut distinguer deux cas de figure :

- La valeur totale du projet est égale à la somme de la VAN et de la valeur d'option ;
- La valeur totale du projet est égale à la valeur d'option.

II.1. Cas dans lesquels la valeur totale d'un projet est égale à la somme de la VAN et de la valeur d'option

Le premier cas de figure que nous étudions est celui où la valeur totale du projet est égale à la somme de la VAN et de la valeur d'option. C'est typiquement le cas lorsqu'un projet est porteur d'une option de croissance. Comme l'indique Sharp (1991), la part des options dans la valeur totale du projet peut alors varier de façon significative (Figure 2.3).

Figure 2.3 : Importance de la valeur d'option dans la valeur totale du projet



Source : Sharp (1991 : 71).

D'après Kester (1984), les principaux déterminants de la valeur d'une option réelle sont :

- 1) Les déterminants de la valeur des options financières à savoir :
 - La durée de temps s'écoulant jusqu'à l'échéance (paramètre T) ;
 - Le risque du projet, représenté par sa volatilité (paramètre σ) ;
 - Le niveau des taux d'intérêt (paramètre r).

2) Le fait qu'il s'agisse d'une option « propriétaire » ou d'une option « partagée ».³⁸

De façon similaire, Sharp (1991) cite d'une part le degré d'incertitude environnementale, et d'autre part l'horizon temporel du projet comme les principaux déterminants de la valeur d'option.

Naturellement, si les caractéristiques du projet et le contexte stratégique dans lequel évolue l'entreprise sont tels que l'on peut s'attendre à une valeur d'option faible, alors cela ne présentera pas d'intérêt de mener une analyse optionnelle en complément du calcul de VAN.

II.2. Cas dans lesquels la valeur de projet est égale à la valeur d'option

La seconde configuration que nous investiguons est celle où la valeur du projet est égale à la valeur d'option. C'est notamment le cas lorsqu'il est possible de différer le lancement d'un projet. La valeur du projet différé peut alors être assimilée à la valeur d'une option de report, au lieu d'être estimée par un calcul de VAN.

Copeland & Antikarov (2001) expliquent que l'analyse optionnelle et la VAN ne conduisent à des résultats différents que pour les projets dont la VAN est proche de 0. Pour le comprendre, nous détaillons les cas où la VAN est largement positive, et où la VAN est largement négative.

Cas 1 : la VAN du projet est largement positive

La théorie financière nous apprend que plus une option est « dans la monnaie », c'est-à-dire plus la valeur du sous-jacent (ici noté V) est élevée par rapport au prix d'exercice (ici noté I), plus l'option d'achat est susceptible d'être exercée à l'échéance. Dans ce cas de figure, la valeur d'option est proche de sa « valeur intrinsèque », c'est-à-dire de la différence $V - I$.

Or, dans le cas des options réelles, la valeur intrinsèque $V - I$ n'est rien d'autre que la VAN. En conséquence, plus la VAN est élevée, plus la valeur d'option est proche de la VAN. Dans ce cas de figure, l'analyse par les options réelles n'apporte donc pas d'information supplémentaire par rapport à un calcul de VAN.

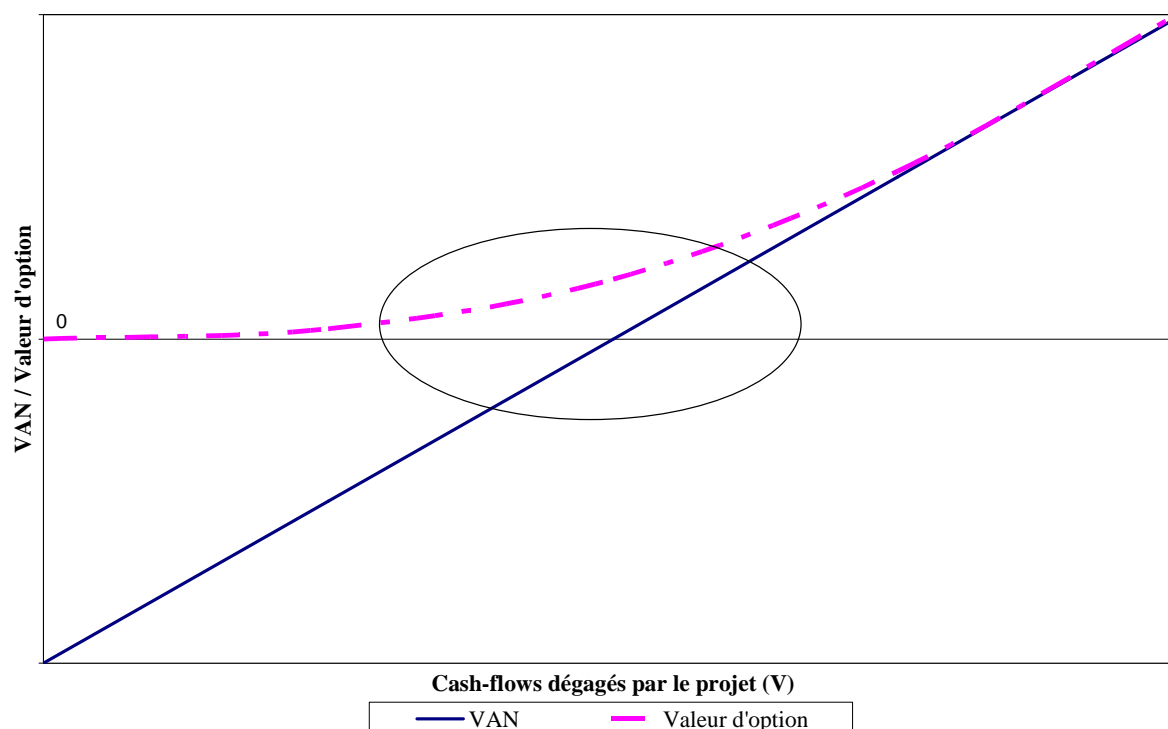
Cas 2 : la VAN du projet est largement négative

A l'inverse, lorsque la VAN est largement négative, cela revient à dire que le projet est très « en-dehors de la monnaie » : le sous-jacent V est largement inférieur au prix d'exercice I . En ce cas, même si V évolue de façon favorable, on a toujours à l'échéance $V < I$. L'option ne sera donc pas exercée, et donc la valeur d'option est strictement nulle.

Dans ce cas, la VAN et les options réelles conduisent toutes les deux à la conclusion qu'il ne faut pas investir.

³⁸ Cf. Chapitre 3, section 2 - § II. Principaux obstacles à la valorisation des options réelles.

Figure 2.4 : Comparaison de la VAN et de la valeur d'option



Graphiquement, on peut observer sur la Figure 2.4 que lorsque la VAN est largement positive, la courbe de la valeur d'option est tangente à celle de la VAN. Lorsque la VAN est largement négative, la valeur d'option est nulle.

La zone dans laquelle les options réelles permettent d'apporter un éclairage différent de celui donné par la VAN correspond au secteur situé à l'intérieur du cercle : alors que la VAN est négative ou légèrement supérieure à zéro, la valeur d'option est strictement positive : ceci indique que le projet mérite d'être retenu, contrairement à ce que l'on aurait pu déduire d'une analyse fondée sur la VAN.

Une bonne illustration des limites des options réelles est l'article de Paddock *et al.* (1988). Les auteurs étudient l'option d'attente présente dans l'exploitation de gisements pétroliers off-shore. Ils comparent alors trois valeurs :

- La valeur de la concession mesurée par la VAN ;
- La valeur de la concession mesurée par l'option d'attente ;
- Le prix proposé par les compagnies pétrolières pour l'acquisition de la concession.

Les résultats conduisent à des valorisations très similaires par la VAN et par les options réelles. En revanche, ces valeurs sont nettement inférieures au prix proposé par les compagnies pétrolières dans leurs réponses aux appels d'offres. Les auteurs expliquent ce résultat par le phénomène du « winner's curse » : la mécanique des enchères peut amener des compagnies à proposer des prix particulièrement élevés pour s'assurer l'attribution de la concession convoitée.

Bien que les compagnies disposent effectivement d'une option d'attente dans l'exploitation des concessions, les options réelles n'apportent ici pas d'éclairage supplémentaire par rapport à la VAN. Ceci peut s'expliquer par le fait que les projets d'exploitation d'un gisement étaient largement « dans la monnaie ». Selon le mécanisme que nous avons décrit plus haut, la valeur d'option était donc très proche de la VAN.

Naturellement, la valeur du projet total, c'est-à-dire la valeur du gisement moins le prix payé pour la concession était proche de zéro. Mais le prix payé pour la concession correspondait ici au paiement de la prime d'option, et non pas à l'option elle-même.

Cet exemple illustre le fait que la logique optionnelle ne fonctionne pas bien lorsque la création de l'option n'est rendue possible que par le paiement d'une « prime » d'option importante. Pour pouvoir appliquer les options réelles, il faut que l'investissement initial soit petit, en proportion avec les opportunités de déploiement futures.

SECTION 2 : APPORTS ET LIMITES DES OPTIONS REELLES A LA DECISION D'INVESTISSEMENT STRATEGIQUE

I. Des contributions à la décision d'investissement très diverses

Les contributions des options réelles à la décision d'investissement peuvent être très diverses.

Les options réelles peuvent répondre à des questions différentes, suivant :

- Le type d'option réelle mise en cause ;
- Le niveau d'analyse (à l'échelle d'un projet ou d'un portefeuille de projets) ;
- Le positionnement de la décision dans le cycle de vie du projet.

Par ailleurs, la nature des contributions peut être plutôt d'ordre qualitatif, ou plutôt d'ordre quantitatif.

1.1. Des contributions variant suivant le type d'option réelle mise en cause

Suivant le type d'option générée par le projet, les décisions d'investissement auxquelles les options réelles permettent de répondre sont très variées.

Tableau 2.2 : Décision d'investissement étudiée suivant le type d'option réelle généré

Type d'option	Décision d'investissement étudiée	Articles de référence
Options stratégiques		
Option de croissance, option d'apprentissage	Quelle est la valeur du projet ? <i>Valeur totale du projet = VAN du projet sans flexibilité + valeur de l'option d'achat</i>	(Myers, 1977 ; Kester, 1984)
Option d'abandon	Quelle est la valeur du projet ? <i>Valeur totale du projet = VAN du projet sans flexibilité + valeur de l'option de vente</i>	(McDonald & Siegel, 1985)
Option d'attente	Quand faut-il investir dans le projet ? <i>Valeur du projet reporté = valeur de l'option d'attente</i>	(McDonald & Siegel, 1986)
Option de séquençage	Faut-il interrompre l'investissement dans le projet, même si aucun cash-flow n'a encore été généré ? <i>Valeur du projet = valeur de l'option composée</i>	(Majd & Pindyck, 1987)
Options de flexibilité		
Option d'arrêt temporaire / débit variable	<ul style="list-style-type: none"> • Combien vaut un actif flexible ? Question corolaire : le surcoût par rapport à un actif similaire, mais non flexible, est-il justifié ? <i>Valeur de l'actif = Portefeuille d'options d'achat (de vente)</i> • A partir de quelle valeur seuil de la variable incertaine (ex : le prix du pétrole) faut-il exercer l'option (exemple : arrêt temporaire de l'exploitation du gisement) ? 	(Stulz, 1982; Johnson, 1987; Kulatilaka, 1993; Goffin, 1995, 1996)
Choix de l'input minimum		
Choix de l'output maximum		

Parmi les options « stratégiques », les options de croissance et d'abandon permettent de valoriser un projet, en tenant compte du fait que son périmètre pourra être revu à la hausse (option de croissance) ou à la baisse (option d'abandon). L'apport des options réelles est ici d'aboutir à une valorisation du projet plus exacte que la VAN, car elle prend en compte la valeur de la « flexibilité managériale ». ³⁹

Dans le cas où le projet présente une option de séquençage ou une option d'attente, l'intérêt d'un recours aux options réelles est plutôt d'avoir un éclairage sur le *timing* de l'investissement.

Dans le cas de l'option de séquençage, les options réelles permettent de déterminer si, ayant déjà effectué une partie de la dépense d'investissement, il est optimal de poursuivre ou bien de suspendre la dépense d'investissement. Dans le cas de l'option d'attente, il s'agit de déterminer si le projet d'investissement doit être entrepris immédiatement, ou plutôt reporté.

Dans le cas des options de flexibilité, le recours aux options réelles peut servir deux principaux objectifs.

Le premier objectif est de déterminer la valeur d'un actif flexible, par rapport à un actif non flexible.

Kulatilaka (1993) prend l'exemple d'une centrale de production de vapeur pouvant fonctionner avec deux types d'énergie : le fuel et le gaz. Ce type de centrale peut être valorisé comme une série d'options d'échange, puisque l'on a la possibilité à chaque période de choisir la source d'énergie la moins chère. Naturellement, une centrale électrique fonctionnant uniquement au fuel ou uniquement au gaz serait moins chère à construire. La question est donc : la flexibilité offerte par la centrale bi-énergie vaut-elle le surcoût d'investissement par rapport à une centrale mono-énergie ? Pour le savoir, il faut comparer ce surcoût à la valeur de la flexibilité, qui est calculée comme la différence entre la valeur de la centrale bi-énergie (estimée avec les options réelles) et la valeur de la centrale mono-énergie (estimée avec la VAN).

De façon similaire, Bengtsson et Olhager (2002) valorisent la flexibilité de systèmes de production permettant la fabrication de plusieurs produits lorsqu'il existe une incertitude sur la demande.

Le deuxième objectif que peut poursuivre l'analyse optionnelle dans le cas d'une option « opérationnelle » est de déterminer les règles de fonctionnement qui permettront de gérer au mieux la flexibilité de l'actif.

Par exemple, Brennan et Schwartz (1985) ont modélisé à quel moment il était optimal de lancer ou de stopper l'exploitation d'une mine, en fonction de l'évolution du prix du minerai. Ils ont à cette occasion mis en évidence le phénomène d'hystérésis. Ce phénomène explique pourquoi il est rationnel de ne pas arrêter l'exploitation dès que le prix du minerai passe au-dessous du point mort (et inversement, lorsque la mine est à l'arrêt, de ne pas redémarrer l'exploitation dès que le prix du minerai passe au-dessus du point mort).⁴⁰

D'une manière plus générale, le phénomène d'hystérésis permet d'expliquer pourquoi les entreprises maintiennent en vie des projets d'investissement peu performants plus longtemps que ne l'aurait suggéré la règle de la VAN (Dixit, 1992).

³⁹ cf. Chapitre 1, Encadré 1.2

⁴⁰ Sur le phénomène d'hystérésis, et la résolution numérique pour déterminer les valeurs seuils, voir aussi Dixit, A. 1989. Entry and exit decisions under uncertainty. *Journal of Political Economy* 97(3): 620-638

1.2. Des contributions intervenant à différents stades et à différents niveaux d'analyse de la décision d'investissement

La contribution des options réelles à la décision d'investissement varie suivant la phase dans le cycle de vie du projet (Tableau 2.3).

Tableau 2.3 : Contributions possibles des options réelles suivant la phase dans le cycle de vie du projet

Phase	Apport des options réelles
Conception du projet	Identification des structures de projet permettant d'en maximiser la valeur
Sélection d'un projet	Valorisation du projet, en tenant compte de la valeur de la flexibilité managériale, c'est-à-dire de la faculté qu'a le management de faire évoluer la configuration du projet (timing, périmètre) en fonction des aléas
Suivi / pilotage du projet	Détermination de la date optimale d'exercice de l'option ;
	Détermination de l'intérêt d'abandonner une option
	Détermination des seuils d'exercice d'une option de flexibilité

1.2.1. Conception du projet d'investissement

Jusqu'à présent, nous avons surtout détaillé l'intérêt des options réelles pour valoriser les projets, dans le but d'établir une sélection des projets les plus profitables.

Dans le cas des options stratégiques, l'analyse optionnelle peut également intervenir plus en amont. L'objectif est alors de structurer le projet de façon à maximiser sa valeur. Par exemple, on peut initialement se trouver face à un projet non rentable. L'intérêt des options réelles réside alors dans la détermination de leviers de flexibilité supplémentaires, qui permettront d'aboutir à une valeur de projet positive (Kemna, 1993; Amram & Kulatilaka, 1999; McGrath *et al.*, 2004). Ce peut être notamment le cas si on séquence la dépense d'investissement en plusieurs phases, si on découpe le projet lui-même en plusieurs phases (ex : usine pilote, puis usine principale, ou bien extension progressive des zones géographiques couvertes) ou encore si on aménage des « portes de sortie ».

Benaroch (2002) souligne ainsi que l'une des étapes cruciales de l'analyse réside précisément dans l'élaboration de mécanismes qui ouvrent des marges de flexibilité pour l'avenir, et donc génèrent des options réelles.

Il ne s'agit donc pas d'identifier, puis de valoriser, la ou les option(s) présente(s) dans un projet d'investissement, mais plutôt de configurer ce projet de manière à ce qu'il soit doté d'options réelles.

1.2.2. Suivi et pilotage du projet d'investissement

Les options réelles permettent de déterminer s'il est opportun d'effectuer un investissement initial qui est porteur d'option. Ceci est effectué en calculant le montant de la prime d'option. Une fois cet investissement réalisé, les options réelles permettent également de déterminer à *quelle date* il est optimal d'exercer l'option.

Si l'investissement initial donne naissance à une option de croissance, l'analyse optionnelle déterminera quand il est optimal de procéder à l'investissement permettant l'extension du projet. Kogut (1991) donne l'exemple de l'implantation dans un nouveau marché, qui est initialement réalisé

par de nombreuses entreprises à travers la formation d'une joint-venture avec un partenaire local. D'après Kogut, l'investissement dans la JV peut être assimilé à l'achat d'une option de croissance, dont l'exercice correspond au rachat des 50% du partenaire. La question est alors de déterminer à quelle date il est optimal d'exercer cette option. L'auteur estime que les managers n'effectuent pas de calcul détaillé pour déterminer cette date, mais s'appuient plutôt sur des indicateurs de taille de marché, qui révèlent la valeur de l'option de croissance.

Inversement, lorsque l'investissement initial donne naissance à une option d'abandon, les options réelles peuvent permettre de déterminer la date optimale d'exercice de l'option de vente, c'est-à-dire la date à laquelle les actifs engagés dans le projet doivent être vendus.

D'une manière générale, Triantis et Borison (2001) soulignent que l'un des grands apports des options réelles est l'importance accordée au suivi du projet.

- Avec les outils classiques d'aide à la décision, il existe une tendance à réaliser un exercice de valorisation simplement pour décider de lancer un investissement ou non. Le projet est ensuite piloté sans tenir compte de l'analyse réalisée à l'origine. Avec les options réelles au contraire, il s'agit d'établir une feuille de route des actions futures. Celle-ci est utilisée pour réévaluer régulièrement un projet, et s'assurer que les bonnes décisions sont prises au fur et à mesure de son déroulement.
- Ce type d'analyse est particulièrement crucial lorsqu'il n'existe pas de mécanisme formel incitant à exécuter les options. Par exemple, combien de managers sont-ils récompensés pour avoir exercé une option de vente (« put option »), consistant à réduire l'activité ou à fermer leur propre domaine de responsabilité ?

1.2.3. Niveau d'analyse : à l'échelle d'un projet ou à l'échelle d'un portefeuille de projets

Les décisions d'investissement que nous avons abordées jusqu'à présent concernaient la sélection et le pilotage d'un seul projet.

Il est également possible d'avoir recours aux options réelles pour valoriser un portefeuille de projets, lorsqu'il existe des interdépendances entre ces projets. Ainsi, dans le secteur des technologies de l'information, Bardhan *et al.* (2004) ont mis en évidence deux types de dépendance entre projets :

- Des dépendances « fortes » (« *hard dependencies* ») : lorsque la compétence développée par un projet est également nécessaire à la réalisation d'un ou plusieurs autres projets ;
- Des dépendances « faibles » (« *soft dependencies* »), lorsque la compétence développée par un projet permet d'améliorer la performance d'un autre projet.

Lorsqu'un projet présente des interdépendances avec d'autres projets en aval, alors sa valeur totale est égale à la somme de sa VAN et des options de croissance correspondant à la réalisation des projets qui en dépendent.

Les auteurs mettent en application ces principes pour optimiser le portefeuille de projets informatiques d'un producteur d'électricité. Ils montrent que sans la prise en compte des options réelles, des projets d'infrastructure générant des bénéfices à long terme auraient été écartés, au bénéfice de projets générant des cash-flows rapides. L'analyse optionnelle peut donc affecter significativement la composition d'un portefeuille de projets.

Le niveau d'analyse utilisé par les premiers travaux sur les options réelles était encore plus agrégé, puisqu'il se plaçait à l'échelle de la firme. Ainsi, Mc Grath *et al.* (2004 : 87) rappellent que les recherches de Miller et Modigliani (1961), Myers (1977), Myers et Turnbull (1977) définissent les options réelles comme un ensemble indéfini d'opportunités de croissance détenu par une entreprise, qui proviennent d'un ensemble de ressources et de capacités.

1.3. Les options réelles : outil de valorisation ou cadre conceptuel ?

1.3.1 Les options réelles comme un outil de valorisation

Nous avons montré dans le Chapitre 1⁴¹ que les options réelles sont plus appropriées que la VAN pour valoriser les projets en contexte d'incertitude.

D'une part, les options réelles conduisent à une valorisation de projet plus adéquate que la VAN, car elles prennent en compte la valeur de la flexibilité managériale.⁴²

D'autre part, les options réelles offrent un traitement du risque plus transparent que la VAN (Borison *et al.*, 2003: 20). En effet, dans le cas de la VAN, l'amplitude du risque est matérialisée dans le choix du taux d'actualisation. Or, il s'avère que le taux d'actualisation est le plus souvent fixé de façon arbitraire par les entreprises, et que les différentes composantes qui permettent de l'établir ne sont pas comprises par la plupart des managers (ex : Myers, 1996 : 98).

Dans ce contexte, l'un des intérêts des options réelles est de prendre en compte le risque de façon plus transparente, non pas à travers le dénominateur – le taux d'actualisation est en principe le taux sans risque – mais à travers le numérateur, c'est-à-dire les cash-flows générés par le projet.

Sur les marchés financiers, les modèles issus de la théorie des options permettent simultanément de valoriser le montant de la prime d'option, et de déterminer la date optimale d'exercice de l'option.

De façon similaire, les options réelles permettent non seulement de valoriser un projet, mais aussi d'aboutir à une recommandation plus nuancée que la VAN au sujet de la date optimale de l'investissement.

La VAN analyse une opportunité d'investissement comme une décision devant être prise « maintenant ou jamais » : si la VAN est positive, le projet est retenu ; dans le cas contraire, le projet est écarté – sans que l'on puisse déterminer si ce rejet est définitif, ou si cela pourrait présenter un intérêt à l'avenir d'étudier à nouveau le problème.

A l'inverse, l'approche optionnelle prévoit trois cas de figure : le lancement du projet, son abandon définitif ou le report de la décision d'investissement. Dans ce dernier cas, les modèles d'option permettent de déterminer la date optimale d'investissement.

1.3.2. Les options réelles comme un cadre conceptuel pour structurer la décision d'investissement

De nombreux chercheurs estiment que les options réelles ne sont pas un simple outil de valorisation (ex: McGrath, 1999; Coff & Laverty, 2001; Miller & Waller, 2003; Fichman *et al.*, 2005). Elles constituent un mode de pensée qui aide les organisations à structurer la décision d'investissement en contexte incertain.

Cet apport des options réelles ne doit pas être sous-estimé. En effet, la recherche empirique a montré que dans la pratique, l'évaluation quantitative d'un projet ne joue qu'un rôle limité dans la décision d'investissement (Pike, 1983; Butler *et al.*, 1991; Van Cauwenbergh *et al.*, 1996; Arnold & Hatzopoulos, 2000).

⁴¹ cf. Section 1, § I. *Les options réelles : une idée séduisante*

⁴² cf. Chapitre 1, Encadré 1.2

Tableau 2.4 : Principaux apports des options réelles comme philosophie d'investissement

Pratiques actuelles des entreprises	Apport des options réelles	Impact sur la compétitivité des entreprises
<ul style="list-style-type: none"> • Tendances à rechercher des projets à variance limitée, afin d'éviter l'échec (McGrath, 1999) • Faible incitation à la prise de risque avec les méthodes actuelles : plus le risque est élevé, plus le taux d'actualisation est fort, plus la VAN est faible 	<ul style="list-style-type: none"> • Démontrent que, dans un contexte d'incertitude, la valeur totale d'un projet peut être forte, même si sa VAN est faible, voire négative • Expliquent pourquoi la valeur d'un projet peut <i>augmenter</i> avec l'incertitude 	<p>L'entreprise peut mieux évaluer les opportunités certes risquées, mais potentiellement très rentables et indispensables au maintien de sa position concurrentielle</p> <p>Plus grande incitation à prendre des risques</p>
<p>Inertie dans le pilotage des projets :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rôle purement formel des procédures de suivi des investissements (Busby & Pitts, 1997) ; • Incapacité des entreprises à modifier leurs projets en fonction de l'évolution des conditions économiques ; • Décision de lancement d'un nouveau produit très rarement remise en cause (Lint & Pennings, 1999) 	<p>Contraignent le management à :</p> <ul style="list-style-type: none"> • envisager d'emblée plusieurs scénarios d'évolution possibles pour un projet d'investissement ; • piloter le projet de façon à ce que la flexibilité de choix soit préservée ; • faire évoluer le projet en fonction de la situation économique. <p>(McGrath <i>et al.</i>, 2004: 94)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Valeur du projet maximisée ; • Réponse planifiée face à l'aléa, permettant une plus grande réactivité
<p>Grande réticence à abandonner les projets dont les signaux d'échec se multiplient :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Divers biais cognitifs contribuent à « l'escalade des engagements » (Staw, 1981) ; • L'abandon d'un projet a des conséquences sociales et organisationnelles que l'on cherche à éviter (ex: Ross & Staw, 1986). 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconnaittent explicitement l'existence d'un risque, et donc l'éventualité de se tromper • Recommandent de procéder de façon incrémentale, ce qui permet de facilement les abandonner ou modifier un projet dès les premiers signes d'échec. <p>(McGrath, 1999)</p>	<p>Les entreprises n'ont plus à supporter pendant des années le poids de grands projets déficitaires</p>

Le Tableau 2.4 montre que la propagation du raisonnement optionnel permettrait d'agir « en profondeur » sur le mode de pilotage par les entreprises des projets d'investissement en contexte incertain. Plus précisément, les principaux bénéfices des options réelles comme philosophie d'investissement sont au nombre de trois :

- Encourager les entreprises à lancer des projets d'investissement risqués ;
- Maximiser la valeur des projets en les faisant évoluer au gré des circonstances économiques ;
- Eviter de supporter pendant des années le poids de grands projets déficitaires.

I.3.3. Intérêt pratique des options réelles: « option valuation » V. « option reasoning »

Dans les cercles académiques, tout comme dans le monde de l'entreprise, les avis divergent quant au rôle concret (outil de valorisation V. mode de pensée) que peuvent jouer les options réelles dans les prises de décisions stratégiques. Ce débat est résumé en quelques lignes par Damodaran (2000: 29) : « *Some top managers and consultants prefer to use real options simply as a rhetorical tool that can be used to justify investment and acquisition decisions for which there may be little quantitative support. The basis for this feeling is often that, while there are embedded options in most decisions, such options cannot be valued with any precision. Others argue that we should use real options to attempt to quantify the value of these options, and build them into the decision process* ».

Triantis et Borison (2001) confirment que dans la pratique des entreprises les options réelles peuvent jouer ces deux rôles. Les auteurs ont réalisé des entretiens auprès d'une trentaine de multinationales ayant recours aux options réelles. Ils en distinguent trois grands types d'utilisation :

- Les options réelles comme un cadre conceptuel (« *way of thinking* »).
Elles sont utilisées de façon qualitative, pour structurer la prise de décision. Cela concerne notamment les décisions de fusion-acquisition.
- Les options réelles comme un outil analytique.
Elles sont utilisées par des entreprises exerçant une activité de trading sur des commodités (matières premières, électricité). Il s'agit d'options formalisées par des contrats, dont les modalités sont clairement définies, et que l'entreprise cherche à valoriser. Dans ce cas, les options réelles sont utilisées uniquement pour des domaines spécialisés de l'entreprise, et non pas pour l'ensemble des décisions d'investissement.
- Les options réelles comme un processus organisationnel.
Elles sont intégrées dans le processus de décision d'investissement de l'entreprise. Ce mode d'utilisation concerne par exemple des entreprises dans des secteurs technologiques, où la R&D est primordiale. L'objectif est d'identifier et d'exploiter les options stratégiques, en combinant à la fois des analyses conceptuelles et des analyses quantitatives.

Les études de cas empiriques suggèrent que le débat qualitatif / quantitatif doit être dépassé.

En particulier, Bowman & Moskowitz (2001) ont étudié l'utilisation des options réelles par la compagnie pharmaceutique Merck pour prendre une décision de vente de licence.⁴³ Ils montrent que les managers ont fait des erreurs dans l'application du modèle de valorisation d'option. Néanmoins, les auteurs estiment que l'utilisation des options réelles avait été bénéfique. Leur principal apport a été de montrer que cela n'avait pas de sens de calculer une NPV moyenne entre « bon » et « mauvais » scénario, puisque le « mauvais » scénario ne serait de toute façon jamais exécuté.

Dans le domaine des technologies de l'information, Taudes *et al.* (2000) ont étudié la décision d'une entreprise de passer leur ERP de la version SAP R/2 à la version SAP R/3. D'après eux, la valorisation des options réelles ne demande pas du tout la même précision que celle des options financières. Dans cette étude de cas, ils estiment que l'intérêt des options réelles résidait avant tout dans le raisonnement optionnel (à travers la formation d'un arbre de décision), plus que dans la valorisation précise du projet.

⁴³ Cf. Chapitre 3

II. Les limites des options réelles

II.1. Les limites de nature méthodologique

II.1.1. Difficulté à identifier les options réelles générées par un projet d'investissement

Avant même d'aborder le difficile problème de la valorisation des options réelles, se pose celui de leur identification. Les options réelles présentes au sein d'un projet d'investissement sont difficiles à identifier car, contrairement aux options financières, elles ne sont pas formalisées par un contrat (Myers, 1996; Copeland & Keenan, 1998). Copeland et Keenan citent notamment l'exemple de compagnies d'assurance américaines qui, dans les années 1960, ont assorti leurs polices de la possibilité d'emprunter à taux fixe, sans prendre conscience du fait que cette possibilité avait une valeur d'option.

Dans la pratique, l'exercice d'identification des options réelles est malaisé, car les dirigeants sont peu familiers avec la logique optionnelle. Kemna (1993) explique ainsi que l'on observe dans le monde de l'entreprise une confusion entre les alternatives, et les options contenues dans ces alternatives : il y a souvent des malentendus, car les managers considèrent souvent que les alternatives constituent des options.

Mais même pour les managers ayant été sensibilisé au raisonnement optionnel, la complexité de la situation est telle qu'il n'est pas toujours facile de reconnaître les options réelles. Kemna (1993) relate ainsi le cheminement d'un groupe de travail constitué au sein de la compagnie Shell sur les options réelles : dans le cadre d'un investissement dans un outil de production qui impliquait l'utilisation d'une technologie nouvelle, le groupe avait bien initialement identifié une option d'attente, mais il a fallu du temps avant que l'option de croissance soit repérée.

Les options réelles ne sont pas toujours là où on pourrait le penser, comme l'atteste notre recherche empirique. Nous avons eu l'intention d'analyser à travers une logique optionnelle la participation détenue par un opérateur de télécommunications (« opérateur A ») au sein d'un autre opérateur (« opérateur B »).

A première vue, la présence d'options réelles paraissait évidente : l'acquisition par l'opérateur A de 30% du capital de l'opérateur B avait été assortie d'un accord de coopération, prévoyant l'attribution d'un « call » pour l'opérateur A sur 33% additionnels du capital de l'opérateur B ; l'accord prévoyait également un « put » au profit du principal actionnaire de l'opérateur B, sur la totalité de ses actions.

Pourtant, il s'agissait là d'options très particulières, puisque le prix d'exercice prévu correspondait à la « *fair market value* ». Or, la valeur d'une option financière provient précisément de la différence potentielle, à l'échéance de l'option, entre le cours de l'action et le prix d'exercice prévu dans le contrat d'option. Dans ce cas de figure, le « pay-off » potentiel de « l'option » était donc nul, et la théorie des options n'était donc pas applicable.

Un phénomène similaire est évoqué par Bowman et Moskowitz (2001). Ils affirment que les joint-ventures ne peuvent pas être assimilées à des options réelles – contrairement à ce qui avait été affirmé dans la littérature, en particulier par Kogut (1991). En effet, le rachat possible du capital détenu par le partenaire n'est pas une option, puisque la valeur de rachat correspond le plus souvent à la « *fair market value* », et que le gain réalisé est donc nul.⁴⁴

⁴⁴ Dans cet exemple – et dans le cas des joint-ventures en général – on pourrait considérer que la prise de participation initiale permet d'éviter de payer une « prime d'acquisition » important au moment du rachat du reste du capital. Néanmoins, nous nous trouvons tout de même assez éloignés de la logique optionnelle.

II.1.2. Difficulté à valoriser les options réelles

La seconde difficulté méthodologique des options réelles concerne leur valorisation. Nous abordons ce point de façon détaillée dans le Chapitre 3.

A ce stade, on peut simplement noter que de nombreux chercheurs contournent le problème de la valorisation, en affirmant que les options réelles peuvent être utilisées comme un cadre conceptuel, plus que comme un outil de valorisation (Sharp, 1991; Miller & Waller, 2003; Fichman *et al.*, 2005).

Or, une telle approche a des limites, comme l'illustre bien l'article de Fichman *et al.* (2005). Ceux-ci affirment dans un premier temps que les options réelles sont surtout utiles comme mode de pensée, et qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser des modèles de valorisation sophistiqués. Néanmoins, lorsque les applications concrètes des options réelles sont abordées, il apparaît que la valorisation de l'option est bien souvent nécessaire à la prise de décision. C'est par exemple le cas lorsque l'existence d'une option de croissance peut justifier – ou non – le lancement d'un projet innovant. De même, l'option d'élargir le périmètre d'un projet⁴⁵ ou l'option de modifier l'usage d'un projet⁴⁶ sont appréciables, mais nécessitent au départ des coûts d'investissement ou des temps de développement supplémentaires.

La nécessité de valoriser l'option provient du fait que la flexibilité est rarement gratuite. Tout l'intérêt des options réelles est alors de valoriser cette flexibilité, et de pouvoir la comparer à son coût.

Un exemple d'application dans le domaine des télécommunications pourrait être celui d'un opérateur examinant un projet de construction de « backbone » dans une nouvelle zone géographique en voie de développement. En raison de la forte incertitude pesant sur l'intensité future du trafic IP, un tel projet apparaît très risqué. Conformément aux enseignements des options réelles, les managers pourront séquencer ce projet en plusieurs phases, et ne construire le « backbone » dans un premier temps que dans les régions les plus attractives. Cependant, une telle stratégie expose l'opérateur à des ruptures de service : le maillage du réseau étant incomplet, l'opérateur devra faire appel à des opérateurs tiers, et ne contrôle donc pas complètement sa qualité de service. L'intérêt des options réelles consiste alors à pouvoir estimer combien « vaut » la flexibilité permise par un séquençage du projet en plusieurs phases. On pourra alors comparer cette valeur avec le coût potentiel des ruptures de service.

Certains chercheurs (ex: Benaroch & Kauffman, 2000; Taudes *et al.*, 2000) recommandent de compenser la difficulté à valoriser les options par des analyses de sensibilité de la valeur d'option aux paramètres d'entrée. Cette approche est tout de même limitée, en particulier dans des contextes où les analyses de sensibilité conduisent à des recommandations d'investissement différentes suivant la valeur des paramètres d'entrée.

Par ailleurs, les recherches basées sur les simulations ont montré qu'il ne faut pas attendre de la part des managers une estimation intuitive de la valeur de l'option. Certes, les managers ont une bonne intuition sur le sens (à la hausse ou à la baisse) qu'aura la modification d'un des paramètres de calcul (volatilité, temps restant jusqu'à l'échéance, valeur du sous-jacent, taux d'intérêt sans risque) sur la valeur de l'option (Busby & Pitts, 1997; Howell & Jäggle, 1997). Néanmoins, les travaux de Howell et Jäggle (1997), ainsi que de Miller et Shapira (2004) montrent que les intuitions des managers ne sont dans l'ensemble que faiblement en ligne avec les valorisations données par la théorie des options.

En conséquence, une approche seulement conceptuelle des options réelles risque de générer une très grande subjectivité dans leur utilisation. Ceci risque de nuire fortement à la diffusion des options réelles, car les dirigeants craignent que celles-ci soient utilisées comme un argument pour lancer des projets d'investissement dont la VAN est négative (Triantis et Borison, 2001, 20-21).

⁴⁵ Dans la terminologie Anglo-saxonne : « option to scale up »

⁴⁶ Dans la terminologie Anglo-saxonne : « option to switch use »

II.2. Limites de nature comportementale et organisationnelle

La littérature sur les options réelles est majoritairement tournée vers une vision normative de cette approche. Forts de ce constat, certains auteurs rappellent la nécessité de prendre en compte les aspects comportementaux et organisationnels de la décision (Busby & Pitts, 1997; Miller & Shapira, 2004: 282).

La littérature suggère plusieurs obstacles de nature comportementale et organisationnelle à l'exercice ou à l'abandon des options réelles.

II.2.1. Obstacles à la création et à l'exercice des options réelles

Coff et Laverty (2001) indiquent que l'exercice d'une option peut être rendu difficile si celle-ci a été initiée au sein d'une structure qui est isolée de l'entreprise principale. En effet, l'exercice de l'option peut nécessiter la mise en place de nouvelles routines et d'une nouvelle culture, qui sont peu compatibles avec celles de l'entreprise principale. Les auteurs citent ainsi les exemples de General Motors avec sa division « Saturn » ou de Xerox Corporation avec son centre de recherche de Palo Alto (PARC), qui n'ont pas été en mesure d'exercer les options initiées par ces divisions, car ceci impliquait l'émergence d'une nouvelle culture, qui n'était pas acceptée par le reste de l'entreprise. Lorsque l'option est initiée par une unité indépendante, l'entreprise est donc exposée au risque de ne pas pouvoir l'exercer, autrement dit de condamner un bon projet d'investissement.

D'autre part, l'exercice optimal d'une option peut se heurter à des procédures de décision trop rigides et trop centralisées.

Ainsi, Borison *et al.* (2003) indiquent que pour tirer toute la valeur d'option dans l'exploitation de réserves pétrolières et gazières, il faudrait que les circuits de décision soient plus rapides, en donnant plus de pouvoir de décision aux managers opérationnels.

Kogut (1985) explique que le fait pour des entreprises multinationales d'avoir des sites de production dans différents pays a une valeur de flexibilité, car celle-ci peuvent transférer les volumes de production d'un pays à l'autre en fonction de l'évolution des taux de change ou des évolutions dans la réglementation locale. Néanmoins, l'auteur souligne que les systèmes actuels de planification et de contrôle ne permettent pas aux multinationales de tirer profit de cette flexibilité. En effet, les mécanismes actuels ne désolidarisent pas la performance managériale des sources d'incertitude externe comme le taux de change, qui sont hors de contrôle des managers. En conséquence, les managers sont pénalisés lorsqu'ils transfèrent la production vers d'autres pays.

Triantis (2005: 13-14) explique que les systèmes actuels de rémunération ne sont pas adaptés à la logique optionnelle.

En premier lieu, les systèmes actuels récompensent avant tout la génération de cash-flows à court terme. Ceci a deux principales implications en termes optionnels : les managers ne sont pas encouragés à créer des options, telles que les dépenses de R&D, qui consomment initialement du cash. De plus, les managers sont incités à exercer de façon prématurée les options de croissance, afin de générer du cash.

Triantis explique par ailleurs que les managers sont davantage motivés par la taille du budget ou de l'unité qu'ils gèrent, que par la création de valeur pour l'actionnaire. En conséquence, ils auront tendance à maintenir en vie une activité non profitable – en espérant que les choses s'améliorent – plutôt que d'exercer l'option d'abandon.

McCormack *et al.* (2003) évoquent des obstacles similaires à l'exploitation des options réelles dans le secteur de l'exploration et de l'exploitation pétrolière et gazière. Ils soulèvent notamment les problèmes suivants :

- Les systèmes d'information actuels ne sont pas adaptés à l'exploitation de la flexibilité, car il faudrait pour cela coordonner étroitement les bases de données des différentes fonctions : données sur les concessions, sur la taille des réserves, sur l'évolution des prix de vente, sur les coûts de production et sur les fournisseurs.
- Les systèmes de rémunération doivent être adaptés, pour inciter à la création d'options réelles. A l'heure actuelle, le fait de prouver l'existence de réserves – ce qui revient à créer une option pouvant être activée lorsque les prix de vente sont élevés – n'est pas reflété dans les états financiers des entreprises. Cette activité doit être reconnue et récompensée.
- Les systèmes de rémunération doivent par ailleurs inciter à exercer de façon appropriée les options réelles. Ceci nécessite un changement profond de la philosophie actuelle des systèmes de mesure de la performance, et donc de rémunération. En effet, ceux-ci sont orientés sur la réalisation d'objectifs de volumes de production et de cash-flows. Or, la maximisation de la valeur permise par l'exercice optimal des options réelles veut que, pendant certaines périodes de temps, il sera préférable de ne pas produire, même si la VAN du gisement est positive, alors qu'au cours d'autres périodes il sera au contraire recommandé de produire de façon intensive, même si les coûts d'exploitation sont élevés.
- Enfin, l'adaptation des systèmes d'incitation ne se limite pas à la compagnie pétrolière. Pour une gestion optimale des options, il est également nécessaire de mettre au point des systèmes de partages des gains avec les fournisseurs incitant à optimiser les choix d'exercice des options.

II.2.2. *Obstacles à l'abandon des options réelles*

En se fondant sur la théorie de « l'escalation of commitment » déjà évoquée précédemment (cf. Tableau 2.4), certains auteurs (Adner & Levinthal, 2004b; Fichman *et al.*, 2005: 82) affirment que la logique optionnelle ne favorise pas l'abandon de projets affichant des signaux négatifs, mais au contraire peut justifier leur maintien en vie.

D'après Coff et Laverty (2001), le risque de maintenir en vie un projet d'investissement alors que les signaux négatifs s'accumulent est d'autant plus grand si ce projet a été initié au sein de l'entreprise principale – et non par une unité isolée. Des facteurs individuels, structurels et institutionnels créent une pression pour maintenir en place les réseaux sociaux formés par les nouveaux projets. En conséquence, il y a un biais pour ne pas abandonner l'option et, au final, pour l'exercer. Les auteurs illustrent ce phénomène avec l'exemple de l'entreprise « 3M ». Dans son souci de promouvoir l'innovation, l'entreprise avait maintenu en vie de nombreuses « options » non rentables. Pour y mettre plus facilement un terme, 3M aurait dû – comme l'avait recommandé le cabinet de conseil McKinsey – être séparée en plusieurs entités indépendantes.

Il est vrai que la question de l'abandon de l'option est spécifique aux options réelles, et n'a pas été spécialement étudiée dans le cadre des options financières.

Dans le cas des options financières, la détention d'une option très en-dehors de la monnaie ne génère pas de coût direct.⁴⁷ La question d'abandonner ou non l'option ne se pose donc pas. Qui plus est, cette éventuelle question est de toute façon rapidement réglée, car la durée de vie des options financières est courte (typiquement quelques mois), avec une date d'échéance clairement établie par le contrat d'option.

Adner et Levinthal (2004b) soulignent le fait que dans le cas des options réelles au contraire, la durée de vie de l'option n'est pas limitée par une date précise. Comme la révélation d'information n'est que partielle⁴⁸, et qu'il subsiste toujours un flou plus ou moins important sur la capacité d'un projet à

⁴⁷ Tout au plus peut on considérer qu'il existe un coût d'opportunité à la détention d'une option financière, dans la mesure où celle-ci peut être revendue. Mais s'il s'agit d'une option très en-dehors de la monnaie, le prix de vente sera faible.

⁴⁸ cf. Chapitre 2, section 1 § I.3. *Présence de mécanismes de révélation d'information* et Chapitre 3, section 2 § I. *Principaux obstacles à la valorisation des options réelles*

généraliser à l'ensemble des options l'argument de Jacquet (2001) développé dans le cadre de la gestion de l'innovation.

D'autres auteurs s'opposent à cette vision, en avançant plusieurs arguments.

Zardkoohi (2004) affirme tout d'abord que les phénomènes « d'escalation of commitment » concernent avant tout les projets soutenus par les financements publics, pour lesquels les défenseurs du projet n'ont pas à en subir les conséquences négatives en cas d'échec.

Pour leur part, McGrath *et al.* (2004) rappellent que la logique optionnelle ne se résume pas au possible abandon d'un projet. Il existe de nombreux autres leviers de flexibilité, comme par exemple la révision à la hausse ou à la baisse du périmètre du projet.

Surtout, McGrath *et al.* soulignent le fait que ce n'est pas la logique optionnelle qui est en cause dans le phénomène décrit par Adner et Levinthal, mais plutôt l'existence de mécanismes de gestion de projet permettant d'éviter « l'escalation of commitment ». Les auteurs indiquent qu'il existe tout un arsenal de mesures permettant la « de-escalation of commitment », et que celles-ci doivent être utilisées afin que la logique optionnelle puisse être appliquée.

En ce sens, McGrath *et al.* rejoignent les auteurs qui affirment que la valeur théorique des options réelles ne peut se transformer en valeur concrète pour l'entreprise que si celle-ci met en place les mécanismes organisationnels adéquats.

Plus spécifiquement, deux aspects doivent être modifiés par les entreprises afin de mieux intégrer la logique optionnelle (Kogut, 1985; Borison *et al.*, 2003)

- L'allocation des droits de décision : il faut donner plus de pouvoirs aux managers qui sont proches de la source d'incertitude ; dans le même temps, il peut être nécessaire de créer des unités de coordination, afin d'effectuer des arbitrages entre les différentes sources de flexibilité (cf. Kogut, 1985 pour les décisions de production des différentes usines d'une multinationale).
- Les systèmes de rémunération : ceux-ci doivent être conçus de manière à encourager les managers à créer les options et, selon les termes de Fichman *et al.* (2005) à « honorer les contrats d'option » – c'est-à-dire à les exercer ou au contraire les abandonner de façon optimale.

En effet, le maintien en vie d'une option a le plus souvent un coût.

Jacquet relève que l'une des critiques formulées à l'encontre des options réelles est que celles-ci favorisent le saupoudrage des investissements. En d'autres termes, les options réelles inciteraient à multiplier les investissements, afin de se doter d'autant d'opportunités de croissance.

En réalité, l'auteur explique qu'une telle vision relève d'une mauvaise compréhension de l'approche optionnelle. En effet, dans le secteur de l'innovation, ce n'est généralement que l'aboutissement d'un projet de R&D – matérialisé par exemple par le dépôt d'un brevet – qui constitue véritablement une option réelle. Tant que l'on n'a pas atteint ce stade, on se trouve dans une phase de *construction* de l'option, et il faut être prêt à investir d'avantage lorsque les conditions incitent à poursuivre le projet.

De façon similaire, on peut considérer que c'est une mauvaise compréhension de la logique optionnelle qui amène à affirmer que les options réelles favorisent « l'escalation of commitment ». En effet, le maintien en vie d'une option a le plus souvent un coût.

La littérature s'est surtout concentrée sur le coût initial de la flexibilité : achat d'une licence ou d'une concession sans obligation d'exploitation, investissement dans des structures de production flexibles, etc. Mais il faut par ailleurs noter que pour maintenir en vie cette flexibilité, c'est-à-dire la possibilité à l'avenir d'effectuer des choix – il faut constamment investir (par exemple à travers des frais de maintenance ou des dépenses de R&D).

Si l'on applique correctement la logique optionnelle, on ne se prononce pas nécessairement en faveur de la poursuite du projet d'investissement, car il faut mettre en balance la valeur de la flexibilité avec son coût.

II.2.3. Un juste équilibre entre engagement et flexibilité

Enfin, même si on met en place les bons mécanismes organisationnels, et même si on a une lecture correcte de la logique optionnelle, on peut craindre dans certains cas que l'application de la logique optionnelle soit dommageable à la bonne marche de l'entreprise.

A cet égard, l'analyse de la littérature révèle deux risques opposés dans la poursuite d'une approche optionnelle :

- le risque de donner l'impression d'un « flottement » dans la conduite d'un projet d'investissement ;
- le risque de fixer un agenda trop rigide.

L'enquête menée par Busby et Pitts (1997) a révélé que certains managers n'étaient pas favorables à la diffusion de la logique optionnelle, craignant que celle-ci donne aux équipes en place une impression de flottement dans la gestion des projets d'investissement, et que cela réduise leur implication dans la réussite des projets.⁴⁹

Busby et Pitts font à cet égard référence aux travaux de Brunsson (1990), qui a mis en évidence que la décision pouvait jouer différents rôles : la décision permet d'effectuer des choix entre différentes alternatives, mais elle joue aussi un rôle de motivation important.

D'une manière plus générale, les auteurs mentionnent les inconvénients de la flexibilité identifiés par Das et Elango (1995) : coût financier bien sûr, mais aussi stress des employés – qui se sentent moins à l'aise que dans un environnement de routine –, manque de concentration de l'organisation sur un objectif précis et dans le cas d'investissement dans un outil de production flexible, peur que ce surcoût soit compensé par des licenciements.

A contrario, Adner et Levinthal (2004a) indiquent que si l'on se trouve davantage dans une logique de « path dependence » que dans une logique d'option, alors le recours aux options réelles risque de stopper des initiatives qui auraient pu être bénéfiques pour l'organisation.

En effet, les options réelles nécessitent de spécifier ex-ante quels sont les évolutions possibles du projet d'investissement. Or, le plus une entreprise s'engage dans des activités d'exploration, le moins ces évolutions peuvent être anticipées. Le risque est alors d'abandonner un projet, car il ne remplit pas les spécifications ex-ante, alors qu'il aurait pu être développé dans d'autres domaines d'application.

La réponse de McGrath *et al.* à l'argument d'Adner et Levinthal est que l'analyse optionnelle doit être réactualisée à chaque fois que de nouvelles informations sont disponibles. L'éventail des possibilités identifié lors de la création du projet d'investissement doit donc évoluer en fonction du contexte économique.

On pourrait compléter l'argument de McGrath *et al.* par une analogie avec les options financières : la composition du portefeuille de réplcation (« tracking portfolio ») qui permet de valoriser l'option, doit en permanence être ajustée en fonction de l'évolution du cours des actifs financiers.

⁴⁹ L'analyse détaillée des réponses faites au questionnaire de Busby et Pitts montre toutefois que le principal souci des directeurs financiers est ici de ne pas laisser l'impression que les coûts de réalisation du projet puissent déraiser. Leur réticence à l'égard d'une approche flexible résiderait donc davantage dans le contrôle des coûts que dans la crainte de voir le périmètre du projet d'investissement modifié.

Le débat ouvert par Adner et Levinthal montre une fois de plus que l'utilisation des options réelles ne doit pas être mécanique, et nécessite de se positionner sur un horizon de temps adéquat, dans lequel l'agenda n'est ni trop rigide, ni trop ouvert.

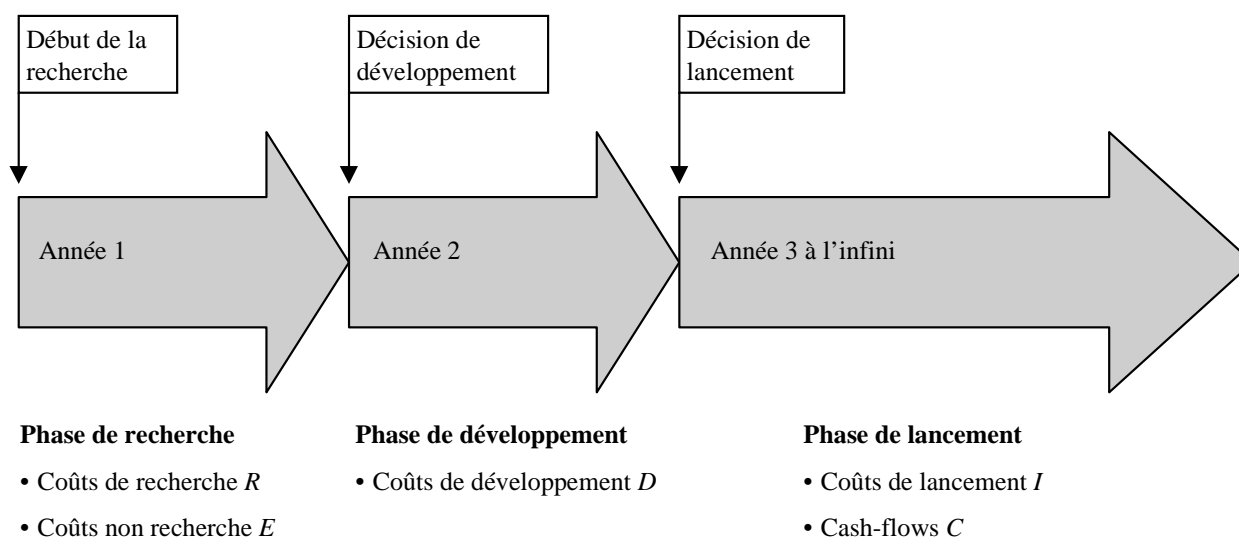
SECTION 3 : VALIDATION EMPIRIQUE : CONTRIBUTIONS ET LIMITES DES OPTIONS REELLES A LA PRISE DE DECISION D'INVESTISSEMENT DANS LA R&D

I. La R&D : un terrain privilégié pour appliquer les options réelles ?

En théorie, le domaine de la R&D se prête bien à la logique optionnelle (Perez, 2005). En effet, les projets de R&D sont soumis à des fortes incertitudes, que Huchzermeier et Loch (2001) ont réparties en cinq grandes catégories : la taille du marché, le budget (coût de réalisation du projet de R&D), la performance du produit, les attentes des consommateurs à l'égard du nouveau produit, le délai de réalisation du projet.

Par ailleurs, la structure de décision en phases successives laisse la flexibilité, à chaque étape, d'abandonner le projet (Figure 2.5).

Figure 2.5 : Structure type d'un modèle de valorisation d'option dans la R&D



Source : Jensen & Warren, 2001 : 175

En dehors de cette possibilité d'abandon en cours de projet évoquée par de très nombreuses publications (ex: Perlitz *et al.*, 1999; Carter & Edwards, 2001; Jensen & Warren, 2001; Boer, 2003), la littérature suggère d'autres leviers de flexibilité dans la gestion des projets de R&D :

- Possibilité de modifier en cours de route les caractéristiques du nouveau produit (Huchzermeier & Loch, 2001) ;
- Possibilité de mener des recherches sur plusieurs technologies concurrentes (à différents rythmes possibles) avant de choisir une technologie donnée (Childs & Triantis, 1999) ;
- Possibilité de reporter le lancement d'un nouveau produit, ou de n'effectuer qu'un lancement partiel (Pennings & Lint, 2000) ;
- Possibilité de sortie sous forme de vente d'une licence (Carter & Edwards, 2001).

De nombreux auteurs soulignent que, en raison de ces particularités des projets de R&D, la VAN n'est pas appropriée pour les valoriser (ex: Pennings & Lint, 1997; Lint & Pennings, 1998; Newton *et al.*, 2004). Nous avons montré dans le Chapitre 1 que la VAN ne prend pas en compte la valeur de la flexibilité.⁵⁰ Dans le contexte spécifique de la R&D, les projets sont particulièrement pénalisés par une valorisation de VAN, en raison d'effets liés à l'actualisation des cash-flows. Ce phénomène provient à

⁵⁰ Cf. Chapitre 1, section 1, § I.2. *Le principe de l'option réelle*

la fois de la longue durée des projets de R&D, ainsi que d'un taux d'actualisation élevé nécessité par le fort degré d'incertitude (Nichols, 1994; Boer, 2002).

De fait, la VAN est peu utilisée par les entreprises pour prendre des décisions d'investissement dans la R&D.⁵¹ Celles-ci préfèrent se baser sur des méthodes plus souples, en particulier l'analyse multi-critères. Néanmoins, l'analyse multi-critères n'est pas satisfaisante, car elle permet seulement d'établir un ordre de priorité entre les différents projets de R&D. Or, il est nécessaire de les valoriser, car la décision de financement d'un projet n'est pas binaire. Les projets peuvent être financés à un niveau minimal, ou au contraire être accélérés en leur consacrant davantage de ressources (Raynor & Leroux, 2004).

Les options réelles, qui permettent à la fois d'aboutir à un résultat chiffré, tout en tenant compte du contexte d'incertitude et de flexibilité, paraissent donc un outil d'aide à la décision particulièrement prometteur dans la R&D.

Néanmoins, l'étude de Hartmann et Hassan (2006) a permis d'établir que les options réelles ne sont que peu utilisées pour prendre les décisions de R&D dans l'industrie pharmaceutique. En dehors du fait que les options réelles sont une approche encore peu connue des managers, plusieurs obstacles se heurtent à leur application dans le domaine spécifique de la R&D.

Difficulté à décrire et à valoriser les options réelles présentes dans les projets de R&D

Myers (1996) indique que dans le cas de la R&D, la présence d'une option réelle peut être aisée à percevoir intuitivement, mais difficile à formaliser. Ceci peut provenir de la complexité de l'option, ou encore du fait que les frontières de l'option ne sont pas clairement définies.

Sur le plan de la valorisation proprement dite, Newton *et al.* (2004) citent notamment deux obstacles spécifiques au domaine de la R&D :

- La complexité de l'option : il s'agit généralement d'options composées, avec de multiples phases imbriquées les unes dans les autres
- La difficulté à estimer la valeur des paramètres. En particulier, le paramètre de volatilité est difficile à estimer, car le risque qui est à l'origine des options dans le domaine de la R&D n'est généralement pas coté sur les marchés financiers.⁵²

A cela, il faut ajouter que la valorisation des options dans le domaine de la R&D est rendue difficile par le fait que les débouchés commerciaux des projets sont généralement peu précis ; en conséquence, il est délicat d'évaluer les cash-flows potentiels dégagés par le projet in fine, et donc d'estimer la valeur du sous-jacent sur lequel la valeur d'option est calculée.

Absence de mécanismes de révélation d'information pour certains types d'incertitude

Huchzermeier et Loch (2001) estiment que la flexibilité n'a de valeur que pour gérer certains types d'incertitude. En effet, le report d'une décision ne présente d'intérêt que s'il est possible de rassembler des informations *avant* de prendre la décision.

D'après les auteurs, ceci est le cas lorsque l'incertitude porte sur la taille du marché ou sur le budget. En revanche, ils estiment que la logique optionnelle ne fonctionne pas lorsque l'incertitude porte sur la performance du produit, l'attente des consommateurs ou encore le délai de réalisation du projet.

Difficulté à modéliser le risque : projets « R » Vs. projets « D »

D'autre part, il apparaît que les options réelles sont nettement plus applicables pour les projets de développement que pour les projets de recherche pure. Davis (2002) souligne en effet que les premiers sont réalisés dans un univers de risque – qui est quantifiable, et que l'on peut donc gérer – tandis que

⁵¹ Dans le cadre de notre contrat de recherche au sein du département R&D d'un opérateur de télécommunications, nous avons pu constater que le calcul de la VAN prévisionnelle du projet, qui devait en principe figurer dans le document d'évaluation économique du projet, était très rarement réalisée par le chef de projet.

⁵² A ce sujet, voir également Davis, 2002

les seconds évoluent dans un univers d'incertitude – qui est beaucoup plus flou, et donc difficile à contrôler.

Tableau 2.5 : Principales différences dans la gestion du risque des projets *R* et des projets *D*

	Projets <i>R</i>	Projets <i>D</i>
Type d'univers	Incertitude (pas de possibilité d'affecter des probabilités)	Risque (quantifiable)
Risque principal	Travailler sur le développement d'une technologie qui ne fonctionnera pas	Développer des produits qui n'auront pas de succès commercial
Possibilité de gestion du risque	<ul style="list-style-type: none"> - Les objectifs ne sont pas clairs - L'évaluation du succès est ambiguë - Le processus de contrôle de la recherche n'affecte pas de façon significative la probabilité de succès de la découverte 	Possibilité de comprendre les risques inhérents au produit, et dans une certaine mesure, d'évaluer et de contrôler ces risques
Données sur la valeur économique créée par le projet	Pas de chiffrage possible	Possibilité d'obtenir une première estimation de données chiffrées
	↓	↓
Potentiel d'application des options réelles	Faible	Fort

Source : D'après Davis (2002)

L'utilisation des options réelles dans le secteur de la R&D n'est donc peut-être pas toujours aussi appropriée qu'il n'y paraît. Ceci nécessite une validation empirique, permettant d'aboutir à une vision plus nuancée des apports et des limites des options réelles dans ce domaine.

Dans le reste de cette section, nous détaillons les résultats menés lors d'un diagnostic sur l'intérêt des options réelles pour la valorisation et le pilotage des projets de R&D d'un opérateur de télécommunications.

Encadré 2.1 : Méthodologie : Diagnostic dans le département R&D d'un opérateur de télécommunications

Pour valider l'intérêt des options réelles à la valorisation et au pilotage de projets d'investissement dans la R&D, nous avons analysé de façon détaillée cinq projets de R&D d'un opérateur de télécommunications.

Il s'agit de projets de « développement ». En effet, nous avons vu plus haut que l'approche optionnelle n'est pas adaptée pour les projets de recherche pure.

Ces projets ont été sélectionnés de façon à obtenir un échantillon représentatif des différents types de clientèle et métiers de l'opérateur. D'autre part, nous avons choisi des projets figurant dans les deux grandes catégories de projets de l'opérateur :

- Des projets ayant pour objectif le déploiement d'un nouveau produit ou service. Ces projets contribuent directement à la création de valeur économique.
- Des projets de nature technique, que nous avons dénommés « projets infrastructures » ou « projets plateforme ». Il s'agit de projets destinés à mettre en place les solutions ou les infrastructures techniques, qui seront par la suite utilisées pour déployer de futurs produits ou services.

Catégorie	Code	Marché cible	Métier
Produit / Service	P1	Entreprises	Téléphonie fixe / internet
	P2	Entreprises	Téléphonie fixe
	P3	Grand public	Téléphonie mobile / fixe / internet
Infrastructure	I1	Grand public et entreprises	Téléphonie fixe / internet
	I2	Grand public	Téléphonie mobile / fixe / internet

Pour chaque projet, nous avons successivement analysé :

1. La valeur économique créée par le projet, et les incertitudes auxquelles cette valeur est soumise ;
2. L'existence ou non d'option(s) réelle(s) au sein du projet
 - Quelles possibilités s'offrent à l'opérateur pour réduire les incertitudes ?
 - Comment peut-on faire évoluer le projet au mieux des circonstances ?
3. L'intérêt concret d'une analyse optionnelle
 - A quelles questions concernant le pilotage d'un projet les options réelles permettent-elles de répondre ?
 - Dans quelle mesure l'intérêt théorique des options réelles est-il limité par des problèmes de mise en œuvre, et en particulier par des difficultés dans le chiffrage des options étudiées ?

Ces analyses ont été effectuées essentiellement à partir des différents documents utilisés par l'opérateur pour sélectionner et piloter le projet (un document préliminaire analysant l'intérêt économique et technique du projet ; un document décrivant les objectifs du projet, les tâches, responsabilités et le planning ; un document d'analyse des risques).

Elles ont été discutées et validées par le responsable opérationnel du contrat de recherche chez l'opérateur.

Dans cette section, nous présentons une synthèse des résultats. Les analyses détaillées des projets ne sont pas reprises dans la thèse, en raison du caractère confidentiel des données.

II. Présence d'options réelles dans les projets de R&D d'un opérateur de télécommunications

Sur les cinq projets étudiés, quatre étaient porteurs d'une, voire de deux options réelles (cf. Tableaux 2.6 et 2.7). En effet, nous avons constaté que les conditions d'existence des options réelles évoquées dans la section 1 de ce chapitre étaient le plus souvent rassemblées.

II.1. Présence d'incertitude

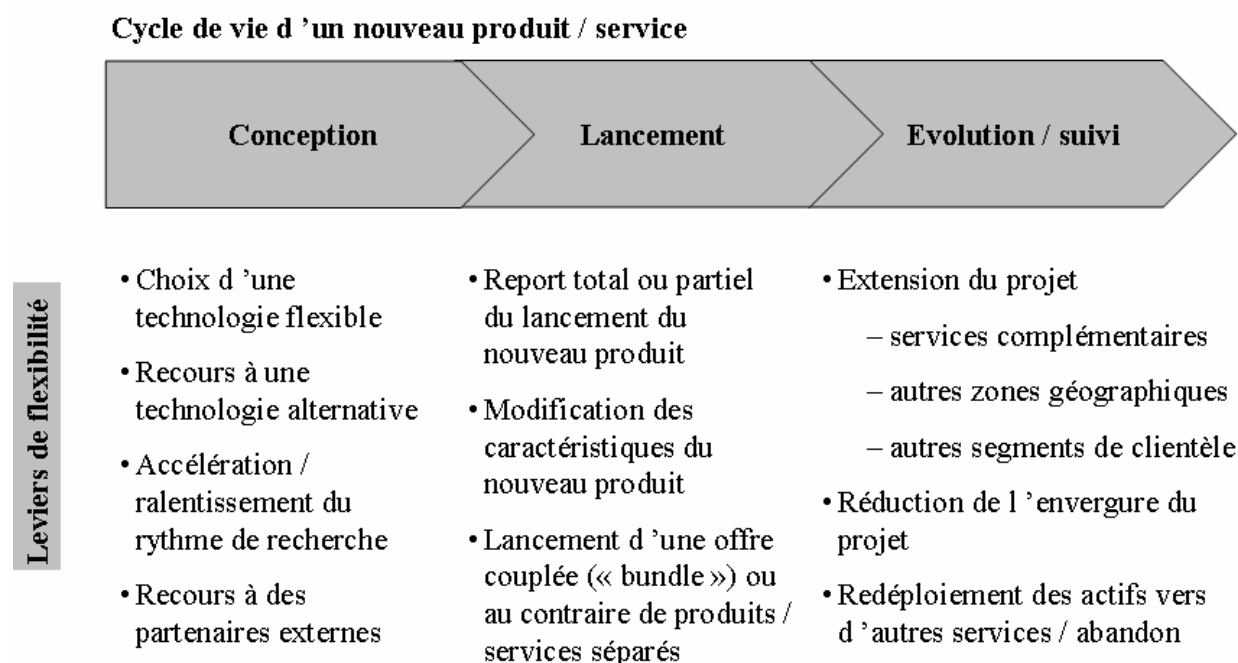
Parmi les sources d'incertitude les plus fréquemment relevées, on peut noter :

- L'incertitude technique :
Capacité de l'opérateur à développer une solution unique sur l'ensemble de ses métiers (*projet I2*) ; Capacité de l'opérateur à intégrer deux offres commerciales utilisant des terminaux différents (*projet P3*) ; Fiabilité des fournisseurs (*projet P1*).
- L'incertitude de marché :
Evolution de la structure concurrentielle du marché des télécommunications vers une logique de convergence (*projet I2*)⁵³ ; Choix techniques effectués par les partenaires et les concurrents (*projet I2*).
- L'incertitude sur les attentes des consommateurs à l'égard du nouveau produit :
Nécessité ou non d'adapter les fonctionnalités du nouveau produit aux différents segments de clientèle (*projet P2*).
- L'incertitude sur les usages faits par les consommateurs du nouveau produit :
La baisse du revenu moyen par client induite par le nouveau produit sera-t-elle compensée par la hausse du nombre de clients ? (*projet P3*) ; Comment le trafic total des usagers se répartira-t-il entre les différents produits, qui exigent des qualités de services différentes ? (*projet II*).

II.2. Présence de flexibilité

Pour quatre projets sur cinq, nous avons noté la possibilité pour l'opérateur de faire évoluer le projet face à l'aléa. Les leviers de flexibilité sont différents suivant la phase du cycle de vie du nouveau produit ou de la future infrastructure (Figure 2.6).

Figure 2.6 : Principaux leviers de flexibilité observés



⁵³ Cette évolution dépend notamment de la stratégie suivie par les opérateurs de télécommunications, du cadre réglementaire (possibilité ou non d'effectuer des offres groupées) et du comportement des consommateurs (intérêt ou non de recourir à un prestataire unique).

Phase de conception

Il existe pour l'opérateur la possibilité de choisir une technologie plus ou moins flexible. Par exemple, pour le projet *I1*, l'une des alternatives possibles était de déployer une technologie plus coûteuse, mais qui offrait la possibilité d'absorber du trafic supplémentaire si celui-ci venait à augmenter.

En cas de forte incertitude sur le succès de deux technologies concurrentes, le chef de projet peut maintenir une recherche sur les deux technologies, et le cas échéant modifier ses choix technologiques en cours de route (*projet I2*). Les efforts de recherche sur les deux technologies peuvent être modulés, avec soit des phases d'accélération, soit au contraire des phases d'investissement à minima.

Enfin, il existe la possibilité, en cas de difficulté technique, de recourir à des partenaires extérieurs (*projet I2*).

Phase de lancement

En cas d'incertitude portant soit sur les attentes des consommateurs, soit sur la capacité technique à fournir un nouveau produit sans défaut, il existe la possibilité de reporter – de façon complète ou partielle – le lancement du nouveau produit ou service.

A l'issue de la phase de report, l'opérateur pourra le cas échéant modifier les caractéristiques / fonctionnalités du nouveau produit (*projet P1*), modifier la structure tarifaire du nouveau produit (*projet P3*), choisir entre une offre couplée de deux produits (« bundle ») ou une offre séparée (*projet P3*), modifier sa sélection de fournisseurs (*projet P1*).

Phase de suivi

En cas de succès du nouveau produit, l'opérateur pourra étendre l'envergure du projet vers de nouvelles zones géographiques ou vers de nouveaux segments de clientèle. Par exemple, pour le projet *I2*, l'opérateur envisage l'extension du projet du marché des particuliers vers le marché des entreprises.

Par ailleurs, il est le plus souvent possible d'ajouter des services ou des fonctionnalités complémentaires au produit « de base » (*projet P3*).

Inversement, en cas par exemple de faible succès rencontré lors d'un lancement partiel du nouveau produit, on pourra limiter le projet à un marché de niche. Dans d'autres cas, il faudra envisager un abandon pur et simple du projet, ou bien, lorsque c'est possible, un redéploiement du savoir-faire vers d'autres services.

Les opportunités de flexibilité sont plus ou moins importantes suivant le positionnement occupé dans le cycle de vie du projet : plus on se situe dans une phase amont de développement, moins les modifications sont coûteuses d'une part, et plus les possibilités de modification sont nombreuses d'autre part.

D'un autre côté, on peut noter que dans les phases très en amont du cycle de vie du projet, les débouchés commerciaux d'une nouvelle technologie ne sont pas clairs, et les évolutions possibles du projet sont très nombreuses. Il s'agit alors de savoir représenter les grandes évolutions possibles du projet de façon simplifiée. En effet, nous avons vu précédemment que dans le cas d'un éventail trop large des possibles, la logique optionnelle ne fonctionnait pas.⁵⁴

⁵⁴ Cf. Section 1, § 1.3. *Flexibilité*

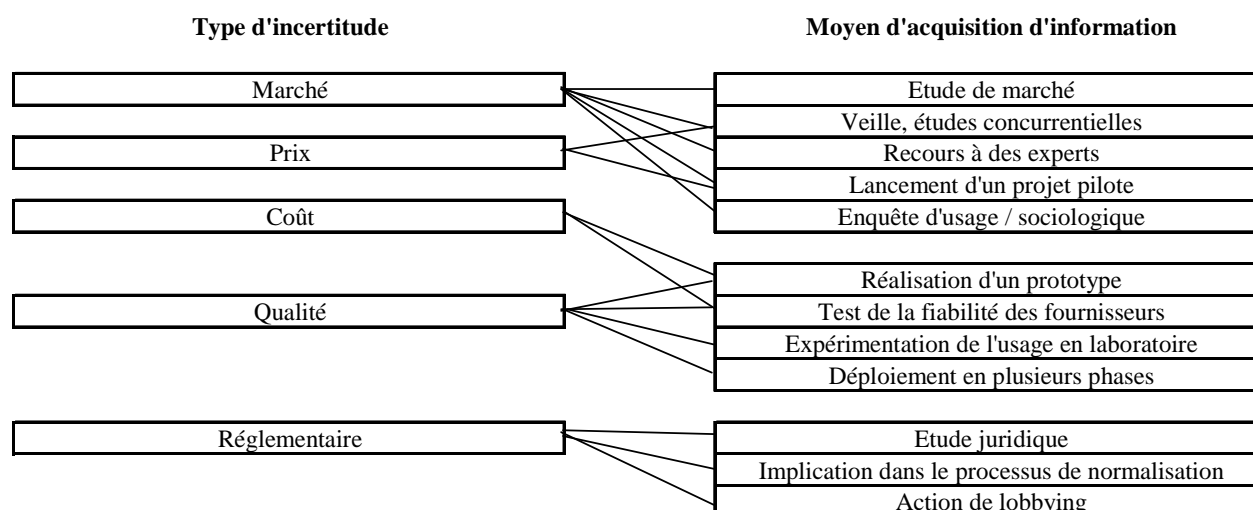
Par ailleurs, l'étude de ces projets de R&D a montré que le contexte concurrentiel pouvait *de facto* limiter de façon substantielle les marges de manœuvre de l'entreprise. Ainsi, dans le projet *P2*, une pression concurrentielle forte contraignait l'opérateur à effectuer un lancement rapide du nouveau produit. Pour cette raison, la flexibilité de reporter le lancement du nouveau produit n'était pas présente dans ce projet.

II.3. Présence de mécanismes de révélation d'information

Selon le type d'incertitude concerné, il existe plusieurs mécanismes de révélation d'information possibles :

- En premier lieu, certaines sources d'incertitude peuvent être résolues au fur et à mesure que le projet progresse. Ce phénomène peut concerner par exemple les incertitudes de type technique (*projet I2*).
- D'autre part, l'opérateur peut réduire l'incertitude de façon proactive. La figure ci-dessous récapitule divers moyens d'actions possibles suivant le type d'incertitude rencontré.

Figure 2.7 : Moyens d'acquisition d'information suivant le type d'incertitude rencontré



Les possibilités d'acquisition d'information pour réduire l'incertitude sont plus ou moins grandes. Ceci provient du fait que, dans certains cas, les études menées en amont ne permettent qu'une acquisition partielle de l'information recherchée.

- On peut par exemple être confronté à un cas de figure où deux groupes de testeurs distincts parviendront à des recommandations produit différentes.
- D'autre part, une étude de marché n'identifiera pas un manque d'accessibilité des fonctionnalités, qui ne se révélera qu'après le lancement effectif d'un nouveau service. Dans le cas du projet *P2*, ce n'est qu'à l'usage que l'on pourra déterminer si le nouveau produit peut être déployé dans une configuration identique pour l'ensemble de la clientèle « entreprises », ou bien s'il est nécessaire d'élaborer une version spécifique pour les « grands comptes ».

III. Apport concret des options réelles pour le pilotage des projets R&D d'un opérateur de télécommunications

L'apport concret d'une analyse optionnelle varie suivant le périmètre envisagé, et le destinataire de l'analyse. De façon schématique, la démarche optionnelle peut être initiée à deux niveaux :

- Le chef de projet → analyse optionnelle comme support au pilotage d'un projet ;
- La direction inter-projet → analyse optionnelle comme support au pilotage d'un portefeuille de projets.

Par ailleurs, suivant le périmètre et l'horizon temporels étudiés, l'utilisation des options réelles sera plutôt de nature quantitative ou conceptuelle.

III.1. Apport des options réelles pour le pilotage d'un projet

Les options réelles permettent d'assister le chef de projet pour prendre trois principaux types de décisions.

Décision de lancement d'une action permettant de mieux comprendre les attentes du marché (Projets P1 et P3)

Nous avons indiqué plus haut qu'il existe fréquemment une incertitude sur la bonne adéquation entre d'une part les caractéristiques du futur produit / service, et d'autre part les attentes des consommateurs. Ceci peut s'expliquer par plusieurs raisons :

- Souvent, pour des raisons de coûts, de délais, ou des problèmes techniques, le produit que l'on envisage de lancer sur le marché ne présente pas toutes les fonctionnalités que l'on avait envisagées au départ (Huchzermeier & Loch, 2001) ;
- Pour un produit ou un service correspondant à un nouveau concept, il est difficile d'anticiper quelles seront les attentes des consommateurs (Huchzermeier & Loch, 2001) ;
- On peut observer un décalage entre d'une part les performances objectives d'un produit, et d'autre part la qualité perçue par le consommateur.

Il existe plusieurs moyens pour réduire l'incertitude concernant la bonne adéquation du nouveau produit / service aux besoins du marché : étude de marché, réalisation d'un pilote, lancement partiel d'un produit, etc.⁵⁵

Dans ce cadre, les options réelles peuvent être utiles pour juger de l'intérêt de procéder à l'une de ces actions, et des dépenses maximales à y consacrer. Elles permettent également de sélectionner le meilleur type d'action, lorsque plusieurs d'entre eux sont envisageables (avec chacun des coûts spécifiques, et une efficacité plus ou moins grande pour réduire l'incertitude).

La réponse à ces questions dépendra de la confrontation entre :

- le coût d'une étude, qu'il soit direct (dépenses de recherche) ou indirect (report des cash-flows) et
- le bénéfice d'une action d'acquisition d'information : ce bénéfice correspond à la valeur d'option. Cette problématique a été étudiée par Bellalah (2001), qui prend en compte dans son modèle d'option un coût irréversible d'acquisition de l'information.

Ainsi, les options réelles permettent d'assister le chef de projet dans ses décisions ayant trait au timing du lancement d'un nouveau produit : faut-il réaliser une étude de marché ou un projet pilote avant le lancement, faut-il lancer le produit de façon séquentielle ou en une seule fois, etc. ?

⁵⁵ Cf. Lint & Pennings (1999) cités dans la Section 1, § I.1.4. *Mécanismes de révélation d'information*

Décisions concernant la gestion des ressources (Projet I2)

L'analyse de la documentation interne a montré que les chefs de projets doivent souvent effectuer des arbitrages dans la gestion des ressources humaines. Ceci provient du fait que les ressources sont limitées, alors que les objectifs d'un projet sont souvent multiples. Les projets de R&D comportent en effet à la fois des objectifs de déploiement à court terme, et des objectifs de veille technologique à moyen terme. Par ailleurs, le département R&D intervient en tant que « prestataire de service » auprès de différentes unités opérationnelles, qui expriment des besoins différents sur le développement d'une nouvelle fonctionnalité ou d'un nouveau service.

Les options réelles peuvent aider le chef de projet à décider de l'affectation des ressources entre des problématiques à court terme d'une part, et à moyen ou long terme d'autre part.

Dans le cas du projet I2, nous avons constaté que les options réelles pouvaient ainsi être mobilisées pour assister le chef de projet dans ses choix d'allocation des ressources face à deux types d'incertitude.

a) Incertitude technique

Dans le projet I2, l'opérateur avait fait le choix d'une technologie donnée, alors qu'il existait d'autres technologies alternatives. La valorisation de l'option d'échange pouvait alors aider à déterminer quelles ressources il fallait éventuellement consacrer à la veille et à la recherche sur ces technologies concurrentes, afin d'être préparé à une possible défaillance de la première technologie.

b) Incertitude sur l'intérêt économique de la nouvelle fonctionnalité

Le projet I2 pouvait être décomposé en deux phases successives, la deuxième phase n'étant initiée qu'en cas de succès économique de la première. En ce sens, la deuxième phase pouvait être assimilée à une option de croissance. La valorisation de cette option présentait alors l'intérêt pour le chef de projet de déterminer la répartition des ressources entre d'une part les recherches à court terme pour la réalisation de la première phase, et d'autre part les recherches à moyen terme permettant le lancement de la deuxième phase.

D'un point de vue organisationnel, le fait d'anticiper, grâce aux options réelles, les variations de charges possibles suivant l'évolution des circonstances, présente un intérêt double.

- D'une part, cette analyse incite à planifier le type de ressources dont on aura besoin pour les différents scénarii d'évolution d'un projet. En cas d'évolution de la situation, le chef de projet trouvera donc plus facilement les nouvelles ressources dont il a besoin.
- D'autre part, cet effort d'anticipation peut favoriser la communication avec les équipes, afin d'éviter que celles-ci ne se trouvent désorientées ou démotivées par de nécessaires remises en cause des priorités d'un projet.

Décision concernant la technologie à retenir (Projets I1 et I2)

Les options réelles peuvent aider le chef de projet à effectuer des choix technologiques.

Choix entre deux technologies offrant différents degrés de flexibilité (projet I1)

Dans le cas du projet I1, nous avons indiqué qu'il existait deux technologies d'infrastructure possibles (technologie « A » et technologie « B »). Ces infrastructures étaient destinées à supporter un ensemble d'applications futures, dont certaines imposaient des contraintes strictes en termes de qualité de services, tandis que d'autres étaient plus souples sur ce plan là.

En cas de croissance modérée des applications exigeant une forte qualité de service, la technologie « A » aurait convenu, tout en offrant un coût d'investissement nettement inférieur à celui de la technologie « B ». En revanche, en cas de forte de croissance de ces applications, seul un réseau utilisant la technologie « B » aurait permis d'absorber le surcroît de trafic. On peut donc considérer qu'en choisissant la technologie « B », l'opérateur se dote d'une option de croissance, qui lui permettra, si les conditions économiques le nécessitent, de développer sans heurt les nouveaux services.

On peut s'attendre à ce que cet arbitrage à faire entre d'une part une économie de CAPEX à court terme, et d'autre part une capacité de développement à moyen terme soit intuitivement perçue par le chef de projet. Quel est alors l'apport de la démarche optionnelle sur ce type de problématique ?

Le recours aux options réelles peut présenter un intérêt double.

1. La formalisation d'un phénomène perçu de façon intuitive

En principe, les décisions d'investissement de l'opérateur devaient être justifiées par un calcul de VAN. Or, la méthode de la VAN – qui ignore la valeur de la flexibilité – ne permettrait pas de comprendre pourquoi on peut être amené à préférer une technologie dont les coûts d'investissement sont nettement plus élevés que ceux de la technologie concurrente.

Le recours à la théorie optionnelle permet donc au chef de projet de justifier plus facilement pourquoi, sur un plan strictement économique, il peut être plus avantageux de privilégier une architecture dont le coût d'investissement initial est élevé.

2. La quantification de la valeur de la flexibilité

Au-delà de cet effort de formalisation de nature qualitative, les options réelles fournissent des éléments permettant de trancher entre les différentes architectures possibles. La valeur de l'option de croissance dépendra des projections concernant le trafic généré par les futures applications. Il s'agit alors de valoriser l'option de croissance, pour déterminer si celle-ci justifie le surcoût de la technologie « B » par rapport à la technologie « A ».

Décision de modification en cours de projet des choix technologiques (projet I2)

Nous avons vu que, dans le cadre du projet I2, l'opérateur avait choisi une technologie, tout en maintenant des efforts de recherche sur des technologies alternatives.

En cas de dégradation des perspectives offertes par la technologie initialement retenue, l'approche optionnelle peut alors aider à déterminer à quelle date il est nécessaire d'exercer l'option d'échange, c'est-à-dire de passer à une technologie concurrente, compte tenu des coûts de changement d'une part, et de l'incertitude concernant l'évolution des deux technologies d'autre part.

III.2. Apport des options réelles pour le pilotage d'un portefeuille de projets

Le deuxième niveau d'analyse optionnelle possible se situe à l'échelle du portefeuille de projets. L'approche optionnelle peut aider le management d'une part à sélectionner les projets qui constitueront son portefeuille, et d'autre part à piloter les évolutions de ce portefeuille de façon dynamique.

Hiérarchisation et sélection des projets pour la constitution du portefeuille

Un opérateur de télécommunication doit effectuer des décisions d'allocation de ressources entre plusieurs centaines de projets de recherche. Dans ce contexte, il peut être intéressant d'appliquer l'approche de sélection de projets de R&D suggérée par Raynor et Leroux (2004), afin d'obtenir une vision plus claire de la hiérarchie des projets.

La démarche optionnelle proposée par ces auteurs consiste ici à imaginer quelques grands scénarii d'évolution possibles de l'environnement de l'entreprise, et à lister les principaux projets à réaliser dans chacun de ces scénarii. On peut alors identifier les projets « cœur », qui doivent être financés dans tous les cas de figure. A l'inverse, certains projets n'apparaissent que dans certains scénarii. Ces projets peuvent être assimilés à des options : ils doivent dans un premier temps être financés seulement de façon à être maintenus en vie, et ne seront développés davantage (c'est-à-dire que l'option ne sera exercée) que si les circonstances le nécessitent.

Dans le cas de notre recherche, nous avons constaté qu'un tel raisonnement peut être mené à l'échelle de l'entreprise, ou encore – de façon sans doute plus pertinente – à l'échelle d'un « projet transverse ». Ce type de projet rassemble un certain nombre de développements sur un thème donné, qui peuvent être déployés sur les différents métiers de l'opérateur.⁵⁶ Les applications possibles sont multiples, une application donnant généralement naissance à un projet. Dans ce contexte, l'approche de Raynor et Leroux permettrait de bien distinguer, au sein d'un « projet transverse », quelles sont les applications qui sont au cœur du projet, et quelles sont celles qui ont une vocation plus accessoire.

Néanmoins, il s'agit ici d'avantage d'une démarche inspirée de la logique optionnelle, que d'une analyse d'options réelles à proprement parler.

De façon plus significative – mais également plus difficile à réaliser – les options réelles peuvent assister le management dans la constitution du portefeuille de projets, dans la mesure où elles permettent une valorisation plus correcte des projets qu'un calcul de VAN.

C'est notamment le cas pour les projets qui sont porteurs d'une option de croissance. Les options réelles permettent ainsi de mieux appréhender la valeur des projets à long terme, ainsi que des projets « plateforme ». Ceux-ci ne génèrent pas de cash-flows par eux-mêmes, mais peuvent être assimilés à des options de croissance : ils permettent à l'opérateur d'acquérir les compétences et de mettre en place les infrastructures qui seront nécessaires pour le déploiement de futurs produits et services.

Un pilotage dynamique du portefeuille de projets

Les projets d'investissement dans la R&D ne sont pas figés. Le déploiement d'un effort de recherche sur une thématique donne en fait naissance à une succession de sous-projets :

- Une nouvelle fonctionnalité est généralement déployée en plusieurs phases, avec dans un premier temps les caractéristiques de base, auxquelles s'ajoutent par la suite des caractéristiques complémentaires (*projets P3 et I2*) ;
- Le marché ciblé peut progressivement être élargi à d'autres zones géographiques ou segments de clientèle, ou au contraire être réduit ;
- La technologie utilisée peut être remplacée par une autre, ou être améliorée en versions successives.

Ce phénomène nécessite de la part du management une gestion dynamique des projets. Il s'agit notamment de décider du rythme d'investissement pour chacune des phases, ainsi que des évolutions du périmètre du projet.

L'intérêt de l'analyse optionnelle réside ici dans le fait qu'elle incite le management, dès la conception du projet, à envisager différentes évolutions du projet en fonction de l'évolution des sources d'incertitude. Une approche possible consiste ici à établir une « feuille de route » en fonction de la valeur prise par des indicateurs prédéterminés.⁵⁷

⁵⁶ Parmi les projets étudiés, les projets P3 et I2 faisaient ainsi partie de grands projets « transverses ».

⁵⁷ qui seront mis à jour au fur et à mesure du déroulement du projet

Une telle approche permet à l'entreprise de disposer d'une grande réactivité face à l'évolution du contexte économique.

Par ailleurs, le fait de reconnaître l'existence du risque fait des options réelles un outil « déculpabilisant » pour les équipes en place. C'est un point important, car l'abandon d'un effort de recherche est souvent ressenti par le chef de projet comme un échec personnel, l'amenant dans certains cas à la démission. Pour l'entreprise, identifier d'emblée la possibilité de l'abandon d'un projet, et surtout déterminer à l'avance les indicateurs justifiant l'abandon, lui éviteront de s'enliser dans des projets sans potentiel économique.

Cette étude empirique illustre donc bien les deux niveaux d'analyse possibles des options réelles identifiés précédemment ⁵⁸ : à l'échelle d'un projet, ou d'un portefeuille de projets. Dans le domaine de la R&D, la littérature s'est essentiellement concentrée sur les options réelles comme outil de valorisation d'un portefeuille de projets. Néanmoins, d'après Boer (2003 :58), c'est la possibilité grâce aux options réelles, de programmer de façon dynamique un projet de R&D au niveau individuel qui est la plus prometteuse.

Nous avons présenté une synthèse sur la présence et l'intérêt des options réelles pour le pilotage des projets de R&D étudiés. Pour les lecteurs souhaitant une vision plus analytique de ce phénomène, les deux tableaux ci-dessous récapitulent, pour chacun des projets étudiés, quelle(s) option(s) ont été identifiées, et le type de questions auxquelles l'identification et la valorisation de ces options permettent de répondre.

⁵⁸ cf. Section 2, § I.2.3. Niveau d'analyse: à l'échelle d'un projet, ou à l'échelle d'un portefeuille de projets ?

Tableau 2.6 : Récapitulatif des options analysées dans l'étude des projets de déploiement

Projet	Source d'incertitude	Option	Décision étudiée
P1	Fonctionnalités du produit attendues par les consommateurs	Option de report → A l'issue de la période de report, possibilité de modifier les caractéristiques / fonctionnalités du produit	Intérêt de reporter le lancement du produit après la réalisation d'une étude de marché ou d'un lancement pilote
	Capacité à fournir le service avec seulement deux fournisseurs	Option de report → A l'issue de la période de report, possibilité d'effectuer seulement un lancement partiel du produit (si l'on n'a pas trouvé de 3 ^{ème} fournisseur)	Intérêt de reporter le lancement du produit, et de rechercher un 3 ^{ème} fournisseur (« étude d'achat »)
		Option de séquençage → A l'issue de la 1 ^{ère} phase, possibilité de stopper temporairement le projet, en attendant d'avoir trouvé un 3 ^{ème} fournisseur	Intérêt de déployer le nouveau produit en plusieurs phases
P2	Degré d'insatisfaction des Grands Comptes, si l'on déploie une version unique du produit pour toutes les catégories d'entreprise	Pas de possibilité de repousser le projet pour acquérir de l'information : - Pression du temps (concurrence) - Résolution de l'incertitude seulement après le lancement effectif du produit	
P3	Usage effectué par les clients de la fonctionnalité du « produit P3 » → l'augmentation du parc de clients compensera-t-elle la baisse des ARPU ⁵⁹ ?	Option de report → A l'issue de la période de report, possibilité de modifier les caractéristiques du produit et /ou la structure tarifaire (répartition entre services « de base » et services optionnels)	Intérêt de repousser la date à laquelle les spécifications seront « figées », et de réaliser une enquête d'usage approfondie
	Incertitude sur l'usage d'une offre intégrée boîtier pour le produit P3 + boîtier d'une offre déjà existante (et les problèmes techniques associés)	Option de séquençage → Après l'introduction du boîtier seul, possibilité de lancer une offre couplée avec l'autre produit	Intérêt de lancer le boîtier seul, par rapport à une offre intégrée avec un autre produit (déjà existant)

⁵⁹ ARPU = Average Revenue Per Unit

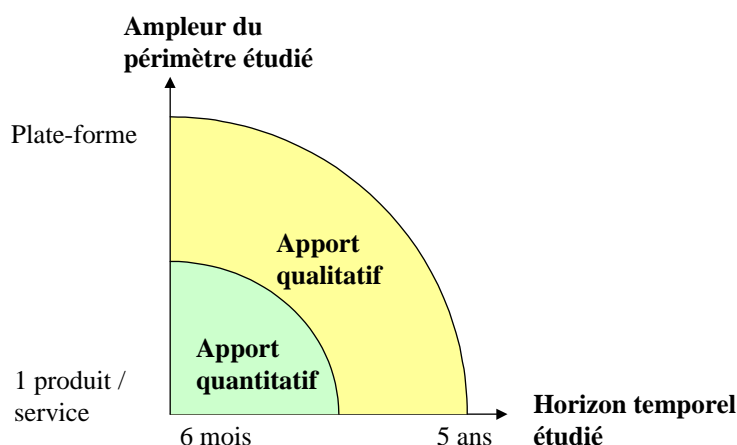
Tableau 2.7 : Récapitulatif des options analysées dans l'étude des projets « infrastructures »

Projet	Source d'incertitude	Option	Décision étudiée
I1	Volume du trafic futur supporté par le réseau, et en particulier du trafic nécessitant une forte qualité de service (QS)	Option de croissance → Avec la technologie « B », possibilité d'assurer le développement de nouveaux services demandant une forte QS	Choix d'une architecture réseau (technologie « A » Vs technologie « B »)
I2	Capacité de l'opérateur à développer la technologie souhaitée (une plate-forme unique pour l'ensemble de ses métiers)	Option d'échange → Possibilité de modifier les choix techniques initiaux	<ul style="list-style-type: none"> - Détermination de l'effort à consentir pour la veille sur des technologies alternatives - Si les perspectives ouvertes par les choix techniques initiaux se dégradent, détermination du moment auquel on décide de changer de technologie
	Compatibilité des choix techniques effectués par l'opérateur avec les choix techniques de ses partenaires		
	Evolution du marché vers une logique de convergence (justifiant la création d'une plate-forme d'identification unique)	Option de développement / contraction → Possibilité d'accélérer les efforts de recherche à moyen terme (au détriment des déploiements à court terme), ou au contraire de les réduire	<ul style="list-style-type: none"> - Détermination des ressources à affecter à l'ensemble du projet - Réalisation des arbitrages entre les problématiques à moyen terme, et les impératifs de déploiement à court terme

III.3. Type d'analyse optionnelle à réaliser

L'étude de ces projets a révélé que le type d'analyse optionnelle à mener diffère suivant les caractéristiques du projet. En particulier, deux dimensions déterminent la nature de l'analyse à réaliser : l'ampleur du périmètre couvert par le projet d'une part, et l'horizon de temps étudié d'autre part.

Figure 2.8 : Nature de l'analyse optionnelle suivant les caractéristiques du projet



Ampleur du périmètre couvert par le projet

Dans le cas des projets « plateforme », une analyse optionnelle quantitative sera très difficile à réaliser. En effet, nous avons indiqué que la valeur économique créée par ces projets ne provient pas directement de leur réalisation, mais plutôt d'un ensemble de produits et services futurs que le projet plateforme permettra de lancer.

La valorisation de l'option réelle nécessite donc de modéliser l'ensemble des flux économiques générés par ces futurs produits et services, ainsi que l'impact des sources d'incertitude sur la valeur économique créée (*Projet II*).

Lorsque le projet « plateforme » ne correspond pas au déploiement d'une infrastructure réseau, mais au déploiement d'une fonctionnalité nouvelle (*Projet I2*), alors l'analyse économique est encore plus difficile à réaliser. Il s'agit en effet de quantifier dans quelle mesure la nouvelle fonctionnalité permettra d'améliorer la rentabilité (via notamment une augmentation du parc client, une augmentation de l'ARPU ou une réduction des coûts opérationnels) de produits et services déjà existants ou à venir.

L'application réalisée par Jensen et Warren (2001) pour l'opérateur de télécommunications British Telecoms a montré les limites d'une valorisation d'option réalisée à un niveau très agrégé. Les auteurs ont utilisé le modèle d'option composée de Geske pour déterminer le montant de l'investissement total que British Telecommunications devait consacrer à la phase de recherche fondamentale⁶⁰ pour déployer par la suite des offres commerciales de « e-commerce ». Ils concluent que l'analyse optionnelle est plus pertinente à l'échelle d'un projet, ou d'un groupe de projets, qu'à l'échelle de l'entreprise. En effet, le fait de vouloir valoriser tout un programme en un bloc a conduit à formuler des hypothèses trop agrégées (ex : % des futures applications de e-commerce qui seront permises par la R&D) pour que l'analyse soit pertinente.

A l'inverse, lorsque le projet de R&D porte sur le déploiement d'un seul produit ou service, une approche quantitative des options réelles est possible. Toutefois, même dans ce cas là, il sera parfois nécessaire de prendre en compte la réalisation de projets connexes pour réaliser une analyse pertinente. Par exemple, dans le cadre du projet *P3*, une étude de marché à priori onéreuse pouvait se justifier si elle permettait de rassembler des éléments utiles pour d'autres projets faisant partie du même projet « transverse ».

⁶⁰ cf. Figure 2.5 au début de cette section

D'une manière générale, la catégorisation d'un projet entre la « plateforme » et le « produit / service » n'est pas binaire, et se place sur un continuum. Le principe général que l'on peut retenir est que plus les interactions avec d'autres projets sont importantes, plus l'analyse optionnelle sera complexe à mener, et se concentrera sur des éléments qualitatifs.

Horizon de temps étudié

D'une manière générale, plus on se positionne sur le long terme,

- plus il est difficile de réaliser des projections chiffrées sur la valeur économique créée par un produit ou un service ;
- plus les interactions potentielles avec d'autres produits / services sont importantes, et donc plus l'analyse devient complexe.

En conséquence, plus l'horizon temporel est éloigné, plus l'analyse optionnelle portera sur des aspects qualitatifs.

L'horizon temporel étudié dépend naturellement de la durée du projet. Mais suivant le type de question que l'on se pose, on pourra étudier un même projet à différentes échéances. En effet, nous avons vu qu'un même projet regroupe fréquemment des problématiques de déploiement à court terme d'une part, et des actions d'anticipation à moyen terme d'autre part (*Projets I2 et P1*).

Conclusion du chapitre

Le Chapitre 2 a permis d'aboutir à une vision plus claire des contributions possibles des options réelles à la décision d'investissement, et aussi de leurs limites.

Tout d'abord, il apparaît que les options réelles ne sont pas utiles pour toutes les décisions d'investissement. En effet, pour qu'un projet d'investissement soit porteur d'option, et que celle-ci ait de la valeur, il faut qu'un certain nombre de conditions soient réunies. Ce n'est pas toujours le cas, comme l'a montré notre étude empirique au sein du département R&D d'un opérateur de télécommunications.

Par ailleurs, il faut noter que dans certains cas, le projet est bien porteur d'option, mais l'analyse optionnelle conduit à des recommandations identiques à celles de la VAN. Dans ces conditions, il apparaît peu utile de mener une analyse optionnelle, dont nous avons à plusieurs reprises indiqué la complexité.

Le deuxième principal enseignement de ce chapitre est la très grande diversité des contributions possibles des options réelles à la décision d'investissement. L'étude de la littérature, tout comme le travail de recherche empirique, ont révélé que les options réelles permettent de répondre à des questions très diverses, en fonction notamment du type d'option concernée et du positionnement de le cycle de vie du projet. Nous avons vu également que l'analyse optionnelle peut être initiée à différents niveaux d'analyse : à l'échelle du projet, du portefeuille de projets, voire de la firme.

La nature de l'analyse peut être également très variée : les options réelles peuvent être utilisées de façon quantitative, pour valoriser le projet ; mais elles peuvent également être mobilisées comme un cadre conceptuel, qui permettra de structurer la décision d'investissement, et d'imposer plus de discipline dans le pilotage du projet.

Ce chapitre a également été l'occasion de soulever **les limites des options réelles.**

En premier lieu, il apparaît que les conditions nécessaires pour que les entreprises puissent effectivement tirer profit de la valeur de la flexibilité identifiée par les options réelles ne sont pour l'instant généralement pas réunies. **Pour que l'analyse optionnelle prenne tout son sens, et conduise véritablement à la création de valeur, il faut que les entreprises adaptent leurs processus organisationnels.** En particulier, l'allocation des droits de décision, ainsi que les systèmes de rémunération des collaborateurs tout comme des entreprises partenaires devront être adaptés, afin d'inciter à exploiter au maximum la flexibilité.

Par ailleurs, il existe des limites plus structurelles à la diffusion des options réelles comme outil d'aide à la décision des entreprises.

En particulier, nous avons souligné la **difficulté à identifier clairement les options réelles présentes dans un projet d'investissement.** D'après Myers (1996 : 100), ce caractère « flou » des options réelles,⁶¹ constitue la principale limite à leur utilisation comme outil d'aide à la décision d'investissement.

L'autre obstacle majeur à l'utilisation des options réelles réside dans la difficulté à les valoriser. **La recherche empirique dans le domaine de la R&D** – qui constitue pourtant en principe un terrain privilégié pour l'application des options réelles – **suggère que la valorisation des options réelles ne sera possible que pour certains types de projets.**

De nombreux auteurs, conscients de la difficulté à valoriser les options réelles, plaident pour une utilisation conceptuelle de ces dernières. Nous avons montré dans ce chapitre qu'une utilisation des options réelles comme « mode de pensée » contribuait effectivement à améliorer la prise de décision stratégique. Néanmoins, il est également apparu que les options réelles ne prennent souvent toute leur intérêt que lorsque l'on est en mesure de les valoriser, ne serait-ce que de façon approximative.

⁶¹ En Anglais : the « fuzziness » of real options

Enfin, il ressort de ce chapitre que l'analyse optionnelle présente un caractère très *ad-hoc*. L'étude de la littérature, ainsi que le diagnostic réalisé dans le domaine de la R&D, ont révélé que les conditions d'existence des options réelles – incertitude, flexibilité, révélation d'information – sont en fait remplies à des degrés divers selon les projets. L'intérêt d'une analyse optionnelle sera donc très variable selon les projets. Par ailleurs, les options réelles peuvent être utilisées pour répondre à une très grande diversité de décisions d'investissement. Le type d'analyse menée dépendra du niveau d'analyse retenu, de l'horizon de temps envisagé, et de la nature du projet.

Il n'existe donc pas d'analyse optionnelle standard, et ceci constitue certainement un frein important à la diffusion de cette approche dans le monde de l'entreprise.

CONCLUSION DE LA PARTIE I

Cette première partie a permis de poser le cadre d'analyse de la thèse.

Le Chapitre 1 a montré qu'en matière d'options réelles « le transfert de technologie des tours d'ivoire vers les sièges sociaux » (Triantis 2005 :15) n'a pour l'instant pas eu lieu.

En dépit de l'intérêt théorique de cette nouvelle approche, la diffusion des options réelles dans le monde de l'entreprise reste très limitée. L'une des principales raisons expliquant ce phénomène tient à la difficulté des managers à transposer la théorie des options réelles dans la pratique. De fait, la revue de littérature montre que les académiques se sont essentiellement concentrés sur des modèles de valorisation théoriques des options réelles.

Le Chapitre 1 a ainsi mis en évidence que cette thèse, centrée sur une validation empirique de l'intérêt des options réelles à la décision stratégique, est positionnée sur un domaine comportant un fort potentiel de recherche.

Le Chapitre 2 a permis de répondre, au moins partiellement, à deux des trois sous-questions de recherche formulées dans l'introduction générale.

« Pour quels types de projets d'investissement les options réelles sont-elles utiles ? »

Le Chapitre 2 répond à cette question en montrant que **le raisonnement optionnel s'applique uniquement à des projets d'investissement remplissant des conditions bien précises, notamment d'incertitude, de flexibilité, et de possibilité de révélation d'information.** Le diagnostic mené au sein du département R&D d'un opérateur de télécommunications a révélé que ce n'est pas toujours le cas. Il a par ailleurs mis en évidence que, dans la réalité, les conditions d'existence des options réelles ne sont généralement que partiellement remplies. Il appartient ensuite à chacun de juger si la logique optionnelle est suffisamment respectée pour que le recours aux options réelles ait du sens.

Par ailleurs, le Chapitre 2 a été l'occasion de souligner que **l'application de l'analyse optionnelle n'a de sens que si l'entreprise se dote des mécanismes organisationnels incitant les acteurs à exploiter au mieux la flexibilité permise par l'option.**

« In fine, quels sont les apports des options réelles à la décision stratégique ? »

Le Chapitre 2 répond en soulignant la **grande diversité des contributions des options réelles.** Le type d'analyse à mener dépendra notamment de la nature du projet d'investissement, de l'horizon de temps envisagé, ainsi que du niveau d'analyse auquel on se place. Le diagnostic effectué dans la R&D illustre bien le fait que **dans certains cas, les options réelles pourront être utilisées comme un outil de valorisation, permettant d'effectuer un arbitrage entre le coût et la valeur de la flexibilité. Dans d'autres cas en revanche, il serait illusoire de chercher à valoriser l'option, et l'apport de l'analyse optionnelle sera de nature qualitative.** Dans ce cas, la théorie des options réelles perd de sa force, mais n'en joue pas moins un rôle potentiellement important dans le processus de décision.

La troisième sous-question de recherche portant sur la valorisation des options réelles n'a pas été abordée dans cette partie de la thèse. Mais les Chapitres 1 et 2 ont montré qu'il s'agit là d'un enjeu majeur pour l'utilisation des options réelles à la décision d'investissement. La deuxième partie de la thèse est donc consacrée au problème de la valorisation des options réelles.

Par ailleurs, il faut noter que les éléments de réponse que nous avons apportés dans cette partie proviennent en grande partie de la littérature qui, comme nous l'avons indiqué dans le Chapitre 1, offre un traitement essentiellement théorique des options réelles.

Le diagnostic réalisé dans le département R&D d'un opérateur de télécommunications a permis d'obtenir une vision plus concrète du rôle possible des options réelles dans la décision d'investissement. Néanmoins, nous n'avons à ce stade qu'identifié des applications possibles des options réelles, sans réellement les tester.

La troisième partie de la thèse sera donc consacrée à des études de cas. Ces études seront l'occasion d'illustrer en quoi une décision d'investissement réelle peut donner lieu à une lecture optionnelle. Elles seront également l'occasion de valider de façon empirique les limites des modèles de valorisation actuelles, et de tester l'intérêt de la méthode alternative proposée dans la deuxième partie. Ce travail de recherche empirique a ainsi pour ambition de valider le rôle pouvant être joué par les options réelles dans la décision d'investissement stratégique.

Partie II

INTRODUCTION DE LA PARTIE II

Le cadre général d'analyse réalisé dans la Partie I a montré que **la valorisation des options réelles est un point critique dans la problématique de cette thèse, car il s'agit d'un exercice à la fois difficile, et nécessaire.**

Le Chapitre 1 a montré que les difficultés liées à la valorisation des options constituent l'un des principaux obstacles à la diffusion de cette approche dans l'entreprise.

D'un autre côté, le Chapitre 2 a souligné l'intérêt de valoriser les options présentes dans les projets d'investissement. Il apparaît qu'une utilisation purement métaphorique des options réelles présente des limites importantes : impossibilité d'effectuer un arbitrage entre coût et valeur de la flexibilité, et risque pour les options réelles d'être perçues par les dirigeants comme un argument pour lancer un projet déficitaire.

La valorisation des options réelles constitue donc un enjeu majeur à l'application de cette approche, et nous lui consacrons la deuxième partie de la thèse. Nous abordons cette partie avec **deux principales questions.**

D'une part, il s'agit de **comprendre pourquoi la valorisation des options réelles pose problème dans la pratique.** Deux grandes explications peuvent être avancées.

En premier lieu, ce phénomène peut être dû à un problème de compréhension de la théorie des options réelles par les managers. Ceux-ci peuvent mal connaître la théorie, ou la trouver trop complexe.

D'autre part, les difficultés de valorisation peuvent être dues à une mauvaise adéquation des modèles actuels aux caractéristiques des décisions d'investissement réelles. Nous avons souligné dans le Chapitre 1 que la théorie des options réelles reste très proche de son univers d'origine des marchés financiers. On peut dès lors se demander dans quelle mesure les modèles standards d'options financières permettent de valoriser de façon satisfaisante les options réelles, ou bien s'il est nécessaire de développer des modèles « sur-mesure ».

Certains chercheurs se sont ainsi efforcés de développer des modèles de valorisation qui soient plus adaptés aux caractéristiques du projet d'investissement étudié. Un tel travail nécessite la mobilisation de techniques sophistiquées, passant généralement par l'élaboration d'une équation aux dérivées partielles (EDP) adaptée à la décision d'investissement, et qui est ensuite résolue par des méthodes numériques.

Ceci nous amène à la deuxième principale question soulevée dans cette partie de la thèse, et que nous avons déjà évoquée dans l'introduction générale : **Est-il possible de valoriser les options réelles de façon simple, tout en prenant en compte la complexité d'une décision d'investissement stratégique ?**

Cette partie de la thèse est structurée en deux chapitres.

- Le Chapitre 3 dresse un bilan des méthodes actuelles de valorisation d'options réelles. Il présente les principaux modèles, et analyse dans quelle mesure ceux-ci sont susceptibles de valoriser de façon satisfaisante les options réelles.
- Le Chapitre 4 propose une méthode de valorisation alternative, permettant de résoudre une partie des problèmes identifiés dans le chapitre précédent. Il s'agit d'une méthode fondée sur les simulations de Monte Carlo, et dont le principal intérêt est de combiner la facilité d'utilisation avec la prise en compte des particularités de l'option réelle.

*Chapitre 3 –
Présentation des
méthodes actuelles de
valorisation d'options
réelles*

Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'analyser dans quelle mesure les modèles actuels permettent de valoriser les options réelles de façon satisfaisante, et de proposer des pistes d'amélioration. Pour ce faire, **nous procédons en deux temps.**

Tout d'abord, il s'agit d'obtenir une vision claire des différents modèles de valorisation existants.

Le Chapitre 1 a mis en évidence le foisonnement de modèles de valorisation d'options réelles. Dans ce chapitre, nous commençons par établir une classification des différents modèles. Parmi tous les modèles existants, nous identifions ceux qui sont le plus utilisés d'un côté par les entreprises, et d'un autre côté par les académiques ayant réalisé des études de cas. Nous concentrerons ensuite notre analyse sur les modèles les plus utilisés.

Dans un deuxième temps, nous cherchons à comprendre pourquoi les modèles actuels sont mal adaptés à la pratique des entreprises.

Dans le Chapitre 1, nous avons montré que la littérature sur les options réelles reste très imprégnée de son univers d'origine des marchés financiers. Nous explorons en quoi les options réelles se distinguent des options financières, et quelles sont les implications de ces différences en termes de valorisation. Cette analyse préliminaire nous permet d'identifier les principales limites des modèles actuels pour valoriser les options réelles.

Ce chapitre est structuré en deux sections.

- Dans la première section, nous présentons les principales méthodes de valorisation d'option existantes. L'objectif poursuivi est double. D'une part, la présentation pour chaque modèle des hypothèses, des paramètres d'entrée et du mode de calcul de l'option donneront au lecteur une vision plus claire de ce que signifie concrètement la valorisation d'une option réelle par une entreprise. D'autre part, cet exposé servira de support à la Partie III de la thèse. En effet, nous utilisons pour les études de cas les modèles de valorisation présentés dans ce chapitre et dans le chapitre suivant.
- Dans la deuxième section de ce chapitre, nous détaillons les principales raisons pour lesquelles ces modèles dits « classiques » nous paraissent inadaptés à la valorisation des options réelles dans le monde de l'entreprise.

Nous concluons le chapitre en identifiant les principaux points d'amélioration des modèles de valorisation.

SECTION 1 : PRESENTATION DES MODELES ACTUELS DE VALORISATION D'OPTIONS REELLES

Dans cette section, nous dressons tout d'abord un panorama général, en présentant les trois grandes « familles » de modèles de valorisation : modèles en temps continu, modèles en temps discret et simulations. Parmi ces modèles, nous analysons quels sont ceux les plus utilisés pour la valorisation des options réelles.

Nous détaillons ensuite les modèles en temps continu, en présentant un modèle représentatif pour chacun des trois grands types d'option (cf. Encadré 3.1):

- l'option simple européenne ;
- l'option simple américaine ;
- l'option composée.

Nous procédons de la même manière pour les modèles en temps discret. Les modèles de simulations seront abordés en détail dans le Chapitre 4.

I. Panorama des modèles actuels de valorisation d'options

Figure 3.1. Panorama des modèles de valorisation d'option

Modèles en temps continu (Equation aux dérivées partielles)	Modèles en temps discret (Programmation dynamique)	Simulations
↓	↓	↓
<ul style="list-style-type: none"> • Solution analytique <i>Ex: Black & Scholes, 1973</i> <i>Margrabe, 1978</i> <i>Geske, 1979</i> <i>Mc Donald & Siegel, 1985</i> <i>Carr, 1988</i> <i>Dixit & Pindyck, 1994</i> • Approximation analytique <i>Ex: Approximation de Black</i> • Solution numérique <i>Ex: Majd & Pindyck, 1987</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Modèle binomial <i>Cox et al., 1979</i> • Modèle trinomial <i>Boyle, 1988</i> • Autres modèles d'arbres (modèle multimonial) <i>Boyle et al., 1989</i> <i>Kamrad & Ritchken, 1991</i> 	Méthode de simulations de Monte Carlo <i>Boyle, 1977</i> <i>Broadie &</i> <i>Glasserman, 1997</i>

Sources : d'après Lander & Pinches, (1998), Amram & Kulatilaka (2002), Miller & Park (2002), Garvin & Cheah (2004).

La Figure 3.1 donne un panorama des principaux modèles de valorisation d'option. On peut distinguer trois grandes familles de modèles de valorisation d'option : les modèles en temps continu, les modèles en temps discret et les modèles par simulations.

Ces modèles ont été développés – et sont utilisés – pour valoriser les options financières. Par la suite, certains ont été adaptés pour valoriser les options réelles (Woolley & Cannizzo, 2005). La Figure 3.1 indique en caractères gras les modèles qui sont spécifiquement destinés à valoriser les options réelles.

1.1. Les modèles en temps continu

Le modèle d'option sans doute le plus connu et le plus utilisé, celui de Black et Scholes (1973), est un modèle en temps continu.

Les modèles en temps continu procèdent en deux grandes étapes.

Etape 1 : Formalisation d'une équation aux dérivées partielles (edp)

Tout d'abord, il s'agit de modéliser le processus suivi par le sous-jacent, et le cas échéant par le prix d'exercice. Le plus souvent, les modèles font l'hypothèse que le sous-jacent suit un Mouvement Brownien Géométrique (MBG). Mais il est également possible de choisir d'autres processus pour le sous-jacent, comme par exemple le processus de retour à la moyenne ou encore une combinaison du MBG et de sauts (exemple: McDonald & Siegel, 1986, extension du modèle de base).

En constituant un portefeuille sans risque composé d'une part de l'actif sous-jacent, et d'autre part de l'option, on obtient une équation aux dérivées partielles.

Etape 2 : Résolution de l'équation aux dérivées partielles

Dans certains cas, il est possible de trouver une solution analytique à l'équation aux dérivées partielles, grâce à l'établissement de conditions aux bornes. Dans la Figure 3.1, ceci concerne tous les modèles présentés sous l'en-tête « *solution analytique* ».

Les principaux modèles en temps continu présentant une solution analytique sont listés dans le Tableau 3.1. Chacun d'eux a été développé pour valoriser une option avec des caractéristiques bien précises.

Tableau 3.1 : Types d'option valorisés par les modèles en temps continu

Modèle	Caractéristiques de l'option
Black & Scholes	Option d'achat, européenne, sur sous-jacent ne versant pas de dividendes
Garman & Kohlhagen	Option d'achat, européenne, sur sous-jacent versant un dividende
Margrabe	Option d'échange
Geske	Option composée (2 options européennes)
McDonald & Siegel	Option d'échange américaine
Carr	Option d'échange séquentielle (composée)
Dixit & Pindyck	Option d'achat américaine

Le principal inconvénient de ces modèles est que l'on obtient une solution analytique au prix d'hypothèses contraignantes. Lorsqu'on relâche une partie de ces hypothèses pour s'adapter aux caractéristiques réelles de l'option, bien souvent la résolution analytique n'est pas possible. Il faut alors employer des méthodes numériques pour résoudre l'équation aux dérivées partielles.

C'est notamment le cas lorsque l'on souhaite valoriser une option américaine ayant une durée de vie finie.

Les méthodes de résolution numériques les plus courantes sont la méthode par les différences finies, et la méthode par les différences implicites.⁶²

La résolution numérique peut être réalisée grâce à l'utilisation de logiciels spécialisés. Cependant, la manipulation de ceux-ci nécessite un savoir-faire très spécifique. De plus, Amram et Kulatilaka (1999) notent que la résolution numérique devient complexe dès lors qu'il y a plus de deux ou trois sources d'incertitude, et que cette approche rend opaque la structure de décision.

1.2. Les modèles en temps discret

En 1979, Cox, Ross et Rubinstein ont mis au point le modèle de valorisation d'option par les arbres binomiaux. Cette méthode consiste à modéliser de façon discrète l'évolution du cours de l'actif sous-jacent en reprenant de façon simplifiée les hypothèses du mouvement brownien géométrique (MBG). En conséquence, si l'on réduit le pas de temps utilisé pour la construction de l'arbre binomial, alors la valeur calculée avec le modèle binomial converge vers la formule de Black et Scholes. Le modèle binomial constitue donc une approximation en temps discret du modèle de Black et Scholes qui, lui, raisonne en temps continu.

Il est possible de modifier le modèle binomial de base, en supposant que les mouvements à la hausse et à la baisse entre deux nœuds ne suivent pas un processus multiplicatif (comme dans le cas de MBG), mais un processus additif (Copeland & Antikarov, 2001 : 123-124). Dans ce cas, les mouvements de hausse et de baisse sont plus lents, et, à la limite, la distribution du sous-jacent approche la loi normale (alors que c'est la loi log-normale dans le cas d'un processus géométrique). Le processus additif présente notamment l'avantage d'avoir un sous-jacent pouvant prendre des valeurs négatives. Nous verrons plus loin dans ce chapitre que cela peut constituer une hypothèse particulièrement appropriée dans le cas des options réelles. Il s'agit néanmoins d'une approche rarement utilisée dans la littérature.

D'autres modèles de valorisation en temps discret plus élaborés que le modèle binomial ont été développés par la suite. Il s'agit du modèle trinomial, et de sa généralisation, le modèle « multinomial ».

Le modèle binomial, et tous les modèles dérivés, utilisent le principe de la programmation dynamique. Celle-ci est réalisée en deux grandes étapes. La première consiste à construire un arbre, sur lequel figurent toutes les évolutions possibles de la valeur de l'actif sous-jacent, entre t_0 et l'échéance de l'option.

Dans la deuxième étape, la valeur de l'option est déterminée de façon récursive. On se place tout d'abord à l'échéance de l'option pour calculer le pay-off en fonction des différentes valeurs possibles du sous-jacent. Puis on remonte dans le temps, en calculant pour chaque nœud la valeur de la stratégie optimale. On obtient ainsi la valeur de l'option en t_0 .

Le modèle binomial et les modèles dérivés présentent l'avantage d'être plus transparents que les modèles en temps continu : on voit clairement les évolutions possibles du sous-jacent, et les décisions correspondantes.

⁶² Pour un approfondissement des méthodes de résolution numériques, voir notamment Geske, R., Shastri, K. 1985. Valuation by approximation: A comparison of alternative option valuation techniques. *Journal of Financial & Quantitative Analysis* 20(1): 45 et Brennan, M. J., Schwartz, E. S. 1977. Finite difference methods and jump processes arising in the pricing of contingent claims: A synthesis. *Journal of Financial & Quantitative Analysis* 12(4)

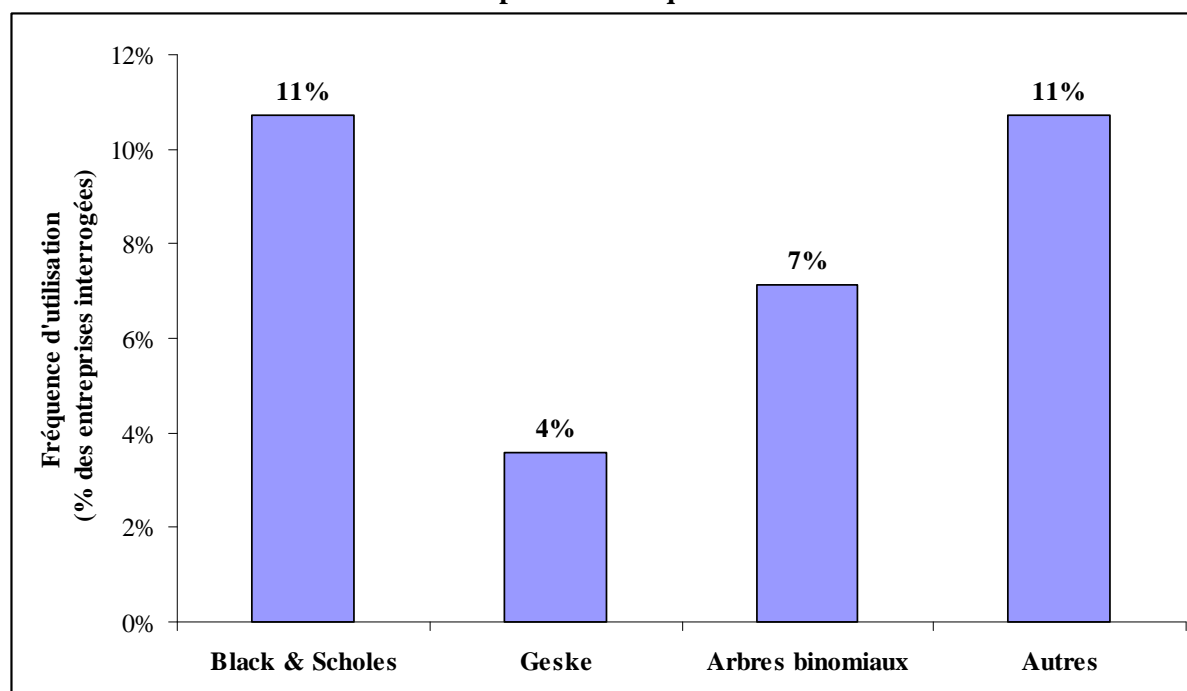
Par ailleurs, nous verrons plus loin dans cette section que les modèles en temps discret sont plus souples d'utilisation. Ils permettent notamment de valoriser l'option américaine avec moins de contraintes que les modèles en temps continu. Ils offrent également plus de souplesse dans la modélisation des dividendes.

En revanche, le socle théorique sur lequel sont fondés le modèle binomial et ses dérivés reste le même que celui des modèles en temps continu. Nous verrons dans la deuxième section de ce chapitre que cela crée des limites importantes à la valorisation des options réelles. En particulier, tous ces modèles « classiques » de valorisation d'option donnent une vision très simplifiée de la décision d'investissement et du processus stochastique suivi par le sous-jacent. Ils ont par ailleurs recours à des paramètres d'entrée dont l'estimation est difficile.

I.3. Modèles les plus utilisés pour la valorisation des options réelles

Nous ne disposons que de données très limitées indiquant quels sont les modèles les plus utilisés par les entreprises pour valoriser les options réelles. Il s'agit de l'étude de Hartmann et Hassan (2006) dans le secteur de la pharmacie, à laquelle ont répondu 28 grands groupes pharmaceutiques basés dans les trois plus grands marchés mondiaux (Europe, USA et Japon) (Figure 3.2).

Figure 3.2 : Modèles de valorisation d'options réelles utilisés par les grands groupes pharmaceutiques



Source : Hartmann et Hassan, 2006, p. 351

Les résultats montrent que le modèle le plus utilisé est celui de Black et Scholes (10,7% des répondants). Viennent ensuite les arbres binomiaux (7%), et enfin le modèle de Geske (4%). Dans la catégorie « Autres », ce sont surtout les arbres de décision qui ont été cités. Il ne s'agit pas à proprement parler d'une méthode de valorisation d'option ; néanmoins, cette méthode est citée, car elle utilise le raisonnement optionnel.

Il est difficile de tirer une règle générale d'un échantillon aussi restreint. Néanmoins, l'étude de Hartmann et Hassan suggère trois tendances :

-
- Les entreprises interrogées utilisent des modèles permettant de valoriser des options « standard ».
En effet, nous ne voyons pas apparaître de modèles permettant de prendre en compte des caractéristiques plus « exotiques », comme par exemple les modèles en temps continu résolus de façon numérique, ou des modèles d'arbre plus sophistiqués que les arbres binomiaux, admettant plusieurs sources d'incertitude.
 - Les entreprises interrogées ont recours à des modèles utilisés par les marchés financiers.
Les modèles de Black et Scholes, de Geske ou des arbres binomiaux ont été élaborés pour valoriser des options financières. Les entreprises n'ont pas cité de modèle spécifiquement développés pour valoriser les options réelles (comme par exemple le modèle de McDonald et Siegel ou de Dixit et Pindyck).
 - Les entreprises semblent avoir une préférence pour les modèles simples.
L'étude de Hartmann et Hassan a été réalisée dans le secteur de la pharmacie, où la grande majorité des options réelles observées sont des options composées (cf. Chapitre 2). On aurait donc pu s'attendre à un taux d'utilisation élevé du modèle de Geske, qui permet spécifiquement de valoriser les options composées. Pourtant, l'étude montre que ce modèle est beaucoup moins utilisé que celui de Black et Scholes, qui permet seulement de valoriser une option européenne simple, mais est mieux connu, et est plus simple d'utilisation (cf. ci-après).

D'une façon plus significative, nous avons pu déterminer quels sont les modèles de valorisation les plus utilisés dans les études de cas publiées sur les options réelles (Tableau 3.2).

Tableau 3.2 : Modèles de valorisation utilisés dans les études de cas publiées sur les options réelles

Valorisation en temps continu	Valorisation en temps discret	Valorisation par simulations
Modèles avec solution analytique Modèle de Black & Scholes, 1973 Panayi & Trigeorgis, 1998 Benaroch & Kauffman, 1999 et 2000 <i>(approximation de Black)</i> Taudes et al., 2000 Miller & Park, 2004 Miller et al, 2004 Iatropoulos et al, 2004 Maklan et al, 2005 Modèle de Margrabe, 1978 Bardhan et al, 2004 Modèle de Geske, 1979 Kemna, 1993 Jensen & Warren, 2001 Alvarez & Stenbacka, 2001 Miller et al, 2004 Cassimon et al, 2004 <i>(extension du modèle de Geske)</i> Modèle de Dixit and Pindick, 1995 Tzouramani & Mattas, 2004 Comparaison de 4 modèles en temps continu Taudes, 1998 Modèle ad-hoc Pennings & Lint, 2000	Arbres binomiaux Kelly, 1998 Shockley et al., 2003 Garvin & Cheah, 2004 Bowe & Lee, 2004 Miller & Park, 2004 Sarkis & Tamarkin, 2005 Greden & Glicksman, 2005	Modèle de Boyle, 1977 Rose, 1998 Cortazar & Schwartz, 1998 Tseng & Barz, 2002 Bengtsson & Olhager, 2002 Nembhard et al., 2003
Modèles résolus de façon numérique Kemna, 1993 Cortazar & Schwartz, 1997 Cortazar & Casassus, 1998		

Le Tableau 3.2 révèle que les modèles de valorisation les plus utilisés dans les publications sont, de loin, les modèles en temps continu, ayant une solution analytique.

Les auteurs utilisant des modèles en temps continu avec une résolution numérique sont beaucoup plus rares. Ceci s'explique en grande partie par le fait que ce type de modèle nécessite des compétences mathématiques plus poussées.

D'une part, il s'agit de bien maîtriser la résolution de l'équation aux dérivées partielles par une méthode numérique – alors que dans le cas d'un modèle analytique, il suffit de déterminer la valeur des paramètres utilisés dans la formule.

D'autre part, ce type de modèle est utilisé par les chercheurs qui cherchent à modifier les modèles de base, afin d'adapter le modèle de valorisation aux caractéristiques de l'option étudiée. Par exemple, Cortazar et Casassus (1998 : 757) ont adapté le modèle de Brennan et Schwartz (1985) pour prendre en compte le fait que (a) le prix du cuivre suit un mouvement de retour à la moyenne et que (b) dans le cas du report de l'investissement, l'extraction continuait, et les réserves de la mine étaient donc inférieures si l'investissement était finalement réalisé. Là encore, ce travail de modification de l'équation aux dérivées partielles et des conditions aux bornes mobilise des compétences mathématiques pointues.

Dans la catégorie des modèles en temps discret, nous avons relevé nettement moins de publications. A notre connaissance, il s'agit exclusivement de modèles utilisant le modèle binomial, et nous n'avons pas rencontré d'étude de cas publiée ayant recours à des modèles en temps discret plus complexes (modèle trinomial ou multinomial).

Enfin, certains chercheurs ont utilisé des méthodes de simulations, lorsque les caractéristiques de l'option étaient très complexes (ex: Tseng & Barz, 2002), lorsqu'il s'agissait de valoriser plusieurs options en interaction (ex: Rose, 1998) ou encore lorsque les sources d'incertitude étaient nombreuses (ex: Nembhard *et al.*, 2003). Nous reviendrons en détail sur ces travaux dans le Chapitre 4.

Pour le reste de cette section, consacrée aux modèles en temps continu et en temps discret, nous nous concentrerons donc sur les modèles de valorisation les plus représentatifs, que sont les modèles en temps discret à solution analytique et le modèle binomial.

Nous verrons comment ces modèles permettent de valoriser les trois options « types », à savoir :

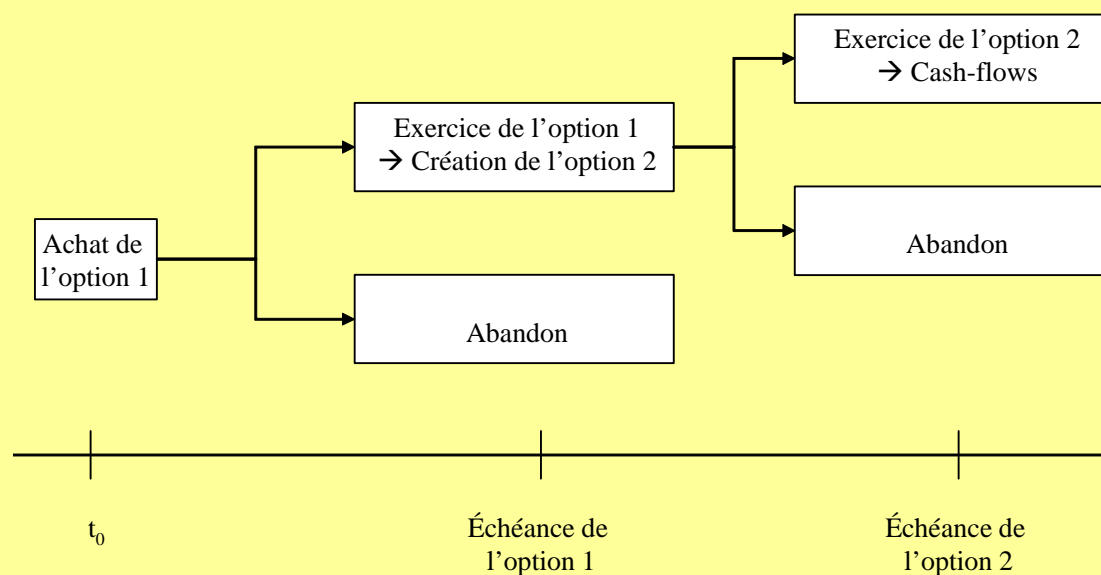
- l'option simple européenne ;
- l'option simple américaine ;
- l'option composée.

Encadré 3.1 : Principales caractéristiques d'une option déterminant le modèle de valorisation approprié

Voici les principales caractéristiques d'une option qu'il faut analyser pour identifier le modèle de valorisation le plus approprié.

- **Option d'achat** (« call ») ou **option de vente** (« put »)
Une option d'achat est le droit, mais pas l'obligation, d'*acheter* un actif à une date future, à un prix déterminé d'avance. Une option de vente est le droit, mais pas l'obligation, de *vendre* un actif à une date future, à un prix déterminé d'avance.
Il existe également le cas où le prix d'exercice est incertain. L'exercice de l'option revient alors à échanger un actif risqué contre un autre. On parle dans ce cas **d'option d'échange**.
- **Option européenne** ou **option américaine**
On parle d'option européenne lorsque l'exercice de l'option a lieu à la date d'échéance de l'option. L'option est dite américaine lorsqu'elle peut être exercée à tout moment entre l'achat de la prime et la date d'échéance.
- **Option simple** ou **option composée**
Une option simple donne le droit d'acquérir (ou de vendre) un actif non contingent. On parle d'option composée lorsque l'exercice revient à acheter (ou à vendre) une autre option (Figure 3.3).

Figure 3.3 : Principe de l'option composée



La Figure 3.3 représente deux options imbriquées, mais il est bien sûr possible d'imaginer un schéma plus complexe, avec par exemple n options successives dont seulement la dernière conduit à la réalisation de cash-flows en cas d'exercice.

- **Option sur un actif versant ou non des dividendes**
L'actif sous-jacent peut dans certains cas verser des dividendes. C'est en particulier le cas lorsque le sous-jacent est une action. La présence de dividendes vient diminuer la valeur de l'option (cf. Encadré 3.2)

II. Les modèles en temps continu

II.1. Valorisation de l'option européenne : le modèle de Black & Scholes

En 1973, Black et Scholes ont élaboré un modèle de valorisation d'option, qui a permis un essor considérable du marché des options financières. Les travaux de Black et Scholes ont été complétés par ceux de Merton. Tous trois (Black à titre posthume) ont été récompensés par le prix Nobel d'économie en 1997.

Aujourd'hui, le modèle de Black et Scholes constitue toujours un modèle de référence, à partir duquel ont été élaborés plus tard la plupart des modèles destinés à valoriser des options plus complexes. C'est le modèle par excellence pour valoriser une option d'achat européenne simple.

Le modèle de Black et Scholes repose sur les hypothèses suivantes :

- Le prix d'exercice est déterminé d'avance ;
- L'actif sous-jacent suit un MBG, dont la volatilité σ est constante dans le temps ;
- L'actif sous-jacent ne verse pas de dividende.

La solution pour déterminer la valeur d'une option d'achat (notée C) est la suivante :

$$C = S * N(d_1) - K e^{-rT} * N(d_2)$$

$$\text{avec: } d_1 = [\ln S/K + (r + \sigma^2/2) * T] / \sigma \sqrt{T}$$

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

S = cours de l'actif sous-jacent aujourd'hui

K = prix d'exercice de l'option

T = date d'échéance de l'option

r = taux d'intérêt sans risque

$N(.)$ = loi normale centrée réduite

σ = volatilité du cours de l'actif sous-jacent

Il existe une extension du modèle de Black et Scholes pour valoriser une option dont le sous-jacent verse un dividende continu au taux δ (Garman & Kohlhagen, 1980). La valeur de l'option est donnée par la formule suivante :

$$C = S * e^{-\delta t} * N(d_1) - K e^{-rT} * N(d_2)$$

$$\text{avec: } d_1 = [\log S/K + (r - \delta + \sigma^2/2) * T] / \sigma \sqrt{T}$$

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

II.2. Valorisation de l'option américaine : le modèle de McDonald et Siegel

McDonald et Siegel (1986) ont développé un modèle d'option permettant de déterminer la date optimale de lancement d'un projet. En termes optionnels, une telle décision peut s'interpréter de la façon suivante :

Si l'entreprise a la possibilité de repousser le lancement d'un projet, alors elle dispose d'une option d'échange, lui permettant à tout moment t de disposer de la valeur du projet V_t en contrepartie d'un investissement F_t .

Les hypothèses du modèle sont les suivantes :

- Le projet est irréversible
- L'option est une option américaine perpétuelle, c'est-à-dire que l'option peut être exercée à tout moment, sur une durée infinie. Cette hypothèse permet de trouver une solution analytique à l'équation aux dérivées partielles.
- La valeur actualisée du projet V , et le coût de l'investissement F suivent un processus stochastique, plus précisément un MBG :
 - $dV = \alpha_V V dt + \sigma_V V dZ_V$
 - $dF = \alpha_F F dt + \sigma_F F dZ_F$
 avec : Z_V et Z_F deux processus de Wiener
- Les auteurs développent également une variante du modèle, dans laquelle la valeur du projet peut subir des sauts (processus mixte MBG – poisson). Cette dernière hypothèse permet de tenir compte du fait que dans la réalité la valeur d'un projet atteint tôt ou tard une valeur nulle (ce qui est notamment le cas lorsqu'un concurrent introduit une nouvelle technologie). Ceci vient donc assouplir l'hypothèse d'une option perpétuelle indiquée ci-dessus.

La règle de décision est la suivante : l'entreprise repousse la décision d'investissement tant que la valeur de l'option d'attente C_{RL} est supérieure au pay-off de son exercice: $V - F$

- Si $V_0 / F_0 > C^*$, alors il est préférable d'investir immédiatement. La valeur d'option correspond donc à la valeur intrinsèque du projet : $V_0 - F_0$.
- Dans le cas contraire, la valeur de l'option est donnée par la formule suivante :

$$C_{RL}(V_0, F_0) = F_0 (C^* - 1) \left[\frac{V_0 / F_0}{C^*} \right]^{\varepsilon}, \quad \text{avec : } C^* = \varepsilon / (\varepsilon - 1)$$

ε se calcule de façon différente, suivant que l'on fait l'hypothèse pour le sous-jacent d'un mouvement brownien géométrique (modèle « de base ») ou d'un processus mixte MBG / poisson (extension du modèle avec sauts).

Modèle de base

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\alpha_v - \alpha_f}{\sigma^2} - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{2(\mu - \alpha_f)}{\sigma^2}} + \frac{1}{2} - \frac{\alpha_v - \alpha_f}{\sigma^2}$$

$$\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_f^2 - 2\rho_{vf}\sigma_v\sigma_f$$

μ = taux d'actualisation, avec $\alpha_v < \mu$

μ = moyenne pondérée de l'espérance de rendement d'actifs présentant des risques similaires à V et F

ρ_{vf} = coefficient de corrélation entre dz_v et dz_f

ε peut également s'écrire de la façon suivante :

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\delta_f - \delta_v}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{2\delta_f}{\sigma^2} + \frac{1}{2} \frac{\delta_f - \delta_v}{\sigma^2}}$$

avec $\delta_v = \hat{\alpha}_v - \alpha_v$ et $\delta_f = \hat{\alpha}_f - \alpha_f$

$\hat{\alpha}_v$ et $\hat{\alpha}_f$ sont les taux de rendement exigés par les investisseurs pour des actifs qui sont parfaitement corrélés avec V et F , et ont les mêmes écarts-types que V et F .

Le paramètre δ_v est décrit par McDonald et Siegel comme la portion du taux de rendement qui est perdue lorsque l'on ne reçoit que l'équivalent de l'accroissement du prix du sous-jacent V . Plus δ_v est élevé, plus le coût de détention de l'option – qui revient à détenir V indirectement – est important.

δ_v peut s'interpréter comme le coût de détention de l'option : il représente les revenus auxquels on renonce en ne détenant pas directement le sous-jacent V . L'équivalent de δ_v pour une option financière serait le taux de dividende versé par l'action sous-jacente (cf. Encadré 3.2).

Extension du modèle avec les sauts

Dans le cas de l'extension du modèle avec les sauts, il faut de plus prendre en compte la fréquence des sauts λ pour calculer la valeur de ε .

Si on fait l'hypothèse que le prix d'exercice F reste constant dans le temps, alors le calcul de ε s'effectue par la formule suivante :

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{r - \delta_v}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{2(r + \lambda)}{\sigma^2} + \left(\frac{1}{2} \frac{r - \delta_v}{\sigma^2}\right)}$$

avec r = taux d'intérêt sans risque.

Si en revanche on maintient l'hypothèse d'un prix d'exercice F aléatoire, comme dans le modèle de base, il suffit de remplacer r par δ_f dans la formule de calcul d' ε .

II.3. Valorisation de l'option composée: le modèle de Geske

Le modèle de Geske permet de valoriser une option européenne composée, c'est-à-dire dont l'exercice ne conduit pas à l'encaissement d'un « pay-off », mais à la création d'une deuxième option.

Les principales hypothèses du modèle sont les suivantes :

- Le sous-jacent F suit un mouvement brownien géométrique ;
- Le prix d'exercice de l'option 1, noté K^* , et le prix d'exercice de l'option 2, noté K , sont connus d'avance.
- Les deux options sont des options européennes.

La valeur de l'option composée W est donnée par la formule suivante :

$$W = F e^{-r_f \tau} M(k, h, \rho) - K e^{-r_f \tau} M(k - \sigma \sqrt{\tau^*}, h - \sigma \sqrt{\tau}; \rho) - K e^{-r_f \tau} N(k - \sigma \sqrt{\tau^*})$$

Avec

σ = volatilité du sous-jacent F

r_f = taux d'intérêt sans risque

τ = durée jusqu'à l'échéance de l'option 2

τ^* = durée jusqu'à l'échéance de l'option 1

$$h = \frac{\ln(F/K) + 1/2 \sigma^2 \tau}{\sigma \sqrt{\tau}}$$

$$k = \frac{\ln(F/F_c) + 1/2 \sigma^2 \tau^*}{\sigma \sqrt{\tau^*}}$$

$N(\cdot)$ = loi normale cumulative

$M(a, b; \rho)$ = loi normale cumulative bivariée, de coefficient de corrélation ρ , ayant a et b comme limites hautes de l'intégrale

sachant que :

$$\rho = \left(\frac{\tau^*}{\tau} \right)^{1/2}$$

F_c = valeur seuil du sous-jacent F à partir de laquelle l'option 1 doit être exercée. Concrètement, F_c correspond à la valeur de F pour laquelle l'option 2, d'une durée jusqu'à l'échéance de $\tau - \tau^*$, et de prix d'exercice K , atteint la valeur K^* .

En effet, l'option 1 ne sera exercée que si le pay-off généré – qui est ici la valeur de l'option 2 moins le prix d'exercice K^* – est supérieur ou égal à 0.

On peut reprendre l'application numérique donnée par Kemna (1993)

Paramètre	Notation	Valeur
Valeur du sous-jacent	F	1000
Volatilité du sous-jacent	σ	25%
Prix d'exercice de l'option 2	K	1000
Prix d'exercice de l'option 1	K^*	90
Taux d'intérêt sans risque	r_f	2%
Durée jusqu'à l'échéance de l'option 2	τ	7
Durée jusqu'à l'échéance de l'option 1	τ^*	1

F_c correspond à la valeur de F pour laquelle l'option européenne simple, de durée jusqu'à l'échéance égale à $\tau - \tau^* = 6$ ans, et de prix d'exercice de $K = 1000$, atteint la valeur $K^* = 90$.

En utilisant la fonction « solveur » dans un tableur Excel, on obtient : $F_c = 653$.

On peut alors calculer la valeur de l'option composée : $W = 141$.

Newton et al (2004) indiquent qu'il existe de nombreuses variantes du modèle de Geske, suivant que l'option est modélisée comme une option américaine ou européenne, qu'elle a une durée de vie finie ou non, ou encore suivant que le prix d'exercice de l'option 1 (K^*) et de l'option 2 (K) sont considérés comme stochastiques ou non.

Encadré 3.2 : Impact du dividende sur la valeur de l'option

Le versement par l'actif sous-jacent d'un dividende a un impact sur la valeur de l'option, ainsi que sur la date optimale d'exercice de l'option lorsqu'il s'agit d'une option américaine.

Cas d'une option sur actif sous-jacent ne versant pas de dividende

Si l'on utilise la formule de Black et Scholes (cf. Section 1, § II.1. *Valorisation de l'option européenne : le modèle de Black et Scholes*), on constate que plus la durée restant jusqu'à l'échéance T est importante, plus la valeur de l'option C est élevée.

Intuitivement, ce phénomène s'explique comme suit. Plus le temps s'écoulant jusqu'à l'échéance est important, plus la valeur du sous-jacent a la possibilité de monter, et donc plus la probabilité de réaliser un pay-off élevé est forte. Si la durée jusqu'à l'échéance augmente, la probabilité d'une forte baisse du sous-jacent augmente également, mais cela n'affecte pas la valeur de l'option, puisque celle-ci ne sera alors pas exercée.

L'impact du temps sur la valeur de l'option peut être illustré à travers l'exemple suivant.

- Considérons C_1 , une option d'achat sur un actif ne versant pas de dividende, et dont la maturité est de 6 mois.
Les autres paramètres sont les suivants : $S = 40\$$; $X = 40\$$; $r = 5\%$ p.a.; $\sigma = 30\%$ p.a.
En utilisant la formule de Black et Scholes, on obtient : $C_1 = 3,85\$$.
- Si nous calculons la valeur de C_2 , la même option mais avec une maturité de 9 mois, on obtient : $C_2 = 4,84\$$.

On constate bien que $C_2 > C_1$: plus la durée jusqu'à l'échéance est longue, plus la valeur de l'option est élevée. En conséquence, comme le prouvera Merton (1973), si le sous-jacent d'une option américaine ne verse pas de dividende, alors l'option ne doit pas être exercée avant la date d'échéance.

Cas d'une option sur actif sous-jacent versant un dividende δ

Dans le cas d'un actif sous-jacent versant un dividende, l'impact du temps sur la valeur de l'option est plus ambigu.

A la date à laquelle le dividende δ est versé, le cours de l'action diminue d'un montant équivalent. La valeur de l'option peut être estimée avec la formule de Black et Scholes en diminuant la valeur du sous-jacent S d'un montant égal à la valeur actuelle de δ . Elle sera donc plus faible que dans le cas sans dividende. Intuitivement, cela peut aussi s'expliquer par le fait que le détenteur de l'option, contrairement au détenteur de l'actif sous-jacent, ne touche pas les dividendes.

Dans notre exemple, considérons maintenant la même option que C_2 , à la différence près que l'action sous-jacente verse un dividende dans 8 mois. La valeur actuelle de ce dividende est de $2\$$.

En utilisant les paramètres suivants dans la formule de Black et Scholes,

$S = 40 - 2 = 38\$$; $K = 40\$$; $r = 5\%$ p.a.; $\sigma = 30\%$ p.a.; $T = 9$ mois,

on obtient : $C_3 = 3,70\$$. La valeur de l'option est inférieure à celle de C_2 , l'option qui avait les mêmes caractéristiques, mais sur une action ne versant pas de dividende.

Lorsque l'actif sous-jacent verse un dividende, le temps a un effet contradictoire sur la valeur de l'option.

- D'un côté, plus T est élevée, plus la valeur de l'option sur l'actif ne versant pas de dividende est élevée ;
- D'un autre côté, plus T est élevée, plus la valeur de l'option est réduite par le versement de dividendes, et donc plus la valeur de l'option se réduit.

En conséquence, si l'actif sous-jacent verse un dividende, il peut être optimal d'exercer une option américaine avant la date d'échéance.

III. Un modèle en temps discret : le modèle binomial

Nous avons indiqué précédemment que le modèle binomial procède en deux grandes étapes, conduisant à l'arbre d'évolution du sous-jacent (étape 1), puis à l'arbre déterminant la valeur de l'option (étape 2).

Dans ce paragraphe, nous présentons à travers des exemples numériques comment le modèle binomial permet de valoriser :

- une option européenne (exemple de l'option d'achat, avec ou sans dividende versé par le sous-jacent) ;
- une option américaine (exemple de l'option de vente) ;
- une option composée.

III.1. Valorisation de l'option européenne par le modèle binomial

III.1.1. Valorisation de l'option sur actif sous-jacent ne versant pas de dividende

L'exemple numérique présenté ci-dessous est tiré de l'ouvrage de Goffin (1999). Il illustre la valorisation d'une option européenne, dont l'actif sous-jacent ne verse pas de dividende.

Paramètre	Notation	Valeur
Valeur du sous-jacent	S	100
Prix d'exercice	K	100
Volatilité du sous-jacent	σ	40% par an, soit $\frac{40\%}{\sqrt{12}} = 12\% \text{ par mois}$
Taux d'intérêt sans risque	r_f	6% par an, soit $\frac{6\%}{\sqrt{12}} = 0,5\% \text{ par mois}$
Durée restant jusqu'à l'échéance	T	5 mois

1^{ère} étape : construction de l'arbre représentant les valeurs possibles du sous-jacent

La logique suivant laquelle est construit l'arbre des valeurs du sous-jacent est la suivante : un point à un temps t pourra évoluer au temps $t+1$ soit à la hausse, en le multipliant par le facteur u (up), soit à la baisse, en le multipliant par le facteur d (down).

Par exemple, si le sous-jacent vaut 100 en t_0 (cf. cellule B12 sur la Figure 3.3), il vaudra en t_1

- soit $112,24 = 100 * 1,122$ s'il a évolué à la hausse (cellule C12) ;
- soit $89,09 = 100 * 0,891$ s'il a évolué à la baisse (cellule C13).

L'arbre est conçu avec les hypothèses suivantes :

- La distribution des probabilités entre la hausse et la baisse est de 50% chacune.
- Le produit $u * d$ est égal à 1. De cette façon, l'arbre se « recombine », c'est-à-dire qu'une hausse suivie d'une baisse aboutit au même point qu'une baisse suivie d'une hausse.
- L'ampleur de la hausse et de la baisse est directement fonction de la volatilité de l'actif sous-jacent : $u = \exp(\sigma)$ (cf. cellule I4).

Figure 3.4 : Exemple de valorisation de l'option européenne (sans dividende)

A	B	C	D	E	F	G	H	I
2	Variables							
3	Cours du sous-jacent aujourd'hui			S	100			
4	Prix d'exercice			X	100		u	1.122
5	Volatilité (par mois)			σ	12%		d	0.891
6	Taux sans risque (par mois)			r	0.50%		p	0.493
7								$= (e^{r*6} - 15) / (14 - 15)$
9	Call européen sans dividende							
10	Valeur du sous-jacent							
11	0	1	2	3	4	5		
12	100	112.24	125.98	141.40	158.71	178.13		$= F12 * \$I4$
13		89.09	100.00	112.24	125.98	141.40		$= F12 * \$I5$
14			79.38	89.09	100.00	112.24		$= F13 * \$I5$
15				70.72	79.38	89.09		
16					63.01	70.72		$= B12 * \$I5$
17						56.14		
19	Valeur du call européen sans dividende							
20	0	1	2	3	4	5		
21	11.9	18.9	28.9	42.4	59.2	78.13		$= \max (G12 - F4 ; 0)$
22		5.3	9.3	16.0	26.5	41.40		
23			1.4	2.9	6.0	12.24		
24				0.0	0.0	0.00		
25					0.0	0.00		
26						0.00		$= (\$I6 * G23 + (1- \$I6) * G24) * \exp (-\$F6)$

Source : adapté de Goffin (1999 : 435)

2^{ème} étape : construction de l'arbre des gains et calcul de la valeur d'option

La construction de cet arbre débute par la fin : on se positionne à l'échéance, au mois 5. Dans le cas de l'option européenne, c'est à ce moment que l'on prend la décision d'exercer l'option ou non.

Si la valeur de l'actif sous-jacent à ce moment là est supérieure au prix d'exercice, alors l'option est exercée, et le gain correspond à la différence entre la valeur du sous-jacent et le prix d'exercice. Dans notre exemple : si le sous-jacent vaut 178,13 (cellule G12), alors l'option est exercée, et le gain est égal à la différence entre cette valeur et le prix d'exercice (100). Cette différence est inscrite dans l'arbre des gains, en cellule G21 : $78,13 = 178,13 - 100$.

Si à l'inverse l'actif sous-jacent est inférieur au prix d'exercice, alors l'option n'est pas exercée, et le gain est nul. Dans notre exemple : une valeur de 89,09 (cellule G15) conduit à un gain de 0 (cellule G24).

Il suffit ensuite de remonter l'arbre dans le temps pour déterminer la valeur de l'option. Par exemple, le gain de 6.0 en cellule F23 au mois 4 est la résultante du calcul suivant : le nœud de l'arbre en cellule F23 au mois 4 peut évoluer au mois 5 soit à la hausse, soit à la baisse.

- S'il évolue à la hausse, nous nous trouvons en cellule G23, et le gain correspondant est de 12,24.
 - S'il évolue à la baisse, nous nous trouvons en cellule G24, et le gain correspondant est de 0.
- Sachant qu'il y a p possibilité d'une évolution à la hausse, et $(1-p)$ possibilité d'une évolution à la baisse, et qu'il faut actualiser le gain pour passer d'une période donnée à la période précédente, nous pouvons calculer l'espérance de gain pour la cellule G23 :

$$6,0 = \frac{p \cdot 12,24 + (1-p) \cdot 0}{\exp(r)}$$

avec : $1 / \exp(r)$ facteur d'actualisation en temps continu, pour passer de la période t à la période $t-1$;

p probabilité risque neutre (et non pas probabilité historique), dont la formule est indiquée en cellule I6 de la Figure 3.4.

En suivant cette logique, nous pouvons ainsi calculer les gains espérés pour chacun des nœuds de l'arbre, jusqu'à obtenir la valeur correspondante en t_0 . Dans notre exemple, la valeur de l'option est de 11,9 (cellule B21).

III.1.2. Valorisation de l'option sur actif sous-jacent versant un dividende

Le modèle binomial permet de facilement intégrer le versement d'un dividende par l'actif sous-jacent. Nous reprenons le même exemple que dans la Figure 3.4, mais ici l'actif sous-jacent verse un dividende δ au mois 3.

Figure 3.5 : Exemple de valorisation de l'option européenne (avec dividende)

A	B	C	D	E	F	G	H	I
2	Variables							
3	Cours du sous-jacent aujourd'hui			S	100			
4	Prix d'exercice			X	100	u	1,122	
5	Volatilité (par mois)			σ	12%	d	0,891	
6	Taux sans risque (par mois)			r	0,50%	p	0,493	
7								
27								
28	Call européen avec dividende dont le taux est connu						en t_3 , $\delta = 4\%$	
29	Valeur du sous-jacent							
30	0	1	2	3	4	5		
31	100	112,24	125,98	135,74	152,36	171,01		
32		89,09	100,00	107,75	120,94	135,74		
33			79,38	85,53	96,00	107,75		
34				67,89	76,20	85,53		
35					60,49	67,89		
36						53,89		
37								
38	Valeur du call européen avec dividende							
39	0	1	2	3	4	5		
40	9,59	15,46	24,29	36,74	52,86	71,01		
41		3,90	7,03	12,43	21,44	35,74		
42			0,91	1,86	3,80	7,75		
43				0,00	0,00	0,00		
44					0,00	0,00		
45						0,00		

Source : d'après Goffin (1999 : 475)

Nous faisons l'hypothèse que le dividende versé correspond à 4% de la valeur du sous-jacent. Plutôt que d'utiliser un pourcentage, il est également possible de raisonner en valeur absolue, et de considérer que le dividende sera d'un montant donné, quelle que soit la valeur du sous-jacent au moment du versement.

Le mode de calcul de l'option est exactement le même que dans l'exemple précédent, à une différence près : la valeur du sous-jacent est réduite au mois 3, d'un montant correspondant au dividende versé. Ainsi, en cellule E34, nous obtenons la valeur suivante : $67,89 = 79,38 * d * (1-4\%)$.

III.2. Valorisation de l'option américaine par le modèle binomial

Par rapport aux modèles en temps continu, l'un des principaux avantages du modèle binomial est de pouvoir facilement valoriser l'option américaine. A titre d'illustration, nous reprenons ici l'exemple de valorisation d'une option américaine donné par Amram et Kulatilaka (1999, chapitre 8). Attention, il s'agit ici d'une option de vente (« put »), et non pas d'une option d'achat (« call »).

Figure 3.6 : Exemple de valorisation de l'option de vente américaine par le modèle binomial

A	B	C	D	E	F	G	H	I
2	Variables							
3	Cours du sous-jacent aujourd'hui			S	45,0			
4	Prix d'exercice			X	50,0		u	1,139
5	Volatilité (par mois)			σ	13%		d	0,88
6	Taux sans risque (par mois)			r	0,42%		p	0,48
7								
8	Valeur du sous-jacent							
9	0	1	2	3	4	5	6	
10	45	51,2	58,4	66,5	75,7	86,2	98,2	
11		39,5	45,0	51,2	58,4	66,5	75,7	
12		0,0	34,7	39,5	45,0	51,2	58,4	
13		0,0	0,0	30,5	34,7	39,5	45,0	
14		0,0	0,0	0,0	26,8	30,5	34,7	
15		0,0	0,0	0,0	0,0	23,5	26,8	
16		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,6	
17								
18	Valeur du put américain sans dividende							
19	0	1	2	3	4	5	6	
20	8,41	5,09	2,41	0,68	0,00	0,00	0,00	
21		11,58	7,64	4,05	1,32	0,00	0,00	
22			15,37	11,06	6,63	2,57	0,00	
23				19,53	15,30	10,49	5,00	
24					23,25	19,53	15,30	
25						26,51	23,25	= max (\$F\$4 - H15 ; 0)
26							29,37	= max (\$F\$4 - F14 ; [\$I\$6 * G24 + (1 - \$I\$6) * G25] * exp (-\$F\$6))

Source : d'après Amram et Kulatilaka (1999)

La construction de l'arbre d'évolution du sous-jacent est réalisée suivant la même logique que dans les exemples précédent. Concernant la construction de l'arbre des gains, il faut noter les deux points suivants.

1. A l'échéance :

Comme il s'agit d'une option de vente, le pay-off est défini de la façon suivante : $\max (K - S_T ; 0)$

Avec : K : valeur du prix d'exercice

S_T : valeur de l'actif sous-jacent à l'échéance

2. Pour la détermination de la valeur des gains lorsque l'on remonte dans le temps

Comme il s'agit d'une option américaine, il faut à chaque nœud faire l'arbitrage entre les gains qui seraient réalisés si l'on exerçait l'option de façon anticipée, et la valeur de l'option si celle-ci est maintenue en vie.

Ainsi, la valeur du nœud en cellule F24 est définie comme le maximum :

- du pay-off en cas d'exercice anticipé : $\$F\$4 - F14$ et
- de la valeur de l'option maintenue en vie (calculée de la même manière que dans le cas d'une option européenne) : $[\$I\$6 * G24 + (1 - \$I\$6) * G25] \exp (-\$F\$6)$

Les chiffres en gras sur la Figure 3.6 représentent les cas où la stratégie optimale consiste à exercer l'option de façon anticipée. Ils délimitent ainsi la « frontière d'exercice » de l'option.

III.3. Valorisation de l'option composée par le modèle binomial

Le modèle des arbres binomiaux permet de valoriser une option composée séquentielle (l'exercice de la première option engendre la création de la deuxième option) ou simultanée (les deux options sont en vie au même moment).

Nous détaillons ici la méthode de valorisation de l'option composée séquentielle, en reprenant un exemple donné par Copeland et Antikarov (2001, p.173-177).

Figure 3.7 : Calcul de la valeur d'une option composée par la méthode des arbres binomiaux

A	B	C	D	E	F	G	H	I
2	Variables							
3	Cours du sous-jacent aujourd'hui			S	1000			
4	Prix d'exercice de l'option 2			X ₂	800			= exp (F6)
5	Prix d'exercice de l'option 1			X ₁	400	u	1,1275	
6	Volatilité (par an)			σ	12%	d	0,8869	= 1 / 15
7	Taux sans risque (par an)			r	8%			
8								
9	Etape 1: Valeur du sous-jacent							
10	0	1	2	3				
11	1 000,00	1 127,50	1 271,25	1 433,33	= D11 * \$I5			
12		886,92	1 000,00	1 127,50	= D11 * \$I\$6			
13			786,63	886,92				
14				697,68				
15								
16	Etape 2: Valeur de la 2ème option							
17	0	1	2	3				
18		441,63	530,51	633,33	= max (E11 - F\$4; 0)			
19		204,47	259,26	327,50				
20			64,59	86,92				
21				0,00				
22								
23	Valeur de la 1ère option							
24	0	1						
25	30,93	41,63			= max (C18 - F\$5; 0)			
26		0,00						

Source : d'après Copeland et Antikarov (2001 : 173-177)

La valorisation de l'option composée s'effectue en trois grandes étapes :

1. Construction de l'arbre d'évolution de l'actif sous-jacent

L'actif sous-jacent correspond à la valeur des cash-flows qui seront dégagés si l'option 2 est exercée. L'arbre d'évolution du sous-jacent est construit suivant les mêmes principes que dans la valorisation de l'option simple.

2. Valorisation de l'option 2.

L'option 2 est valorisée suivant la méthode « classique » des arbres binomiaux, en calculant le montant du pay-off à l'échéance de l'option (ici en $t = 3$), puis en remontant dans le temps, jusqu'à la date d'échéance de la première option (ici en $t = 1$).⁶³

On obtient ainsi les différentes valeurs possibles de l'option 2, à la date d'exercice de l'option 1.

⁶³ Copeland et Antikarov actualisent ici les flux en temps discret, d'où une formule un peu différente de celles présentées dans le cas de l'option simple (Figures 3.4 et 3.6)

3. Valorisation de l'option 1

L'option 1 est valorisée à nouveau par la méthode des arbres binomiaux, en prenant comme valeur du sous-jacent les valeurs possibles de l'option 2 à la date d'exercice de l'option 1.

En remontant dans le temps jusqu'à la date t_0 , on obtient la valeur de l'option 1, qui correspond à la valeur de l'option composée (ici : 30,93).

SECTION 2 : LES LIMITES DES MODELES ACTUELS DE VALORISATION DES OPTIONS REELLES

Dans la section 1, nous avons montré que pour valoriser les options réelles, les entreprises et les académiques utilisent des modèles de valorisation d'options financières, ou des modèles directement dérivés de la sphère financière.

Dans cette section, nous montrons que les options réelles diffèrent des options financières sur un certain nombre de points. En conséquence, l'utilisation de modèles issus des marchés financiers pour valoriser les options réelles est souvent inappropriée (Bowman & Moskowitz, 2001; Triantis, 2005 : 11). Dans la deuxième partie de la section, nous détaillons les principales limites des modèles actuels pour valoriser les options réelles.

I. Principaux obstacles à la valorisation des options réelles

Tableau 3.3 : Différences entre options financières et options réelles

	Caractéristiques des options financières	Caractéristiques des options réelles	Conséquences pour la valorisation des options réelles
❶	Le sous-jacent est coté sur les marchés financiers	Le sous-jacent n'est généralement pas coté sur les marchés financiers	- L'hypothèse de la répliquabilité n'est plus valide - Les paramètres de calcul sont difficiles à estimer
❷	Les caractéristiques de l'option sont généralement simples	Les caractéristiques de l'option sont souvent complexes	Nécessité de développer des modèles « sur-mesure »
❸	Le détenteur d'une option financière est le seul décisionnaire quant à l'exercice de l'option	Les opportunités d'exercice de l'option sont souvent partagées avec les concurrents	Difficulté à estimer les pay-offs potentiels et la durée de vie de l'option
❹	Exercice de l'option et encaissement du pay-off instantanés	- La valeur du sous-jacent n'est pas connue avec précision au moment de l'exercice de l'option - L'exercice de l'option peut être étalé sur plusieurs années	- Risque de sur-estimation du pay-off à l'échéance de l'option
❺	Les options financières peuvent être évaluées de façon indépendante	Une décision d'investissement peut dépendre de plusieurs options, qui ont des interrelations	Difficulté à valoriser un portefeuille d'options en raison de la non-additivité des options réelles
❻	Le « pay-off » est identique pour tous les détenteurs d'une option financière donnée	Le « pay-off » prend une valeur différente suivant le détenteur de l'option réelle	Difficulté à tester les modèles d'évaluation
	Les options financières sont négociées sur les marchés	Les options réelles ne sont pas négociées sur les marchés	

L'analogie entre options financières et options réelles est séduisante. Cependant, lorsque l'on analyse les options réelles de façon approfondie, on constate que cette analogie a des limites. Nous détaillons ci-après les principales différences entre options financières et options réelles (Tableau 3.3), et leurs implications en termes de valorisation.

❶ *L'actif sous-jacent n'est pas coté sur les marchés financiers*

L'actif sous-jacent d'une option réelle correspond à la valeur des cash-flows générés par le projet d'investissement. Contrairement au sous-jacent d'une option financière, le sous-jacent d'une option réelle n'est donc pas coté sur les marchés financiers.

Dans le meilleur des cas, notamment lorsqu'il s'agit d'un projet d'investissement exploitant une matière première, c'est la principale source d'incertitude – mais non la valeur du projet elle-même – qui sera coté sur les marchés.

En termes de valorisation, ce phénomène crée deux difficultés majeures.

En premier lieu, il n'est pas possible de se baser sur l'évolution du cours du sous-jacent pour estimer la valeur des paramètres utilisés par les modèles actuels de valorisation d'option. Plus précisément, ce sont l'estimation du taux de volatilité σ et du taux de dividende δ qui sont les plus problématiques.⁶⁴

Deuxièmement, le fait que le sous-jacent d'une option réelle ne soit pas coté sur les marchés financiers vient invalider l'hypothèse de l'absence d'opportunité d'arbitrage (AOA). Or, cette hypothèse constitue la pierre angulaire de la théorie des options financières, d'où sont issus le modèle de Black et Scholes, ainsi que tous les modèles dérivés présentés dans la première section de ce chapitre.

L'hypothèse de l'AOA indique suppose que, s'il est possible de constituer un portefeuille présentant exactement le même profil de risque et de rendement que l'option, alors ce portefeuille et l'option auront la même valeur. Si ce n'était pas le cas, il serait possible d'effectuer des arbitrages (Copeland & Keenan, 1998 : 40; Goffin, 1999).

La démarche de la théorie des options consiste à former un portefeuille dit « sans risque », c'est-à-dire dont le rendement sera égal au taux sans risque, quel que soit l'état du monde. Ce portefeuille est constitué pour partie de l'option, et pour l'autre partie de l'achat à terme de l'actif sous-jacent (« position courte »).

Dans le cas des options réelles, l'actif sous-jacent n'est pas coté, et on ne peut donc pas former de portefeuille sans risque. On pourrait alors suggérer d'utiliser à la place un actif financier, dont l'évolution de cours soit parfaitement corrélée à celle de la valeur du projet. Malheureusement, il est très rare de disposer d'un tel actif (ex: Majd & Pindyck, 1987; Copeland & Keenan, 1998; Davis, 1998; Bowman & Moskowitz, 2001).

Ceci provient du fait qu'un projet d'investissement est presque toujours soumis à des risques spécifiques, qui ne sont pas valorisés par les marchés financiers. Amram et Kulatilaka (1999) distinguent ainsi le risque spécifique (« private risk ») du risque de marché (« market priced risk »). Par exemple, l'option de croissance correspondant au développement d'un nouveau produit par une société commercialisant des modems fera intervenir deux types de risque :

- le risque que la société ne soit pas en mesure de développer le produit dans le temps ou dans le budget impartis (« private risk ») ;
- le risque que le marché des ordinateurs PC ne connaisse pas une évolution très favorable (« market priced risk »).

Un portefeuille d'arbitrage constitué par un panier de différents assembleurs de PC permettra de tenir compte du « market priced risk », mais ne reflétera pas le « private risk ».

Le fait que le sous-jacent d'une option réelle ne soit pas coté sur les marchés financier vient ainsi remettre en cause toute la philosophie sur laquelle est fondée la théorie des options, et en particulier le

⁶⁴ Nous revenons plus en détail sur ces deux points dans la deuxième partie de la section 2 (§ II.2.4. Une grande difficulté à estimer la valeur des paramètres utilisés par les modèles)

raisonnement en univers « risque neutre ». Nous verrons dans la deuxième partie de cette section quelle implication ceci a sur le choix du taux d'actualisation.

② *Difficulté à construire des modèles d'évaluation tenant compte de la complexité des options réelles*

Les options financières pour lesquelles ont été développés les modèles présentés dans la première section de ce chapitre sont généralement simples. En particulier, le sous-jacent suit un processus de d'évolution bien défini, le prix d'exercice est connu d'avance, l'exercice de l'option est bien identifié et le pay-off de l'option correspond à la différence entre le cours du sous-jacent et le prix d'exercice.

Lorsque l'on transpose la logique d'option dans la sphère des investissements réels, toutes ces caractéristiques deviennent plus complexes.

- Le processus d'évolution du sous-jacent est complexe.
Les modèles classiques d'évaluation d'options financières reposent sur l'hypothèse que le sous-jacent suit un processus stochastique bien spécifique, généralement un MBG. Nous verrons plus loin que, pour des raisons liées à la durée de vie de l'option ou encore à la nature des sources d'incertitude, le sous-jacent d'une option réelle suit généralement un processus stochastique complexe, que l'on ne peut pas réduire à un MBG.
- Le prix d'exercice n'est pas toujours connu d'avance.⁶⁵
- Il peut exister plusieurs modalités d'exercice à l'échéance.⁶⁶
- Les options réelles sont souvent composées.
Les options financières valorisées par les modèles actuels sont généralement des options simples. A l'inverse, les projets d'investissement font généralement intervenir des options composées. Bowman et Hurry (1993: 763) évoquent ainsi les "chaînes d'options". Typiquement, on rencontre les options composées dans le cas d'un programme de R&D, de l'entrée sur un nouveau marché, d'une acquisition ou d'une expansion majeure sur un marché existant (Kester, 1984).
Nous verrons dans l'étude de cas du Chapitre 7 que les décisions d'investissement correspondent souvent à une option composée particulièrement complexe, puisque la première option peut à la fois générer la création d'une deuxième option (comme dans une option composée) et l'encaissement de cash-flows (comme dans une option simple).

En somme, les options réelles s'apparentent bien d'avantage à des options « exotiques » qu'à des options financières standard. Il faut donc pour les valoriser mettre au point des modèles sur-mesure, ce qui n'est pas sans difficulté⁶⁷.

③ *Les options réelles sont souvent partagées avec les concurrents*

Les options réelles se distinguent des options financières dans la mesure où leur détenteur n'en possède pas nécessairement les droits exclusifs d'exercice. Kester (1984) distingue ainsi deux types d'options réelles : les options « propriétaires » (« proprietary options ») et les options « partagées » (« shared options »). Les premières confèrent à leur détenteur un droit exclusif d'exercice. C'est par exemple le cas lorsqu'une entreprise détient un brevet, une compétence unique sur le marché ou une technologie que les concurrents ne sont pas capables d'imiter. Les secondes correspondent à des opportunités « collectives » de l'industrie, comme par exemple la possibilité de pénétration d'un marché qui n'est protégé que par de faibles barrières à l'entrée, ou encore la construction d'une usine pour desservir une nouvelle zone géographique.

⁶⁵ Cf. plus loin, Section 2, § II.1. *Une simplification excessive des hypothèses de calcul*

⁶⁶ Cf. plus loin, Section 2, § II.1. *Une simplification excessive des hypothèses de calcul*

⁶⁷ Cf. plus loin, Section 2, § II.1. *Une simplification excessive des hypothèses de calcul*

La valorisation des options partagées est généralement délicate, car il est difficile d'estimer les « pay-offs » ainsi que la durée de vie de l'option. En effet, si d'autres concurrents ont accès à la même option, ces derniers peuvent devancer l'entreprise concernée dans l'exercice de l'option. Il n'est donc pas possible de connaître à l'avance la durée de temps s'écoulant jusqu'à l'échéance de l'option. Même si l'entreprise est la première à exercer l'option, elle n'a pas de garantie que des concurrents ne viendront pas effectuer un investissement similaire. En ce cas, l'entreprise devra partager la « rente » correspondant à l'exercice de l'option. Pour cette raison, il est donc difficile d'estimer les « pay-offs » générés par l'exercice d'une option partagée. (Adner & Levinthal, 2004b: 79, note 2)

④ *L'exercice de l'option et l'encaissement du pay-off ne sont pas instantanés*

L'exercice d'une option financière correspond à l'achat (la vente) de l'actif sous-jacent au prix d'exercice, K . Le détenteur de l'option peut simultanément vendre (acheter) l'actif sous-jacent à son cours du moment S , et ainsi engranger un pay-off égal à la différence entre S et K . L'exercice d'une option financière, et l'encaissement du pay-off sont donc instantanés.

Dans le cas des options réelles, il arrive fréquemment que ces deux propriétés ne soient pas vérifiées.

Tout d'abord, il se peut que l'exercice de l'option réelle ne puisse pas être réalisé en un bloc : pour des raisons techniques, la dépense d'investissement peut être réalisée à travers une série de décisions séquentielles, qui s'étendent sur une période de temps assez longue. Pour reprendre l'expression de Majd et Pindyck (1987 : 7), « *it takes time to build the option* ». Les auteurs citent notamment l'exemple de la production aéronautique, de la production minière ou encore la construction d'une usine pétrochimique.

Dans un tel cas de figure, il existe toujours la possibilité de lancer la décision d'investissement et de la stopper en cours de route si les conditions évoluent de façon défavorable. Cette possibilité de flexibilité supplémentaire affecte bien sûr la valeur de l'option réelle, et nécessite le développement d'un modèle sur-mesure (comme notamment celui de Majd et Pindyck).

Par ailleurs, lorsque la décision d'exercer une option réelle est prise, l'encaissement du « pay-off » correspondant n'est presque jamais instantané. Le « pay-off » généré par l'exercice de l'option correspond à la différence entre le cours du sous-jacent et le prix d'exercice. Or, dans le cas des options réelles, la valeur du sous-jacent ne correspond pas au cours d'un actif à un instant t , mais est la somme des cash-flows qui seront générés par le projet pendant un certain nombre d'années après la décision d'exercer l'option réelle. De plus, les cash-flows positifs n'interviennent généralement qu'une ou plusieurs années après le lancement de l'investissement.

La conséquence de cet étalement dans le temps des cash-flows générés par le projet est double.

- D'une part, puisque la génération de cash-flows positifs intervient *après* la dépense d'investissement, l'entreprise ne connaît pas avec précision le montant du « pay-off » au moment où l'exercice de l'option est décidé. Naturellement, la philosophie des options réelles repose sur le principe de réduction d'incertitude entre le moment de l'acquisition de l'option, et le moment d'exercice de l'option. Il n'en reste pas moins que dans la réalité d'un projet d'investissement, la révélation d'information n'est généralement que partielle.
- D'autre part, il est possible que les conditions évoluent de façon défavorable au cours de la vie du projet.⁶⁸

⁶⁸ Ceci ne concerne pas les projets d'investissement qui sont valorisés comme un portefeuille d'options européennes, ayant chacune une maturité différente, et que l'on décide d'exercer ou non suivant le niveau de la principale source d'incertitude (par exemple le cours du baril de pétrole). Cette approche est adoptée pour tous les actifs offrant la possibilité d'arrêt ou de réduction temporaire de la production.

Nous ne nous trouvons donc plus comme avec les options financières dans le cas d'un pay-off dont la valeur est $\max(0; S - K)$. Il est en effet possible que les managers estiment, au moment de l'exercice de l'option, que celle-ci générera un pay-off positif, mais que rétrospectivement il s'avère que le pay-off de l'option soit négatif – soit parce que certaines sources d'incertitude ont été mal appréciées au moment de la décision d'exercice, soit parce que certaines sources d'incertitude ont évolué de façon défavorable au cours de la vie du projet.

En conséquence, si l'on réplique les modèles financiers pour valoriser une option réelle, on aura tendance à surestimer celle-ci.

⑤ *Difficultés à valoriser un portefeuille d'options (problème de la non-additivité des options réelles)*

Le détenteur de plusieurs options financières peut valoriser son portefeuille d'options simplement en additionnant la valeur des différentes options composant le portefeuille.

Dans le cas d'un investissement réel, il est important de savoir valoriser un portefeuille d'option, car un projet d'investissement génère souvent plusieurs options réelles (Trigeorgis, 1993). Malheureusement, le principe d'additivité des options n'est plus valide dans le cas des options réelles. Ce problème provient du fait que les options réelles d'un projet portent généralement sur le même sous-jacent, et que leur exercice ne peut pas être décidé de façon indépendante.

Trigeorgis (1993) montre ainsi que la valeur combinée de plusieurs options ayant des interrelations peut être soit inférieure, soit supérieure à la somme des valeurs de ces options prises individuellement. Les valeurs d'options estimées séparément ne s'additionnent que si la probabilité d'exercice conjoint des deux options tend vers zéro. Ceci est notamment le cas lorsqu'on est en présence d'un « put » (par exemple une option d'abandon) et d'un « call » (par exemple une option de croissance). Plus généralement, Trigeorgis explique que la valeur globale de deux options portant sur le même sous-jacent dépend des facteurs suivants :

- l'appartenance de ces options à un même type (deux « puts », deux « calls » ou un « put » et un « call ») ;
- l'intervalle de temps entre les deux dates d'exercice (qui peut être influencé par leur caractère « européen » ou « américain ») ;
- la position « hors la monnaie » ou « dans la monnaie » de chacune des options ;
- l'ordre de survenance des options.

Ainsi, la valorisation d'un portefeuille d'options réelles requiert la réalisation de calculs relativement sophistiqués. Cependant, l'impact des interactions entre les options ne peut pas être négligé : dans une étude de cas sur la construction d'une autoroute à péage, Rose (1998) montre que l'interaction entre deux options réelles générées par un projet peut prendre une valeur très significative.

⑥ *Difficultés à tester les modèles de valorisation*

Les options financières sont négociées sur les marchés financiers. Les cours des options observés sur les marchés constituent ainsi un bon repère pour juger la pertinence d'un modèle de valorisation d'option.

A l'inverse, les options réelles ne sont pas cotées. D'après Myers (1977), les seules options réelles pour lesquelles on peut envisager un marché secondaire sont des options ayant une durée de vie relativement longue, et que l'on peut objectivement identifier et séparer du reste de l'entreprise, comme : des brevets, certaines marques, des licences ou des franchises.

Par ailleurs, Myers souligne que la plupart des options réelles sont spécifiques à l'entreprise qui les détient, et n'ont pas nécessairement de valeur pour les autres entreprises. Ceci est par exemple le cas lorsqu'une option réelle est générée par la possession d'un ensemble d'actifs bien particuliers, et ne peut donc pas être achetée séparément.

En outre, une option réelle sera spécifique à l'entreprise dès lors qu'elle est générée par des phénomènes tels que la poursuite de la courbe d'expérience ou l'acquisition progressive d'une compétence. D'autres auteurs ont confirmé l'intuition de Myers : Dixit et Pindyck (1994) montrent ainsi qu'une option réelle est générée par les ressources managériales, le savoir-faire technologique, la réputation, la position de marché et éventuellement l'envergure que l'entreprise s'est construits. Par extension, ce sont ces ressources et capacités (auxquelles on peut rajouter les opportunités de synergies) qui seront déterminantes dans la bonne mise en œuvre de l'option – et donc de la valeur de l'option (Reuer & Leiblein, 2000a).

En conséquence, il est difficile de tester la pertinence d'un modèle de valorisation d'option réelle. Dans le meilleur des cas, on pourra observer indirectement leur valeur (Quigg, 1993; Harchaoui & Lasserre, 2001; Moel & Tufano, 2002).⁶⁹

II. Limites des modèles actuels de valorisation d'options réelles

Comme nous venons de l'explicitier, les caractéristiques des options réelles présentent des divergences avec celles des options financières. De plus, la valorisation des options réelles en entreprise fait intervenir d'autres types d'acteurs, beaucoup plus généralistes, que la valorisation des options financières.

En conséquence, l'utilisation de modèles tirés des marchés financiers pour valoriser les options réelles comporte deux principales limites :

- D'une part, les modèles de valorisation d'options financières standards reposent sur des hypothèses simplificatrices, qui ne permettent pas de prendre en compte la complexité d'une décision d'investissement stratégique.
- Paradoxalement, ces modèles sont jugés trop complexes par les managers pour être utilisés en entreprise. Il s'agit en effet de modèles assez hermétiques, dont la transposition dans la sphère des investissements réels est malaisée.

II.1. Une simplification excessive des hypothèses de calcul

L'une des hypothèses les plus contraignantes effectuées par les modèles de valorisation d'option est celle suivant laquelle l'actif sous-jacent suit un Mouvement Brownien Géométrique (MBG) (Bowman & Moskowitz, 2001). Dans ce paragraphe, nous expliquons pourquoi cette hypothèse n'est pas nécessairement appropriée à la valorisation des options réelles.

Nous abordons ensuite d'autres hypothèses, qui sont moins systématiques que celle du MBG, mais sont néanmoins présentes dans de nombreux modèles.

II.1.1. Hypothèse du Mouvement Brownien Géométrique (MBG)

⁶⁹ Cf. Chapitre 1, section 2, § I.3.5. *Etude empirique des options réelles comme outil d'aide à la décision d'investissement*

La grande majorité des modèles actuellement utilisés pour valoriser les options réelles fait l'hypothèse que le sous-jacent suit un MBG. L'une des exceptions notables est le modèle de McDonald et Siegel (1986), qui prévoit dans l'extension du modèle que le sous-jacent puisse suivre un processus avec des sauts, combinant le MBG et la loi de Poisson.

Sur les marchés financiers, l'hypothèse suivant laquelle les actifs cotés suivent un MBG fonctionne bien sur une période de temps relativement courte. Les propriétés du MBG, notamment le fait qu'une variable suivant un MBG ne peut prendre que des valeurs positives, sont bien adaptées à l'univers des marchés financiers. En dehors de quelques critiques (Peters, 1991), l'hypothèse du MBG est donc bien acceptée sur les marchés financiers.

En revanche, plusieurs facteurs indiquent que le MBG n'est pas adapté pour décrire l'évolution de la valeur d'un projet d'investissement.

1. Confusion entre la source d'incertitude et le sous-jacent d'une option réelle

Tout d'abord, il existe souvent une confusion dans la littérature entre le processus suivi par la source d'incertitude d'un projet, et le processus suivi par la valeur du projet – c'est-à-dire par la somme des cash-flows actualisés dégagés par le projet.

Pour passer de l'un à l'autre, il faut effectuer une série d'opérations. Par exemple, si la source d'incertitude est le prix de vente, il faut multiplier ce prix par les quantités vendues, et retrancher les coûts variables pour calculer les cash-flows dégagés par le projet. Majd et Pindyck (1987 : 11-12) indiquent ainsi que ce n'est pas parce que le prix de vente suit un MBG que ce sera le cas pour le sous-jacent de l'option réelle.

2. Les sources d'incertitude ne suivent pas nécessairement un MBG

Il faut aussi noter que le plus souvent les sources d'incertitude ne suivent pas un MBG. En effet, le MBG comporte plusieurs propriétés, qui ne sont souvent pas vérifiées par les sources d'incertitude affectant la valeur d'un projet d'investissement.

La première propriété concerne les paramètres décrivant le processus. Si une variable suit un MBG, alors son taux de croissance α et son taux de volatilité σ sont constants dans le temps. Dans le cas des options financières, cette hypothèse est acceptable car la durée de vie de l'option est courte. En revanche, la durée de vie d'une option réelle est beaucoup plus longue. Il en résulte que les paramètres α et σ utilisés pour décrire l'évolution d'une source d'incertitude ne peuvent généralement pas être considérés comme fixes durant toute la vie de l'option (Davis, 1998).

La deuxième propriété concerne la distribution de la variable à une date donnée. Si une variable suit un MBG, alors elle a une distribution log-normale à cette date. Or, une telle loi de distribution n'est appropriée que pour certaines sources d'incertitude. La plupart du temps, le processus est limité par des barrières à la hausse ou à la baisse, car cela n'a économiquement pas de sens de faire varier des sources d'incertitude au-delà de certaines limites. D'autre part, il y a des sources d'incertitude pour lesquelles d'autres lois de distribution, par exemple des lois discrètes, seront plus appropriées.

3. Un projet d'investissement est le plus souvent soumis à différentes sources d'incertitude.

L'incertitude peut porter sur la demande, la technologie, la réglementation, la concurrence, etc. Nous verrons dans l'étude de cas du Chapitre 6 que même une source d'incertitude comme la demande se décline en une série de variables incertaines : la demande ne doit pas être appréhendée comme une variable globale, mais se décompose en différentes lignes de produits, qui peuvent présenter des profils de risque spécifiques. De plus, ce n'est pas seulement le volume de ventes lorsque le produit sera mature qui est incertain, mais aussi le rythme auquel le nouveau produit parviendra à maturité.

Chacune de ces sources d'incertitude a un profil de risque particulier, et ces sources d'incertitude peuvent également être corrélées entre elles. En conséquence, même si une de ces sources d'incertitude suit un MBG, il y a peu de chances pour que le sous-jacent lui-même suive un MBG.

4. Pour des raisons économiques, le MBG ne décrit pas toujours de façon appropriée le processus suivi par la valeur d'un projet d'investissement.

Si l'on considère maintenant l'évolution de la valeur suivie par le projet d'investissement dans son ensemble, on constate que le MBG n'est, pour des raisons économiques, pas toujours une hypothèse appropriée.

Nous avons dit plus haut qu'une variable suivant un MBG a une distribution log-normale. Elle ne peut donc pas prendre de valeur négative. Or, dans certains cas, la valeur générée par les cash-flows d'un investissement peut tout à fait devenir négative.

Pour rappel, les cash-flows d'un projet correspondent en fait à la *différence* entre ceux générés par le projet lui-même, et ceux qui seraient générés si le projet n'était pas réalisé. Dans certains cas de figure, cette différence peut prendre des valeurs négatives.

D'autre part, il faut noter que, pour la valorisation d'une option réelle avec les modèles « classiques », seules les dépenses d'investissement fixes doivent être intégrées dans l'estimation du prix d'exercice.⁷⁰

Les dépenses d'investissement qui seraient par exemple proportionnelles au chiffre d'affaires viennent en déduction de la valeur du sous-jacent. Dans ce cas, la probabilité que le sous-jacent puisse prendre des valeurs négatives est encore accrue.

Enfin, plusieurs auteurs reconnaissent que la volatilité d'un projet n'est pas nécessairement constante dans le temps. Par exemple, Damodaran (2000, p.34) indique qu'un changement technologique soudain peut affecter la valeur d'un projet – à la hausse ou à la baisse – de façon significative. Dans ce cas, il est plus approprié de considérer que le processus stochastique suivi par le sous-jacent de l'option réelle est soumis à des sauts (McDonald & Siegel, 1986; Dixit & Pindyck, 1994).

Les éléments indiquant que le MBG n'est pas approprié pour décrire l'évolution de la valeur d'un projet sont donc nombreux. Ce problème n'est pas abordé de façon détaillée dans la littérature, mais plusieurs références indiquent que l'hypothèse du MBG est une abstraction de la réalité, et n'est probablement pas vérifiée dans le cas des options réelles (Taudes, 1998 : 241; Bellalah, 2001; Bowman & Moskowitz, 2001).

Or, le choix d'un processus d'évolution du sous-jacent a un impact important sur la valeur d'option. Ceci a été démontré par quatre études pour des projets d'investissement exploitant des matières premières (mines, forêts, pétrole). La principale source d'incertitude était le prix de la matière première, dont l'évolution dans le temps correspond clairement plus à un mouvement de retour à la moyenne (RM) qu'à un MBG.

Ces études démontrent toutes que si l'on prend l'hypothèse d'un de retour à la moyenne (MR) au lieu d'un MBG, alors la valeur de l'option est fortement réduite. Cela affecte en particulier les projets de longue durée (Laughton & Jacoby, 1993; Smith & McCardle, 1999; Slade, 2001; Insley, 2002).

Nous avons indiqué plus haut que certains modèles actuels de valorisation d'options réelles ont remplacé l'hypothèse du MBG par d'autres processus, notamment le retour à la moyenne ou une combinaison avec des sauts. Mais là encore, il s'agit d'hypothèses très contraignantes. Ce vers quoi la recherche doit tendre est le développement de modèles ne nécessitant pas de spécifier de façon précise le processus suivi par le sous-jacent.

II.1.2. Autres simplifications effectuées par les modèles actuels

D'une manière générale, on peut dire que les modèles actuels issus des marchés financiers présentent une vision très simplifiée des projets d'investissement, car les options financières sont clairement définies par les termes d'un contrat.

A l'opposé, les options réelles interviennent dans des contextes beaucoup plus complexes, et il est difficile de les définir avec précision.

⁷⁰ Cf. Chapitre 5, section 2, § I.1.1. Valeur du prix d'exercice (K)

Un exemple porte sur l'exercice de l'option. Dans le cas d'une option financière, exercer l'option revient à acheter (vendre) le sous-jacent au prix d'exercice. Dans le cas d'une option réelle, l'exercice de l'option peut être effectué à plus ou moins grande échelle, ou bien suivre différentes modalités possibles suivant les circonstances économiques. Dans l'étude de cas du Chapitre 5, nous verrons que l'exercice de l'option pouvait consister soit dans le déploiement d'un réseau « UMTS », soit dans le déploiement d'une technologie concurrente (« EDGE »).

Or, aucun des modèles actuellement utilisés pour valoriser les options réelles ne permet de prendre en compte plusieurs modalités possibles d'exercice de l'option.

De façon similaire, le prix d'exercice d'une option financière est déterminé d'avance. A l'inverse, dans le cas d'un projet d'investissement, il est fréquent que la dépense d'investissement elle-même soit incertaine (ex: Reuer & Leiblein, 2000a : 8). Ceci concerne par exemple les projets nécessitant la mise en œuvre d'une technologie nouvelle.

Certains modèles de valorisation d'options financières (Margrabe, 1978; Carr, 1988) ou d'options réelles (McDonald & Siegel, 1986) sont basés sur un prix d'exercice stochastique, mais ils restent des exceptions.

Une autre hypothèse très simplificatrice effectuée par de nombreux modèles de valorisation en temps continu concerne la durée de vie de l'option. Dans le cas des modèles en temps continu, il n'est pas possible de valoriser l'option américaine à l'aide d'une formule analytique. Certains modèles contournent le problème en formulant l'hypothèse que la durée de vie de l'option est infinie. Une telle hypothèse permet de simplifier les calculs, et de parvenir à une résolution analytique de l'équation aux dérivées partielles.

Elle est notamment utilisée dans les modèles de McDonald & Siegel ⁷¹, et de Dixit & Pindyck.

Nous verrons dans l'étude de cas du Chapitre 6 que l'hypothèse d'une durée de vie infinie de l'option conduit à significativement surestimer la valeur de l'option.

Dans le même esprit, Majd et Pindyck (1987) font l'hypothèse d'une durée de vie de projet infinie.

Dans l'ensemble, les modèles actuellement utilisés pour valoriser les options réelles reposent donc sur des hypothèses très restrictives, qui ne sont pas en phase avec les caractéristiques des projets d'investissement des entreprises.

Naturellement, il est possible de modifier ces modèles, afin de prendre en compte certaines particularités du projet d'investissement. Par exemple, on pourra introduire un prix d'exercice stochastique, ou spécifier que le processus suivi par le sous-jacent est limité par des « barrières » à la hausse ou à la baisse.

Mais il n'est généralement pas possible de multiplier les adaptations, car la complexité mathématique du modèle deviendrait alors beaucoup trop importante (Lander & Pinches, 1998).

D'autre part, le développement et la résolution de modèles sur-mesure nécessite des compétences mathématiques pointues (cf. ci-après).

En particulier, plus le modèle est complexe, plus il est difficile à paramétrer. A titre d'exemple, le modèle de Majd et Pindyck (1987) prévoit que la dépense d'investissement n'est pas instantanée. C'est un progrès important par rapport à de nombreux modèles qui font l'hypothèse d'une construction de projet immédiate (cf. par exemple modèles de McDonald et Siegel, de Carr, de Dixit et Pindyck). Néanmoins, comment peut-on alors concrètement estimer la valeur du paramètre k , qui correspond dans le modèle de Majd et Pindyck au rythme maximal – supposé constant dans le temps – auquel la construction peut être réalisée ?

De même, McDonald et Siegel développent une extension de leur modèle d'option d'attente, dans laquelle le sous-jacent est soumis à des sauts. Cela permet de rendre le modèle plus réaliste. Cependant, cette sophistication du modèle pose là aussi le problème de l'estimation concrète du paramètre λ , qui correspond à la fréquence des sauts.

⁷¹ Ces derniers ont toutefois développés une extension de leur modèle, dans laquelle la valeur du projet est soumise à des sauts. Elle peut donc devenir nulle, ce qui limite de facto la durée de vie de l'option.

II.2. Une trop grande complexité pour être utilisés dans le monde de l'entreprise

Nous avons vu que les modèles actuels de valorisation d'options réelles sont souvent trop simplistes pour prendre en compte les spécificités d'une décision d'investissement réelle. Paradoxalement, ces modèles sont jugés trop complexes par les managers. Ainsi, une étude menée par Busby et Pitts (1997, p.182) auprès de directeurs financiers de grandes entreprises britanniques a révélé que les options réelles étaient perçues comme trop compliquées pour être utilisées dans la pratique.

Cette impression générale de complexité recouvre plusieurs phénomènes.

- Les managers sont désorientés devant le grand nombre de méthodes possibles ;
- La mise en œuvre des méthodes actuelles requiert des compétences mathématiques poussées ;
- Les méthodes actuelles sont perçues comme des « boîtes noires » ;
- La valeur des paramètres utilisés par les méthodes actuelles est très difficile à estimer.

II.2.1. Une confusion des managers face au grand nombre de méthodes possibles

La première section de ce chapitre a montré le très grand nombre de méthodes possibles pour valoriser les options réelles. Or, les options réelles constituent une approche nouvelle, qui n'a commencé à être enseignée dans les MBA que depuis quelques années.

Il en résulte que, dans le monde de l'entreprise, les managers ne connaissent pas les différentes méthodes de valorisation possibles. Lander et Pinches (1998 : 543) estiment que l'une des principales raisons pour lesquelles les options réelles ne sont pas appliquées est que les différents modèles de valorisation actuels ne sont pas bien connus des managers et des praticiens. De même, d'après l'étude de Hartmann et Hassan (2006), l'absence de connaissance des méthodes de valorisation d'option est l'un des principaux obstacles à l'utilisation des options réelles.⁷²

La difficulté est d'autant plus grande pour les managers, que la littérature académique donne une vision confuse des différences entre les méthodes de valorisation. Les différentes méthodes reposent sur des hypothèses variées, voire contradictoires. De plus, suivant la nature du risque encouru et les caractéristiques de l'option étudiée, certaines méthodes sont plus appropriées que d'autres. Or, comme le souligne Borison (2005 : 17), la littérature passe sous silence ces différences d'hypothèses, ainsi que les conditions dans lesquelles telle ou telle méthode est la plus appropriée. De même, les difficultés liées à la mise en œuvre des différentes méthodes ne sont pas évoquées.

Ce phénomène se traduit dans l'étude de Hartmann et Hassan par la citation de deux items comme obstacle à l'utilisation des options réelles : « *l'absence de méthodologie standard des options réelles* » (5 répondants sur 28), et « *l'insuffisance du nombre d'études de cas* » (6 répondants sur 28). D'après les auteurs, ce nombre insuffisant d'étude de cas est ressenti par les managers en raison de l'hétérogénéité des méthodes de valorisation d'option publiées à ce jour.

II.2.2. Des modèles mobilisant des connaissances mathématiques poussées

Le deuxième phénomène contribuant à cette impression de complexité de la valorisation des options réelles est lié au niveau élevé de connaissances mathématiques sollicitées par les modèles actuels de valorisation.

⁷² Cf. Chapitre 1, section 1, § II.3.2. *Complexité de l'outil et difficultés de mise en œuvre*

Lander et Pinches (1998) ont analysé les principaux types de modèles de valorisation en temps continu et en temps discret. Les auteurs en concluent que les managers – et même de nombreux académiques – ne disposent pas des compétences mathématiques nécessaires pour mettre en œuvre ces modèles ou les utiliser à bon escient.

En premier lieu, certains modèles exigent des compétences mathématiques poussées pour être mis en œuvre. C'est notamment le cas de tous les modèles en temps continu nécessitant une résolution numérique. Un autre exemple est le modèle de Geske, qui fait intervenir la loi normale bivariée. Celle-ci n'admet pas de solution analytique. Comme l'indiquent Cassimon *et al.* (2004), il faut alors recourir à un logiciel de mathématiques.⁷³ Cette contrainte limite donc la diffusion du modèle de Geske à un nombre très restreint d'utilisateurs.

Par ailleurs, nous avons vu plus haut dans ce chapitre que les principaux modèles actuels de valorisation d'option correspondent à des options « standard ». Il faut donc les adapter, afin qu'ils reflètent mieux les caractéristiques de l'investissement considéré. La modélisation et la résolution de ces modèles « avancés » requièrent des compétences mathématiques dont ne disposent généralement pas les managers en entreprise (Bowman & Moskowitz, 2001).

II.2.3. Des modèles de valorisation fonctionnant comme des « boîtes noires »

Certains modèles, comme celui de Black et Scholes, semblent de prime abord simples d'utilisation. En réalité, il est nécessaire d'avoir une connaissance fine du modèle, afin de bien comprendre les hypothèses sur lesquelles il repose, et de pouvoir l'utiliser à bon escient (Lander & Pinches, 1998 : 544).

Dans l'étude de cas du Chapitre 5, nous montrerons ainsi qu'une mauvaise compréhension des hypothèses relatives à la nature du prix d'exercice effectuées dans le modèle de Black et Scholes (ou dans le modèle des arbres binomiaux) peut conduire à des erreurs importantes dans la valorisation du projet.

Une des autres sources d'erreur principale concerne la notion de dividende, qui n'est pas prise en compte par les managers pour valoriser l'option réelle.

Nous avons détaillé dans l'encadré 3.2 l'impact du dividende versé par l'actif sous-jacent sur la valeur de l'option, et dans le cas d'une option américaine, sur la date optimale d'exercice de l'option.

A quoi correspondent les dividendes dans le cas des options réelles ? D'une manière générale, les dividendes correspondent au coût d'opportunité de ne pas investir (Davis, 1998). De la même façon que le cours d'une action baisse après le versement d'un dividende, la valeur d'un projet peut se réduire si celui-ci est reporté. Ceci peut s'expliquer par plusieurs raisons :

- Si la durée de vie du projet est limitée par une date fixe dans le temps, alors en cas de report du projet celui-ci générera des cash-flows pendant moins d'années, et la valeur du projet sera réduite en conséquence. Ce type de problématique se rencontre dans le cas d'une concession pour exploiter des ressources naturelles, d'une licence d'exploitation d'un spectre de télécommunications ou encore d'un brevet protégeant un produit.
- Le report du projet expose également l'entreprise au risque d'être préemptée par ses concurrents. Différer l'entrée sur le marché d'un nouveau produit peut ainsi conduire à la perte de parts de marché, et donc à la réduction de la valeur du projet.
- Enfin, des raisons plus spécifiques peuvent expliquer la réduction de la valeur du projet en cas de report. Par exemple, si le projet implique l'introduction d'un nouveau produit ou service utilisant une nouvelle technologie, alors sous l'effet du progrès technique et de la pression de la

⁷³ Comme par exemple le logiciel « Mathematica »

concurrence et des substituts, les prix de vente sont susceptibles de baisser rapidement dans le temps. En conséquence, le chiffre d'affaires et donc les cash-flows générés par le projet seront réduits si celui-ci est reporté. De plus, la nouvelle technologie risque de devenir obsolète plus rapidement si le projet est différé. Ceci signifie que dans le cas d'un report, la durée de vie du projet sera plus courte, et la valeur du projet sera réduite en conséquence.

Lander (2000) montre ainsi à l'aide d'un exemple théorique qu'une utilisation naïve de la formule de Black et Scholes, sans prise en compte de l'impact des dividendes, peut aboutir à des erreurs de valorisation et à une décision d'investissement sous-optimale.

De même, Bowman et Moskowitz (2001) donnent l'exemple du groupe pharmaceutique Merck, qui a utilisé le modèle de Black et Scholes pour justifier sa décision de vendre la licence d'une technologie. Les auteurs montrent que les responsables de Merck n'avaient pas appliqué correctement la formule de Black et Scholes, car ils n'avaient pas pris conscience de l'impact des dividendes sur la valeur de l'option. Cette utilisation « mécanique » de la formule de Black et Scholes suggérerait qu'il fallait attendre le plus longtemps possible avant d'exercer l'option ; en réalité, l'attente conduisait à réduire la valeur du projet, car elle réduisait la durée pendant laquelle l'entreprise était protégée par le brevet.

L'implication managériale de cette complexité mathématique est que les modèles actuels sont perçus comme des boîtes noires (Woolley & Cannizzo, 2005). D'après Thackrey (1995), le fait que les managers ne comprennent pas le mécanisme conduisant à la détermination de la valeur d'option est un frein très fort à l'utilisation des options réelles. Ceci est confirmé par l'étude de Hartman et Hassan (2006), qui cite le « manque de transparence » des modèles comme le troisième obstacle le plus important à l'utilisation des options réelles en entreprise.⁷⁴

II.2.4. Une grande difficulté à estimer la valeur des paramètres utilisés par les modèles

Les modèles actuels de valorisation des options réelles font intervenir des paramètres dont la valeur est très difficile à estimer, car ils ne sont pas directement observables. A cet égard, trois principaux paramètres posent problème : le taux de dividende, la volatilité et le taux d'actualisation.

Le taux de dividende (paramètre δ)

Dans le cas des options financières, l'estimation du taux de dividende n'est pas problématique. S'il s'agit d'une option sur action, on peut raisonnablement bien estimer les futurs dividendes versés par l'action pendant la durée de vie de l'option, qui est généralement courte.

Sur le marché des matières premières, l'équivalent du taux de dividende est le « taux de convenance ». Il peut là encore être estimé de façon relativement précise, en comparant les prix « spots » avec les prix à terme.

Dans le cas des options réelles, nous avons vu plus haut que le taux de dividende est déterminé par un ensemble de facteurs, et nécessite une analyse approfondie pour être estimé. De plus, le taux de dividende d'un projet n'est pas constant ; il varie notamment en fonction du temps et de la valeur du projet (Davis, 1998). Dans l'étude de cas du chapitre 5, nous montrons ainsi que la baisse du prix d'exercice liée au progrès technique n'est pas linéaire dans le temps.

Davis (1998) montre que dans la plupart des cas, il n'est pas correct d'estimer le taux de dividende du projet sur la base du ratio cours / cash-flows ou du ratio cours / bénéfices de sociétés similaires cotées en bourse, ou encore du taux de convenance de la matière première utilisée pour le projet d'investissement. Il propose une méthodologie alternative permettant d'obtenir un taux de dividende plus réaliste. Malheureusement, cette procédure exige encore une fois des compétences mathématiques

⁷⁴ Cf. Chapitre 1, section 1, § II.3.2. *Complexité de l'outil et difficultés de mise en œuvre*

pointues, et repose sur des hypothèses très contraignantes (par exemple, il n'existe qu'une seule source d'incertitude, qui suit un MBG).

La volatilité (paramètre σ)

Dans le cas des options financières, la valeur du paramètre de volatilité σ peut être estimée en analysant soit l'évolution du cours du sous-jacent (volatilité « historique »), soit les cours des produits dérivés (volatilité « implicite »).

Dans le cas des options réelles, le paramètre de volatilité σ utilisé dans les modèles actuels correspond à l'écart-type du taux de retour du projet. La difficulté provient du fait que, le projet n'étant pas coté sur les marchés financiers, on ne peut pas effectuer le même type d'analyse que pour les options financières.

Face à ce problème, Borison (2005) relève différentes approches possibles, mais aucune d'entre elles n'est vraiment satisfaisante.

L'approche « classique » (Amram & Kulatilaka, 1999) consiste à se baser sur la volatilité d'un actif coté sur les marchés financiers, dont le profil de risque est parfaitement identique à celui du projet d'investissement étudié. Malheureusement, il est très rare de trouver un actif coté dont l'évolution soit corrélée à celle du projet, car un projet d'investissement est soumis à une combinaison de risques « publics » et de risques « privés » (cf. plus haut).

Même s'il n'y avait qu'une seule source d'incertitude, comme par exemple le prix d'une matière première, il ne serait pas possible de prendre la volatilité de celle-ci pour en déduire la volatilité de la valeur du projet. Copeland et Antikarov (2001) prennent ainsi l'exemple de la valeur d'une mine d'or, dont la principale source d'incertitude réside dans les fluctuations du cours de l'or. Ils démontrent que, en raison d'effets de levier, la volatilité de la valeur de la mine ne correspond pas à la volatilité du cours de l'or.

L'approche « subjective » (Luehrman, 1997, 1998) et l'approche « Market Asset Disclaimer (MAD) de Copeland et Antikarov (2001) consistent à estimer la volatilité de façon subjective.

Concrètement, cette approche consiste à s'en remettre à un jugement d'expert pour « estimer » la valeur de la volatilité. Dans la mesure où celle-ci est la résultante de plusieurs sources d'incertitude, ayant chacune un profil de risque spécifique et étant pour certaines corrélées entre elles, on voit mal comment il est possible de parvenir de façon intuitive à une estimation de la volatilité du projet.

Pour contourner cette difficulté, Copeland et Antikarov recommandent d'effectuer des simulations de Monte Carlo : en faisant varier les différentes sources d'incertitude du projet, on peut simuler différentes valeurs de projet possibles, et calculer la volatilité observée sur l'ensemble des tirages effectués.

Malheureusement, nous verrons dans l'étude de cas du Chapitre 5 que ce type de calcul n'est pas possible lorsque le sous-jacent peut prendre des valeurs négatives. Ce cas de figure n'est pas prévu dans les modèles de valorisation actuels, qui font presque tous l'hypothèse que le sous-jacent suit un MBG.⁷⁵ Dans la réalité, nous avons vu qu'il est bien souvent plausible d'envisager des valeurs de projets négatives. Pour ces projets, il ne sera donc pas possible d'évaluer la volatilité σ par le biais des simulations de Monte Carlo.

⁷⁵ Pour rappel, l'hypothèse du MBG implique que le sous-jacent peut prendre des valeurs uniquement positives

Le taux d'actualisation (paramètre r)

Dans le cas des options financières, on se trouve dans un marché dit « complet ». Ceci signifie qu'il est possible de constituer un portefeuille sans risque, constitué d'une part de l'option, et d'autre part de l'actif sous-jacent acheté à terme. Ceci permet de raisonner dans un univers « risque neutre », et d'utiliser le taux sans risque (r_f) comme taux d'actualisation.

Dans la sphère des investissements réels, cette approche n'est plus légitime, car le sous-jacent n'est pas coté sur les marchés financiers, et nous sommes donc en contexte de marché « incomplet ». Là encore, Borison (2005) identifie plusieurs approches face à ce problème.

L'approche « classique » et l'approche « subjective » consistent à ignorer le problème, et à utiliser le taux sans risque en supposant qu'il n'existe pas d'opportunité d'arbitrage.

L'approche « MAD » utilise également le taux sans risque, en s'appuyant sur le raisonnement suivant : lorsque l'on utilise le taux sans risque, on valorise l'option réelle *comme si* elle était cotée, de la même façon que le calcul de VAN est effectué en considérant la valeur du projet comme une mini-entreprise qui serait cotée sur les marchés financiers (Brealey & Myers, 2000 : 636-637). Toutefois, Borison note à juste titre que dans le cas de la VAN, on fait seulement l'hypothèse qu'il existe un actif financier ayant le même bêta que la valeur du projet, alors que dans le cas des options réelles, on fait l'hypothèse qu'il existe un actif financier ayant le même rendement que la valeur du projet, quel que soit l'état du monde.

Une autre approche (Trigeorgis, 1996 : 101) consiste à considérer que la présence d'un risque spécifique au projet, non coté sur les marchés financiers, doit être prise en compte à travers une prime de risque, qui vient réduire la valeur de l'option. En somme, le taux d'actualisation se situe quelque part entre le taux sans risque, et le WACC, mais les partisans de cette approche ne donnent aucune indication sur la façon de calculer la valeur de cette prime de risque.

Enfin, l'approche « intégrée » (Smith & Nau, 1995; Smith & McCardle, 1998) consiste à traiter de façon séparée les deux composantes du projet : la composante qui est soumise à un risque de marché peut être valorisée par la méthode « classique » en univers risque-neutre, tandis que la composante qui fait intervenir un risque spécifique au projet sera valorisée par des arbres de décision. Selon Borison, c'est cette approche qui paraît le plus satisfaisante. Néanmoins, il s'agit d'une méthode dont la mise en œuvre est très complexe.

De plus, Triantis (2005 : 12) indique que même lorsque le risque est coté sur les marchés financiers, le problème n'est pas complètement résolu. En effet, la maturité des contrats de *futures* sur lesquels on peut adosser le risque « public » du projet est typiquement nettement inférieure à la durée de vie du projet d'investissement. Par ailleurs, la liquidité du projet n'est pas aussi importante que celle des contrats de *futures* utilisés pour répliquer le risque « public » du projet.

D'après Triantis, la question du taux d'actualisation à utiliser pour la valorisation des options réelles n'est pas encore résolue.

La difficulté à estimer la valeur des paramètres est problématique, car ceux-ci ont un impact fort sur la valeur de l'option. Davis (1998) montre ainsi qu'une erreur dans l'estimation de la volatilité conduit à des erreurs importantes dans la valorisation de l'option. De même, à l'aide d'un exemple théorique, Borison (2005) illustre combien le choix des paramètres imposé par les différentes approches conduit à des différences dans la valorisation de l'option réelle et, *in fine*, dans la décision d'investissement.

L'implication stratégique de ce phénomène est double : d'une part, la valeur optionnelle des projets ne peut pas être estimée précisément. D'autre part, cela risque d'éveiller une certaine suspicion de la part des entreprises. Celles-ci ne percevront pas les options réelles comme un outil fiable, puisqu'il est facile de manipuler les données d'entrée, afin d'obtenir le résultat souhaité (Damodaran, 2000). La perception des options réelles comme un outil peu fiable a ainsi été identifiée dans l'étude de Hartman et Hassan (2006) comme l'un des obstacles à l'utilisation des options réelles.

Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, nous avons présenté les modèles de valorisation d'options. Nous avons tout d'abord dressé un panorama général des principaux modèles. Puis nous avons présenté en détails les plus utilisés d'entre eux, en décrivant notamment leurs hypothèses de départ, les paramètres d'entrée et le mécanisme permettant d'aboutir à la valeur d'option.

L'analyse de la littérature a révélé que ce sont ces modèles de valorisation d'options financières qui sont utilisés pour valoriser les options réelles. Or, nous montrons que l'analogie entre les options financières et les options réelles a des limites. Il en résulte que les modèles classiques de valorisation d'options financières sont **bien souvent inadaptés pour valoriser les options réelles.**

Plus précisément, nous avons identifié dans ce chapitre deux principales limites des modèles de valorisation classiques. D'une part, ceux-ci **reposent sur des hypothèses très simplistes, qui ne reflètent pas la complexité d'une décision d'investissement par une entreprise.** D'autre part, ces modèles **sont trop complexes pour être utilisés facilement et à bon escient par les managers en entreprise.**

La principale contribution des modèles classiques de valorisation d'option, et en particulier des modèles en temps continu, est sans doute d'avoir mis à jour certains phénomènes liés à la logique optionnelle. Par exemple, le modèle de McDonald et Siegel (1986) a permis de montrer que l'attente a de la valeur. Les auteurs ont ainsi démontré qu'il peut être bénéfique d'attendre, même si la VAN du projet étudié est positive.

En revanche, ces modèles sont largement inadaptés à la pratique en entreprise. La recherche sur les options réelles doit donc maintenant franchir une nouvelle étape, en développant des méthodes alternatives, qui permettent aux entreprises de valoriser leurs projets d'investissement en utilisant une logique optionnelle.

Lander et Pinches (1988 : 552) concluent à la **nécessité de développer des modèles alternatifs** pour la valorisation des options réelles. Plus spécifiquement, les auteurs indiquent que ces nouveaux modèles

- (1) doivent être faciles à comprendre et à mettre en œuvre ;
- (2) ne doivent pas être contraints par la nécessité de formuler des hypothèses spécifiques sur le processus stochastique suivi par le sous-jacent ;
- (3) doivent être capables de valoriser des opportunités d'investissement réelles, séquencées en plusieurs périodes, générant plusieurs options, comportant des sources d'incertitude multiples, générant des dividendes qui varient avec le temps et la valeur du projet, etc.
- (4) ... tout en rendant l'approche par les options réelles accessibles aux contrôleurs de gestion, aux managers opérationnels, aux responsables de la stratégie, et aux autres décisionnaires.

Triantis (2005) conclut également que le développement de modèles de valorisation adaptés aux options réelles est nécessaire, pour que celles-ci s'imposent dans le monde de l'entreprise. Comme Lander et Pinches, il indique que ces modèles devront être prudents dans la spécification du processus stochastique suivi par l'actif sous-jacent d'une option réelle. Triantis affirme lui aussi le besoin de simplification des modèles. Il estime que les chercheurs doivent mieux comprendre quelles sont les complexités des modèles de valorisation d'options réelles qui sont nécessaires pour aboutir à une valorisation correcte, et quelles sont les complexités qui vont à l'encontre de la transparence des modèles (p.15).

Forts de ce constat, **nous proposons dans le Chapitre 4 une approche alternative fondée sur les simulations de Monte Carlo.** Comme le suggère Triantis (2005 : 12), les modèles de valorisation d'option fondés sur les simulations de Monte Carlo présentent une grande souplesse d'utilisation. Ils permettent donc de s'adapter à la complexité d'une décision d'investissement par une entreprise, tout en étant faciles d'utilisation. Nous détaillons dans le chapitre suivant comment cette approche permet de satisfaire la plupart des critères énoncés par Lander et Pinches.

*Chapitre 4 –
Présentation des
méthodes de valorisation
basées sur les
simulations de Monte-
Carlo*

Introduction

Dans le Chapitre 3, nous avons vu que les modèles « classiques » de valorisation d'option, qu'il s'agisse de modèles en temps continu ou du modèle binomial et de ses dérivés, sont mal adaptés à la valorisation des options réelles.

En effet, il s'agit de modèles développés pour valoriser les options financières. Ces modèles s'appuient sur des hypothèses contraignantes, qui ne permettent pas de prendre en compte la complexité d'une décision d'investissement stratégique. D'autre part, ils exigent la maîtrise de connaissances mathématiques poussées, et ne sont donc pas facilement accessibles aux managers d'une entreprise.

En complément de ces modèles de valorisation d'option « traditionnels », la finance de marché a développé des méthodes de valorisation fondées sur les simulations de Monte Carlo. **Les simulations se révèlent particulièrement adéquates pour la valorisation d'options « exotiques », dont les variables d'état peuvent être multiples, et la structure des *pay-offs* complexe. Dans la mesure où les options réelles peuvent être assimilées à des options financières complexes, l'approche par les simulations de Monte Carlo apparaît prometteuse pour la valorisation des options réelles.**

Dans la première section de ce chapitre, nous explorons l'utilisation des simulations de Monte Carlo pour la valorisation d'option dans la littérature.

Dans un premier temps, nous présentons différents modèles utilisant les simulations de Monte Carlo pour valoriser les options financières, tout d'abord européennes puis américaines. Par la suite, nous étudions l'utilisation des simulations de Monte Carlo dans la littérature sur les options réelles. Nous analysons l'intérêt théorique des simulations pour valoriser les options réelles, et présentons cinq études de cas utilisant les simulations pour valoriser les options réelles.

Cette analyse révèle que les quelques publications ayant recours aux simulations de Monte Carlo pour valoriser les options réelles restent dans une logique très proche de la logique financière, et se restreignent à quelques thématiques bien précises.

Dans la deuxième section du chapitre, nous proposons donc une méthodologie de valorisation d'option par les simulations de Monte Carlo qui soit plus accessible, et plus adaptée aux caractéristiques des options réelles que les modèles directement issus des marchés financiers. Nous exposons tour à tour une méthode pour valoriser l'option simple européenne, l'option simple américaine et l'option composée.

SECTION 1 : UTILISATION DES SIMULATIONS DE MONTE CARLO PAR LES MODELES ACTUELS

I. Simulations de Monte Carlo et valorisation des options financières

I.1. Valorisation de l'option européenne

Les premiers travaux de valorisation des options financières au moyen des simulations de Monte Carlo sont ceux de Boyle (1977), qui a utilisé cette technique pour valoriser des options de type européen. La démarche consiste à simuler des trajectoires possibles de l'évolution du cours du sous-jacent. Si l'on fait l'hypothèse que celui-ci suit un Mouvement Brownien Géométrique (MBG), on peut simuler la trajectoire d'évolution du sous-jacent S en utilisant la relation suivante :

$$S_t = S_{t-1} e^{(r-\delta-\sigma^2/2+\sigma z)}, \text{ où } z \text{ est une variable stochastique suivant une loi normale centrée réduite.}$$

On obtient ainsi un ensemble de valeurs possibles du sous-jacent à l'échéance, à partir duquel on peut calculer la valeur de l'option.

D'après Boyle, les avantages de cette approche sont sa simplicité et sa flexibilité. En particulier, cette approche permet de très facilement prendre en compte différents processus d'évolution du sous-jacent. Par exemple, Boyle indique qu'à la place de l'hypothèse du MBG, on pourrait supposer, à l'instar de Merton (1976), que le sous-jacent suit un processus qui est la combinaison d'un processus continu de Gauss-Wiener, et d'un processus avec des sauts, correspondant à l'arrivée d'informations importantes affectant le cours de l'actif sous-jacent.

Par ailleurs, cette approche permet d'utiliser comme valeur de paramètre une distribution, et non pas une valeur unique. Ceci peut être particulièrement utile pour le paramétrage de la volatilité, qui est généralement estimée sur la base de données empiriques.

Boyle indique que cette approche permet de calculer non seulement la valeur de l'option, mais aussi son écart-type. On peut ainsi établir la précision de la valorisation. D'après l'auteur, le manque de précision est le principal inconvénient de la valorisation des options par les simulations de Monte Carlo. La précision peut être améliorée en augmentant le nombre de tirages, mais celui-ci peut alors devenir très important.⁷⁶ L'auteur suggère alors plusieurs techniques, permettant d'augmenter la précision de la valorisation de façon plus efficiente.

I.2. Valorisation des options de type américain

Après l'article fondateur de Boyle, l'utilisation des simulations de Monte Carlo par les marchés financiers est restée assez limitée, à la fois en raison de la lenteur du processus de calcul, et également parce que l'on estimait que cette méthode étaient inadaptée pour valoriser les options de type américain (Grant *et al.*, 1997).

Depuis, les progrès de l'informatique ont permis d'augmenter de façon très sensible la rapidité des calculs. Par ailleurs, différents chercheurs ont mis au point des algorithmes permettant de valoriser les options de type américain avec les simulations de Monte Carlo (Barraquand & Martineau, 1995; Broadie & Glasserman, 1997; Grant *et al.*, 1997; Rebonato & Cooper, 1998; Longstaff & Schwartz, 2001; Andersen & Broadie, 2004).

⁷⁶ Dans l'application numérique donnée par Boyle, il faut passer de 5 000 à 1 835 500 tirages pour faire passer l'intervalle de confiance à 95% de $\pm 0,958$ à $\pm 0,05$.

Grâce à sa flexibilité, l'approche par les simulations de Monte Carlo se révèle particulièrement efficace pour valoriser les options complexes. Elle permet ainsi de prendre en compte des sous-jacents multiples, des paramètres variant avec le temps, et une multitude de types d'incertitudes et de processus stochastiques suivis par le sous-jacent (Grant *et al.*, 1997 :1592).

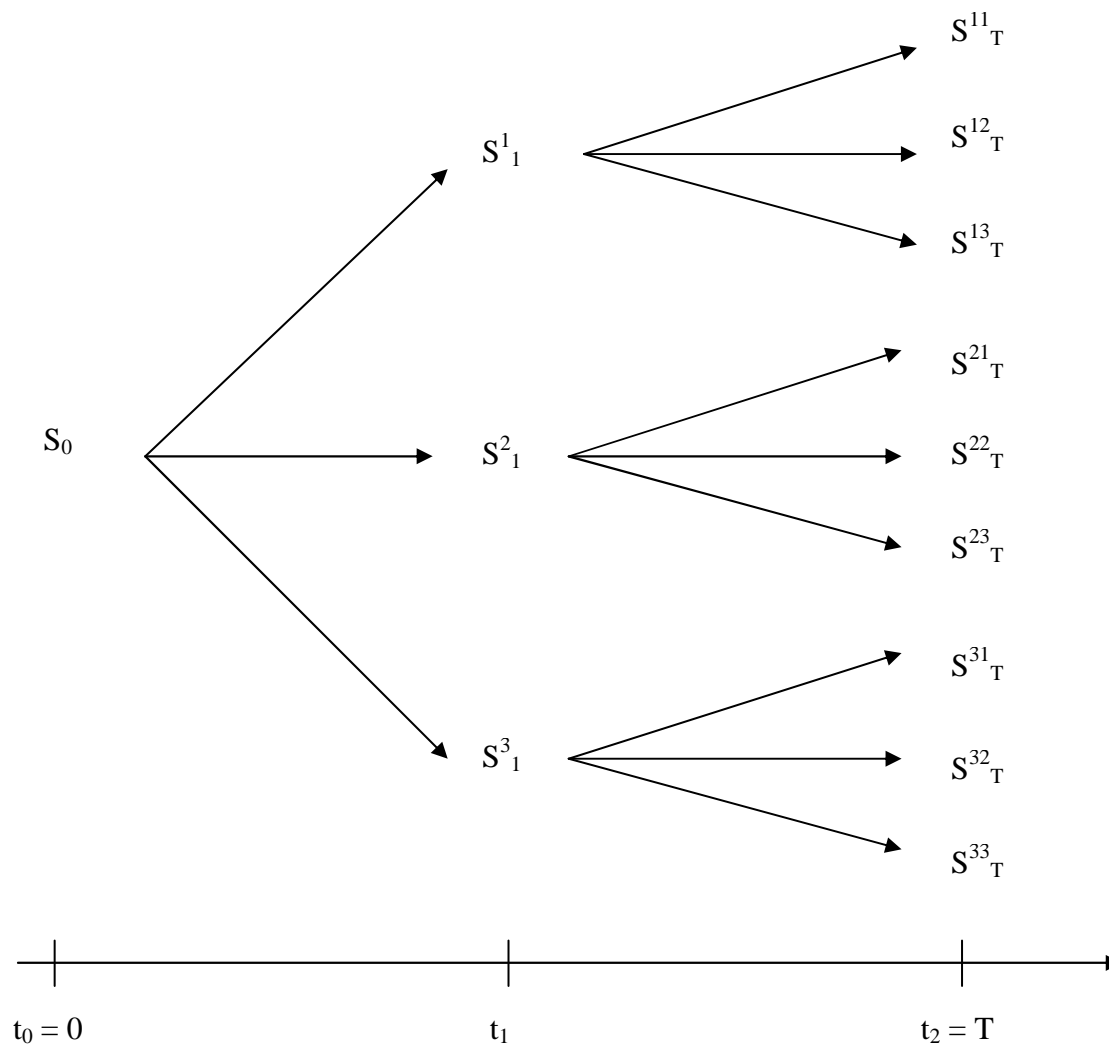
Nous présentons ici de façon plus détaillée le modèle de Broadie et Glasserman (1997) ainsi que le modèle de Longstaff et Schwartz (2001), que nous adapterons pour la valorisation des options réelles.

1.2.1. Le modèle de Broadie et Glasserman (1997)

Le modèle de Broadie et Glasserman (1997) permet de valoriser une option américaine en restreignant le problème à un nombre limité d'opportunités d'exercice anticipé de l'option.

La première étape consiste à modéliser un arbre d'évolution de la valeur du sous-jacent. La Figure 4.1. représente un modèle d'arbre à trois branches.

Figure 4.1 : Simulation d'un arbre d'évolution du sous-jacent à trois branches



Les connecteurs entre les nœuds représentent les liens de dépendance dans l'évolution du cours du sous-jacent. Par exemple, dans la Figure 4.1., les points S^1_T et S^{12}_T dépendent tous deux de S^1_1 , mais aucun ne dépend de S^2_1 .

Contrairement à un arbre binomial, les différents nœuds de l'arbre ne sont pas classés par ordre de valeur décroissant, mais par leur ordre de tirage.

Dans une deuxième étape, on calcule la valeur d'option. Le mode de calcul de l'option d'achat est exposé par les auteurs à l'aide d'un exemple numérique simple, représenté en Figure 4.2.

Figure 4.2 : Exemple de calcul de la valeur d'option américaine par le modèle de Broadie et Glasserman (estimateur haut)

A	B	C	D	E	F
2	Valeur du sous-jacent en t_0		S	101	
3	Prix d'exercice de l'option		K	100	
4	Taux d'actualisation		r	0	
5					
6	Arbre d'évolution du sous-jacent S				
7	t_0	t_1	t_2		
8	101	114	74		
9			88		
10			102		
11		50	38		
12			47		
13			65		
14		115	88		
15			149		
16			116		
17					
18					
19	Calcul de l'estimateur haut ☺			Ex. anticipé en t_1 ?	
20	11.9	14	0		OUI
21			0		
22			2		
23		0	0		NON
24			0		
25			0		
26		21.7	0		NON
27	= max (C14 - E\$3; moyenne (D26:D28))		49		
28			16		= max (D16 - E\$3;0)
29					

Comme dans l'arbre binomial, on procède en commençant par la fin, c'est-à-dire à la date d'échéance de l'option, ici en $T = t_2$.

- Pour chaque valeur du sous-jacent tirée en t_2 , on calcule alors le pay-off de l'option, qui est le maximum entre 0 d'une part, et la différence entre la valeur du sous-jacent et le prix d'exercice d'autre part.
- On se positionne ensuite à la précédente date à laquelle il est possible d'exercer l'option, ici en t_1 . Il s'agit de décider entre l'exercice anticipé de l'option ou le maintien en vie de l'option, sachant que la valeur attachée à chacune de ces deux alternatives est calculée comme suit :
 - Exercice anticipé : valeur du sous-jacent en t_1 – prix d'exercice de l'option (1) ;
 - Maintien en vie de l'option : moyenne des pay-offs observés en t_2 sur la branche considérée (2).

La valeur du nœud en t_1 correspond au maximum entre (1) et (2).

- On « remonte » ainsi l'arbre jusqu'en $t = 0$. La valeur obtenue en $t = 0$ correspond à la valeur de l'option pour le tirage réalisé. Dans l'exemple représenté en Figure 4.2, cette valeur est égale à 11,9.

La valeur de l'option américaine correspond alors à la moyenne des valeurs d'option obtenues au cours des n tirages.

Broadie et Glasserman notent toutefois qu'une telle approche tend à surestimer la valeur de l'option. Intuitivement, cela peut s'expliquer par le fait que la décision d'exercice anticipé en t_1 est ici fondée sur une connaissance parfaite de l'évolution du sous-jacent en t_2 , ce qui n'est pas le cas dans la réalité. Les auteurs affirment que le fait d'augmenter le nombre de simulations ne résout pas ce problème de biais. Ils proposent donc de calculer un estimateur biaisé par le bas, noté θ .

Figure 4.3 : Principe du calcul de l'estimateur bas

A	B	C	D	E	F	G	H
2	Valeur du sous-jacent		S	101			
3	Prix d'exercice de l'option		K	100			
4	Taux d'actualisation		r	0			
5							
6	Arbre d'évolution du sous-jacent S						
7	t_0	t_1	t_2				
8	101	114	74				
9			88				
10			102				
11		50	38				
12			47				
13			65				
14		115	88				
15			149				
16			116				
17							
18	Calcul de l'estimateur bas θ						
19		Pay-off moyen en t_1	Pay-off en t_2		Pay-off en t_1	Branches utilisées pour la décision d'exercice anticipé	Ex. anticipé en t_1 ?
20	8.1	14.0	0		14	2 et 3	OUI
21	= moyenne (F20:F22)		0		14	1 et 3	OUI
22			2		14	1 et 2	OUI
23		0.0	0		0	2 et 3	NON
24			0		0	1 et 3	NON
25			0		0	1 et 2	NON
26		10.3	0		0	2 et 3	NON
27	= moyenne (F26:F28)		49		15	1 et 3	OUI
28			16		16	1 et 2	NON
29							
30							

Pour calculer la valeur de l'estimateur bas de l'option américaine, Broadie et Glasserman procèdent de la façon suivante :

- A l'échéance (ici $T = t_2$), le pay-off de l'option est calculé comme pour l'estimateur haut (noté Θ).
- En t_1 , la décision d'exercice anticipé est prise en comparant :
 - le pay-off généré si l'option est exercée en anticipé
 - et
 - la valeur de l'option si celle-ci est maintenue en vie. Cette valeur correspond à la moyenne des pay-offs réalisés en t_2 sur deux branches.

- Si l'option est maintenue en vie, la valeur du nœud correspond au pay-off généré en t_2 sur la 3^{ème} branche.

Dans la mesure où l'on ne prend pas en compte toutes les branches pour décider du maintien en vie de l'option et déterminer la valeur du nœud correspondant, on procède de façon sub-optimale. La valeur d'option obtenue est donc biaisée par le bas.

Pour améliorer la précision de l'estimateur bas, ce calcul est effectué en prenant tour à tour la valeur de la 1^{ère}, puis la 2^{ème} puis la 3^{ème} branche pour calculer la valeur de continuation. La valeur du nœud correspond alors à la moyenne des résultats obtenus.

On procède de la même manière à chaque date pour laquelle il est possible d'exercer l'option en anticipé. Dans l'exemple donné en Figure 4.3, on obtient ainsi une valeur d'estimateur bas égale à 8,1.

Enfin, la valeur de l'option américaine correspond à la moyenne entre l'estimateur haut Θ et l'estimateur bas θ .

1.2.2. Le modèle de Longstaff et Schwartz (2001)

Comme pour Broadie et Glasserman, la façon la plus simple pour présenter le modèle de Longstaff et Schwartz (2001) est de reprendre l'exemple numérique donné par les auteurs.

La première étape consiste à simuler des trajectoires de la valeur du sous-jacent aux différentes dates où l'exercice anticipé de l'option est possible, et ce jusqu'à l'échéance de l'option.

Dans l'exemple donné par les auteurs, huit trajectoires sont ainsi simulées. Il s'agit de valoriser une option de vente sur une action ne versant pas de dividende.

Pour calculer la valeur d'option, on se positionne tout d'abord à la date d'échéance, ici $t = 3$, et l'on calcule le pay-off généré sur les différents tirages.

On se place ensuite à la date précédente à laquelle il est possible d'exercer l'option. Il s'agit là encore de comparer la valeur obtenue si on exerce l'option en anticipé, et si l'on maintient l'option en vie.

Le moyen trouvé par Longstaff et Schwartz pour estimer la valeur de continuation est de considérer l'ensemble des trajectoires, et d'effectuer une régression par les moindres carrés sur les valeurs obtenues.⁷⁷ La courbe de régression tracée est celle représentant le mieux possible un nuage de points dont les valeurs en abscisse correspondent au cours du sous-jacent au moment considéré, et les valeurs en ordonnée le pay-off réalisé à la période suivante, que l'on actualise au moment de la décision d'exercice.

Dans l'exemple donné par les auteurs, si l'on se place en $t = 2$, on considère un nuage de points dont les abscisses sont la valeur du sous-jacent en $t = 2$ (plage E8:E15 dans la Figure 4.4), et les ordonnées la valeur du pay-off en $t = 3$, actualisée en $t = 2$ (plage H19:H26 dans la Figure 4.4). Si l'on effectue une régression polynomiale d'ordre 2, la courbe obtenue la plus proche du nuage de points a pour équation: $y = -1,07 + 2,983 x - 1,813 x^2$.

C'est cette équation qui est utilisée pour déterminer la valeur de continuation en $t = 2$. Une fois que l'on dispose de la valeur de continuation, il est aisé de déterminer s'il est optimal ou non d'exercer l'option en anticipé.

On procède de la même manière à chaque date à laquelle il est possible d'exercer l'option en anticipé. On obtient ainsi une matrice, qui récapitule pour chaque trajectoire à quel moment l'option est exercée (si elle est exercée). Sur la Figure 4.4, cette matrice correspond à la plage B53:F60. On peut alors en déduire la matrice des cash-flows, en calculant la différence entre le prix d'exercice et le cours du sous-jacent au moment où est exercée l'option (plage H53:J60 sur la Figure 4.4).

⁷⁷ D'où le titre de l'article : « Valuing American Options by Simulation : A Simple Least-Square Approach »

Il ne reste plus qu'à actualiser ces cash-flows à la date $t = 0$. La moyenne des cash-flows obtenus sur les n tirages correspond à la valeur de l'option. Dans l'exemple donné par les auteurs, le put est ainsi valorisé à 0,1144.

Figure 4.4: Exemple de valorisation d'option par le modèle de Longstaff et Schwartz

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2	Option de vente américaine sur action ne versant pas de dividende									
3	Prix d'exercice		X		1.1					
4	Taux d'intérêt sans risque		r		6%					
5										
6	Evolution de la valeur du sous-jacent						Pay-off			
7	Tirage	t=0	t=1	t=2	t=3		t=3			
8	1	1.00	1.09	1.08	1.34		0			
9	2	1.00	1.16	1.26	1.54		0			
10	3	1.00	1.22	1.07	1.03		0.07			
11	4	1.00	0.93	0.97	0.92		0.18			
12	5	1.00	1.11	1.56	1.52		0			
13	6	1.00	0.76	0.77	0.9		0.20			
14	7	1.00	0.92	0.84	1.01		0.09			
15	8	1.00	0.88	1.22	1.34		0			
16										
17	Décision d'exercice anticipé en t=2									
18	Tirage		Exercice		Continuation		Y	X		
19	1		0.02		0.0370		0.00	1.08		
20	2									
21	3		0.03		0.0461		0.07	1.07		
22	4		0.13		0.1177		0.17	0.97		
23	5									
24	6		0.33		0.1520		0.19	0.77		
25	7		0.26		0.1565		0.08	0.84		
26	8									
27										
28	Cash-flows en t=2									
29	Path	t=0	t=1	t=2	t=3					
30	1			0.00	0					
31	2				0					
32	3			0.00	0.07					
33	4			0.13	0					
34	5			0.00	0					
35	6			0.33	0					
36	7			0.26	0					
37	8			0.00	0					
38										
39	Décision d'exercice anticipé en t=1									
40	Tirage		Exercice		Continuation		Y	X		
41	1		0.01		0.0139		0.00	1.09		
42	2									
43	3									
44	4		0.17		0.1093		0.12	0.93		
45	5									
46	6		0.34		0.2866		0.31	0.76		
47	7		0.18		0.1175		0.24	0.92		
48	8		0.22		0.1533		0.00	0.88		
49										
50										
51	Règle de décision						Cash-flows			
52	Tirage	t=0	t=1	t=2	t=3		t=1	t=2	t=3	
53	1		0	0	0		0	0	0	
54	2		0	0	0		0	0	0	
55	3		0	0	1		0	0	0.07	
56	4		1	0	0		0.17	0	0	
57	5		0	0	0		0	0	0	
58	6		1	0	0		0.34	0	0	
59	7		1	0	0		0.18	0	0	
60	8		1	0	0		0.22	0	0	

$$=D\$2 - D7$$

$$= -1.07 + 2.983 * D13 - 1.813 * D13^2$$

$$= H14 * \exp(-E\$4)$$

$$= \text{si}(F22 > D22; 0; D22)$$

$$= \text{si}(E35 <> 0; 0; H13)$$

$$=D\$2 - D11$$

$$= 2.038 - 3.335 * D15 + 1.356 * D15^2$$

II. Simulations de Monte Carlo et valorisation des options réelles

II.1. La place des simulations de Monte Carlo dans la littérature sur les options réelles

A première vue, les simulations de Monte Carlo semblent une approche particulièrement bien appropriée pour valoriser les options réelles.

En effet, nous avons vu que sur les marchés financiers, les simulations de Monte Carlo sont surtout utiles pour valoriser les options complexes (dites « exotiques »). Or, le Chapitre 3 a révélé que les options réelles peuvent être assimilées à des options complexes, du fait des multiples particularités d'un projet d'investissement.

De plus, les deux principaux inconvénients des simulations de Monte Carlo pour valoriser les options financières n'ont qu'une importance marginale pour la valorisation des options réelles.

En effet, la moindre rapidité des calculs – par rapport à des techniques numériques comme les différences finies par exemple – n'est pas problématique dans le cas d'une décision stratégique. Sachant que la préparation d'un investissement stratégique représente plusieurs mois d'efforts, peu importe que la conduite de simulations prennent quelques minutes, voire quelques heures de plus, que les méthodes « traditionnelles » de valorisation d'option.

L'autre inconvénient de l'approche par les simulations de Monte Carlo est leur manque de précision. Là encore, ce qui peut être crucial pour la valorisation d'une option financière, a peu d'importance pour la valorisation d'une option réelle. Etant donné le caractère très imprécis des éléments du business plan qui sont utilisés comme paramètres d'entrée pour le calcul d'option, il serait illusoire d'espérer atteindre une grande précision dans la valorisation d'une option réelle.

Il semble bien que les simulations de Monte Carlo soient déjà utilisées dans la pratique, notamment par les cabinets de conseil, pour valoriser les options réelles (Raynor, 2001 : 37 ; Triantis et al., 2003 : 16). En revanche, dans la littérature académique, l'intérêt de cette approche pour la valorisation des options réelles semble limité.

Dans la littérature sur les options réelles, les simulations de Monte Carlo sont un moyen d'estimer le paramètre de volatilité, qui est utilisé dans les arbres binomiaux. Cette technique est exposée par Copeland et Antikarov (2001). Elle a été utilisée dans des études de cas valorisant des options réelles (ex: Zettl, 2002; Miller *et al.*, 2004; Greden & Glicksman, 2005).

En revanche, les simulations de Monte Carlo sont relativement peu utilisées pour valoriser l'option elle-même.⁷⁸ Nous avons relevé cinq études de cas détaillées valorisant les options réelles au moyen de cette approche (Cortazar & Schwartz, 1998; Rose, 1998; Bengtsson & Olhager, 2002; Tseng & Barz, 2002; Nembhard *et al.*, 2003).

Rose (1998), utilise les options réelles pour valoriser des droits contractuels dans le cadre d'un grand projet d'infrastructure impliquant la construction et l'exploitation d'une autoroute à péage. La valeur de ces droits est soumise à une incertitude portant sur les volumes de trafic routier, ainsi que sur l'évolution des taux d'intérêt. Plus précisément, l'auteur valorise deux options de type européen⁷⁹, dont les décisions d'exercice sont interdépendantes.

La durée de la concession est de 33 ans et 6 mois. La première option donne le droit au gouvernement de reprendre gratuitement la concession à cinq dates anniversaires possibles,⁸⁰ dès lors que le taux de rendement interne (IRR) dégagé par l'investisseur est supérieur à 17,5%. La deuxième option donne le droit à l'investisseur de reporter le paiement de la redevance à la fin de la période de concession, tant que le taux de rendement interne reste inférieur à 10%.

⁷⁸ Cf. Chapitre 3, section 2, § 1.3. *Modèles les plus utilisés pour la valorisation des options réelles*

⁷⁹ Avec la particularité d'une durée jusqu'à l'échéance incertaine

⁸⁰ 25^{ème}, 27^{ème}, 29^{ème}, 31^{ème} et 33^{ème} années

Cortazar et Schwartz (1998) développent un modèle d'option permettant de valoriser un gisement de pétrole non développé, et de déterminer la date optimale d'investissement. La source d'incertitude prise en compte est l'évolution du cours du pétrole. Face à cette incertitude, il existe pour la compagnie pétrolière la possibilité de reporter le développement du gisement si le cours du pétrole est trop bas. Comme la décision de développer le gisement peut être prise à n'importe quelle date, l'option étudiée est de type américain. Ce type de problème est typiquement résolu en trouvant une solution numérique à l'équation aux différentielles partielles appropriée.⁸¹ Si l'on considère que l'option peut être exercée non pas en continu, mais à un nombre prédéterminé de dates futures, alors l'option peut être valorisée par les simulations de Monte Carlo.

Tseng et Barz (2000) ont recours aux options réelles pour valoriser une centrale thermique. L'exploitation d'une centrale est déterminée par l'évolution des prix de l'électricité, ainsi que du cours du fuel qui est consommé pour produire l'électricité. Si le prix du fuel est trop élevé par rapport aux prix de l'électricité, il est préférable d'interrompre temporairement le fonctionnement de la centrale. Une centrale peut donc être assimilée à une série d'options européennes sur le « spread » entre les prix du fuel et de l'électricité. Ces options sont interdépendantes, car la décision d'exploiter ou non la centrale dépend de son état antérieur.⁸² Le modèle d'option permet également de déterminer les règles optimales de mise en marche ou non de la centrale.

Bengtsson et Olhager (2002) valorisent la flexibilité de l'appareil de production, dans le cas d'une usine multi-produits. Étant donné la forte incertitude sur le volume de demande des différents produits, ils étudient l'intérêt d'investir dans des machines « flexibles », c'est-à-dire des machines pouvant fabriquer différents produits avec des coûts de changement moindres. Une telle machine peut être valorisée comme un portefeuille d'options européennes indépendantes, avec des maturités correspondant aux différentes périodes étudiées, et permettant, à chaque période, de déterminer les volumes de production des différents produits de façon à maximiser la valeur.

Nembhard *et al.* (2003) déterminent la valeur d'option de l'externalisation de la production. Les trois sources d'incertitude modélisées sont le coût de production en interne, le prix d'achat et le coût de livraison si la production est externalisée. À chaque période, l'entreprise peut comparer le coût de production interne avec la somme du prix d'achat et du coût de livraison. La possibilité d'externaliser la production peut ainsi être assimilée à un portefeuille d'options européennes indépendantes, de maturité correspondant aux différentes périodes étudiées, et dont l'exercice correspond à la décision d'externaliser si les coûts sont inférieurs aux coûts de production en interne.

II.2. Intérêt des simulations de Monte Carlo pour valoriser les options réelles

II.2.1. Possibilité de valoriser des options complexes

Dans ces cinq études de cas, le principal intérêt de recourir aux simulations de Monte Carlo pour valoriser l'option réelle réside dans la flexibilité de cette approche, et sa capacité à prendre facilement en compte la complexité d'une décision d'investissement.

Par exemple, la valorisation d'une centrale thermique comme un portefeuille d'options sur le « spread » entre le cours de l'électricité et du fuel avait déjà été réalisée à l'aide de modèles d'option « classiques » par Hsu (1998), ainsi que par Deng *et al.* (1998). Mais ces modèles n'ont pas permis de prendre en compte les contraintes opérationnelles d'une centrale thermique, notamment le fait qu'elle ne peut pas être mise en route de façon instantanée, et qu'il existe une durée minimale au cours de laquelle la centrale reste arrêtée ou en état de fonctionnement. Grâce aux simulations de Monte Carlo,

⁸¹ Cf. Chapitre 3, section 1, § I.1. *Les modèles en temps continu*

⁸² C'est-à-dire du fait que la centrale était ou non en fonctionnement au cours de la période précédente

Tseng et Barz (2002) ont pu prendre en compte ces contraintes. Ils montrent que le fait d'ignorer ces contraintes peut conduire à une surestimation importante de la valeur de la centrale.

De façon similaire, Bengtsson et Olhager (2002) indiquent que les précédentes publications fondées sur des méthodes de valorisation d'option « classiques » (ex: Andreou, 1990; Triantis & Hodder, 1990; Kulatilaka, 1995) n'avaient permis de valoriser la flexibilité de production qu'au prix d'une forte simplification du problème. Soit le nombre de produits fabriqués était limité à deux, soit les limites de capacités et/ou les coûts de changement correspondant aux coûts de réglage n'étaient pas pris en compte. D'après Bengtsson et Olhager, de tels modèles ne correspondent pas à la réalité d'une unité de production, et sont d'une utilité pratique restreinte pour les entreprises concernées. En conséquence, en se basant sur une étude de cas réelle chez ABB Motors AB, les auteurs ont eu recours aux simulations de Monte Carlo pour intégrer dans un même modèle les contraintes opérationnelles, et la possibilité de fabriquer de multiples produits.

Nembhard *et al.* (2003) indiquent quant à eux que les simulations de Monte Carlo leur ont permis de développer un modèle d'option intégrant trois sources d'incertitude. Dans une précédente publication (Nembhard *et al.*, 2002), les auteurs avaient développé un modèle de valorisation d'option réelle fondé sur les arbres multinomiaux. Ils avaient constaté que cette approche ne permet pas de modéliser plus de deux sources d'incertitude, car l'arbre devient alors très complexe au bout de quelques périodes. De même, Cortazar et Schwartz (1998) considèrent que le principal intérêt de recourir aux simulations de Monte Carlo est de pouvoir intégrer de nombreuses sources d'incertitude. Dans leur application numérique, les auteurs ne prennent en compte que l'incertitude sur le prix du pétrole, mais ils auraient très facilement pu modéliser l'incertitude sur l'importance des réserves, sur les coûts de production, etc.

Enfin, Rose (1998) montre que les simulations de Monte Carlo sont particulièrement indiquées pour valoriser une option dont le « pay-off » est complexe : c'est le cas de la deuxième option qu'ils étudient, dont l'exercice est soumis à un ensemble de règles contractuelles.⁸³

II.2.2. Autres avantages des simulations de Monte Carlo

En-dehors de la capacité à valoriser des options complexes, les simulations de Monte Carlo présentent plusieurs avantages pour la valorisation des options réelles.

Elles permettent d'introduire assez facilement des processus stochastiques autres que le Mouvement Brownien Géométrique.

Par exemple, Cortazar et Schwartz (1998), ainsi que Tseng et Barz (2002) utilisent un processus stochastique incorporant un phénomène de retour à la moyenne. Tseng et Barz, tiennent compte en plus d'un phénomène de saisonnalité.

Un changement très important apporté par les simulations de Monte Carlo par rapport aux méthodes classiques de valorisation d'option est que ce ne sont pas les cash-flows finaux dont l'évolution est modélisée, mais plutôt la ou les source(s) d'incertitude. Pour les options financières, la source d'incertitude et le cours de l'actif sous-jacent ne forment qu'une seule et même variable. En revanche, pour les options réelles, l'actif sous-jacent correspond aux cash-flows finaux générés par le projet d'investissement. Ces cash-flows sont eux-mêmes fonction d'une ou plusieurs source(s) d'incertitude. La modélisation de l'évolution des sources d'incertitude, et non pas du sous-jacent lui-même, présente des implications importantes en termes de valorisation. Tout d'abord, elle permet d'obtenir un modèle plus réaliste : si les sources d'incertitude sont multiples, on peut choisir pour chaque source d'incertitude le processus stochastique le plus adapté, plutôt que de « plaquer » un processus global pour l'ensemble des cash-flows. La modélisation, et en particulier l'estimation de la volatilité, est par ailleurs facilitée, car elle peut – au moins pour certaines sources d'incertitude – s'appuyer sur des

⁸³ IRR < 10% ; montant total du paiement, si celui-ci ne peut plus être reporté, égal au maximum à 30% des cash-flows distribuables de l'année précédente, etc.

données historiques. Ainsi, Tseng et Barz (2002) ont utilisé des historiques des cours de l'électricité et du fuel pour déterminer et calibrer le processus stochastique correspondant le mieux à la réalité.

Par ailleurs, les simulations de Monte Carlo permettent de valoriser des options qui sont en interaction. Nous avons indiqué dans le Chapitre 3 qu'un projet d'investissement donne souvent lieu à plusieurs options réelles, qui sont interdépendantes.⁸⁴ La valorisation de ces interdépendances est problématique, et Rose (1998) a trouvé une solution grâce à l'utilisation des simulations de Monte Carlo.

Dans son étude de cas, les interactions sont doubles : l'exercice de la première option conduit à une diminution de la durée de vie de la deuxième option. Inversement, l'exercice de l'option 2 vient augmenter l'IRR pour l'investisseur, et donc accroître la probabilité d'exercice de la première option. L'auteur résout le problème en simulant les pay-off des deux options simultanément. Il montre que la prise en compte des interactions a un impact très important sur la valeur d'option.

Enfin, Brodie et Glasserman (1997 : 1342) suggèrent que cette approche permet d'incorporer la possibilité de choisir entre plusieurs possibilités à l'échéance de l'option, et non pas seulement deux (exercice ou non). Par exemple, le management peut avoir l'opportunité de choisir entre le lancement d'un projet suivant le scénario « de base », ou bien un lancement à une plus grande échelle ou au contraire un lancement réduit à un ou plusieurs degrés, ou encore l'abandon pur et simple du projet.

II.3. Une approche plus flexible, mais encore peu facile d'accès

Nous avons vu que, par rapport aux modèles « classiques » de valorisation d'option, l'approche par les simulations de Monte Carlo permet une valorisation plus adéquate. En effet, cette approche permet d'une part de prendre en compte les particularités de la décision d'investissement étudiée, et d'autre part de modéliser les sources d'incertitude, et non pas les cash-flows finaux.

Néanmoins, il faut noter que dans la littérature académique, l'utilisation des simulations de Monte Carlo pour valoriser les options réelles s'est effectuée selon un mode encore peu facile d'accès, et sans doute mal adapté à l'univers de l'entreprise.

En effet, dans les cinq études de cas détaillées précédemment, l'approche a consisté dans un premier temps à modéliser l'évolution de la source d'incertitude à l'aide d'une équation. Par exemple, nous avons vu au début de ce chapitre que si la source d'incertitude S suit un Mouvement Brownien Géométrique, alors l'évolution de sa valeur peut être modélisée à l'aide de la relation suivante :

$$S_t = S_{t-1} e^{(r-\delta-\sigma^2/2+\sigma z)}, \text{ où } z \text{ est une variable stochastique suivant une loi normale centrée réduite.}$$

Toutes ces études de cas ont été réalisées pour traiter des problématiques bien précises, dans lesquelles il était nécessaire de connaître la valeur du sous-jacent à un nombre important de points dans le temps. C'est notamment le cas lorsque l'on a recours aux options pour valoriser un actif présentant une flexibilité opérationnelle (Tseng et Barz, 2000 ; Bengtsson et Olhager, 2002 ; Nembhard *et al*, 2002). Dans le cas de Cortazar et Schwartz (1998), cette modélisation était nécessaire car l'option étudiée était de type américain. Enfin, pour Rose (1998) la durée de vie de l'option européenne était inconnue, avec plusieurs dates d'échéance possibles.

La modélisation sous forme d'une équation était sans doute nécessaire dans les contextes bien particuliers de ces études de cas. Néanmoins, elle rend cette approche difficilement utilisable dans

⁸⁴ Cf. Chapitre 3, section 2, § I. *Principaux obstacles à la valorisation des options réelles*

l'entreprise, car les managers sont réticents à utiliser des modèles trop formalisés sur le plan mathématique.

Même si l'approche proposée dans ces études de cas permet une plus grande souplesse que les modèles « classiques » de valorisation d'option, nous nous trouvons encore dans une logique assez proche de celle des marchés financiers.

Dans la section suivante, nous proposons une méthode de valorisation d'option par les simulations de Monte Carlo plus simple, et donc plus adaptée au monde de l'entreprise.

SECTION 2 : PROPOSITION D'UN MODELE SIMPLIFIE BASE SUR LES SIMULATIONS DE MONTE CARLO

Dans cette section, nous proposons d'aménager les modèles de valorisation par les simulations de Monte Carlo développés sur les marchés financiers. Cette approche été développée avec le souci de répondre à trois principaux objectifs :

- (i) Etre utilisable par un large public, sans nécessité de connaissances mathématiques particulières ;
- (ii) Se baser sur des paramètres correspondant à une réalité concrète pour les managers, et dont la valeur peut donc être estimée ;
- (iii) Reposer sur des hypothèses de travail réalistes, en évitant notamment d'imposer des processus stochastiques précis suivis par les sources d'incertitude.

Dans cette optique, la principale modification effectuée par rapport aux modèles financiers est de ne pas formaliser l'évolution dans le temps des sources d'incertitude sous forme d'une équation. Dans le cas de l'option européenne, l'approche simplifiée se contente de modéliser la distribution du sous-jacent à l'échéance. Dans le cas de l'option américaine et de l'option composée, la valeur prise par le sous-jacent aux dates intermédiaires est modélisée grâce à l'utilisation d'un mécanisme d'auto-corrélation.

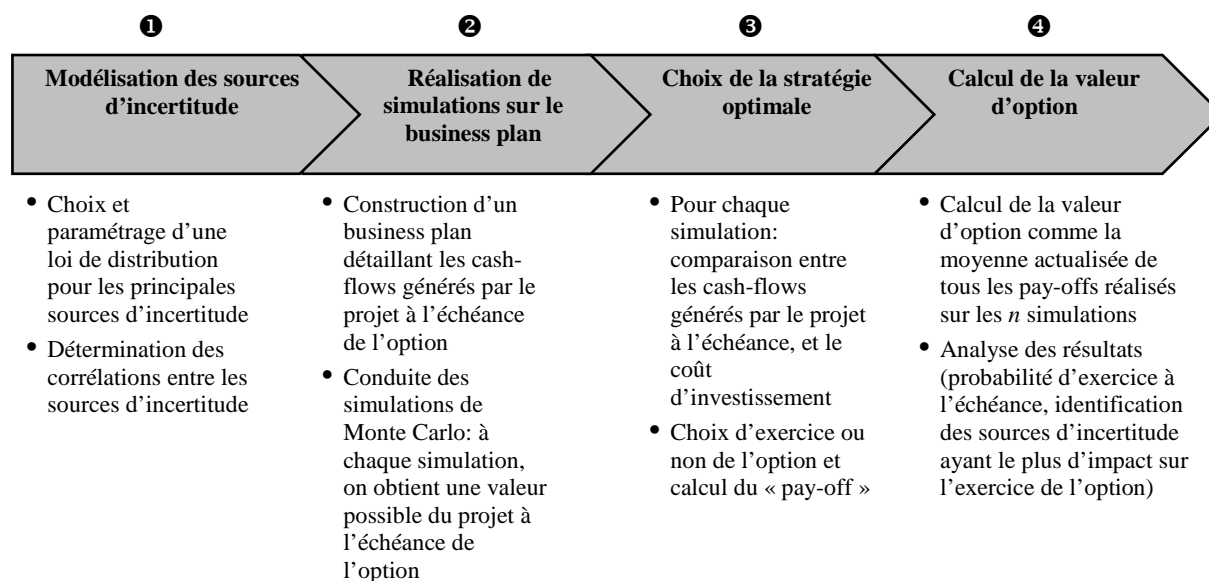
I. Valorisation de l'option européenne par les simulations de Monte Carlo

Pour valoriser une option de type européen, la méthode des simulations de Monte Carlo procède en quatre grandes étapes (Figure 4.5). Les simulations de Monte Carlo sont réalisées à l'aide d'un logiciel conçu pour s'intégrer à un tableur Excel. Les logiciels de simulations de ce type les plus connus sont « *Crystal Ball* »⁸⁵ et « *At-risk* »⁸⁶.

⁸⁵ Edité par la société Decisioneering ; il s'agit du logiciel que nous avons utilisé pour réaliser les études de cas de cette thèse.

⁸⁶ Edité par la société Palisade

Figure 4.5. Représentation schématique de la méthode de valorisation d'une option réelle européenne par les simulations de Monte Carlo



Etape 1 : Modélisation des sources d'incertitude

La première étape consiste à modéliser les sources d'incertitude du projet d'investissement. La méthodologie suivie est identique à celle présentée par Copeland et Antikarov (2001 : 244-269) pour calculer la volatilité d'un projet.

Le point de départ est le business plan représentant les cash-flows générés par le projet d'investissement à l'échéance de l'option. Après avoir identifié les principales sources d'incertitude du projet, il s'agit de préciser la loi de distribution de ces variables à l'échéance de l'option. La Figure 4.6 représente un exemple de business plan. Les cellules grisées correspondent à des variables incertaines sur lesquelles les simulations de Monte Carlo seront réalisées. Il s'agit dans cet exemple de l'ARPU (Average Revenue Per Unit) Voix et Données, ainsi que de la date de lancement d'un nouveau produit par le principal concurrent.

Figure 4.6. : Exemple de représentation d'un business plan et de ses sources d'incertitude

A	B	C	D	E	F	G	H	I
2	en U.M.		2006	2007	2008	2009	2010	2011
3								
4								
5	Date de lancement par le principal concurrent			juin-07				
6								
7								
8	Population		61 852	62 032	62 212	62 392	62 572	62 752
9	Taux d'équipement		71.4%	72.4%	74.5%	75.0%	75.1%	75.1%
10	Nb. de cartes SIM		1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
11	Part de marché		49.0%	48.5%	47.8%	46.7%	45.9%	45.0%
12	Taux de rétention		90%	92%	90%	91%	93%	95%
13	Nb. de clients (fin année)		21.4	22.0	22.0	22.0	22.0	22.2
14								
15	Chiffre d'affaires réseau		8 837	8 908	9 059	9 062	8 984	8 948
16	ARPU Voix		28.5	27.8	27.1	26.4	25.7	25.0
17	ARPU Données		6.4	6.4	7.2	7.9	8.3	8.7
18	ARPU Total		34.9	34.2	34.3	34.3	34.0	33.7
19	Autres revenus		243	308	257	327	367	504
20	Chiffre d'affaires total		9 080	9 216	9 316	9 389	9 351	9 452
21								
22	Dépenses opérationnelles		5 809	5 982	6 062	6 094	6 045	6 011
23	EBITDA		3 271	3 234	3 254	3 295	3 306	3 441
24								
25	CAPEX		1 052	1 222	1 153	769	772	830
26								
27	CF Opérationnels		2 219	2 012	2 101	2 526	2 534	2 611

Un des intérêts de l'approche proposée ici est de modéliser l'incertitude sur Excel, directement à partir du business plan élaboré par les managers. Il n'est donc pas nécessaire d'imposer aux managers l'utilisation d'un logiciel spécifique. De plus, l'analyse optionnelle constitue ainsi le prolongement du business plan et du calcul de VAN. Ceci présente deux principaux avantages :

- Les options réelles sont perçues comme une façon de sophistication le calcul de VAN, et non comme un outil nouveau remettant en cause les méthodes existantes. De cette façon, il est plus probable que les options réelles seront acceptées et utilisées par les décideurs.
- Cette approche permet d'intégrer dans l'analyse optionnelle l'ensemble des hypothèses développées dans le cadre du business plan. L'analyse optionnelle ne se fait donc plus au prix d'une simplification des données du problème, comme c'est le cas avec les modèles de valorisation d'option « classiques ».

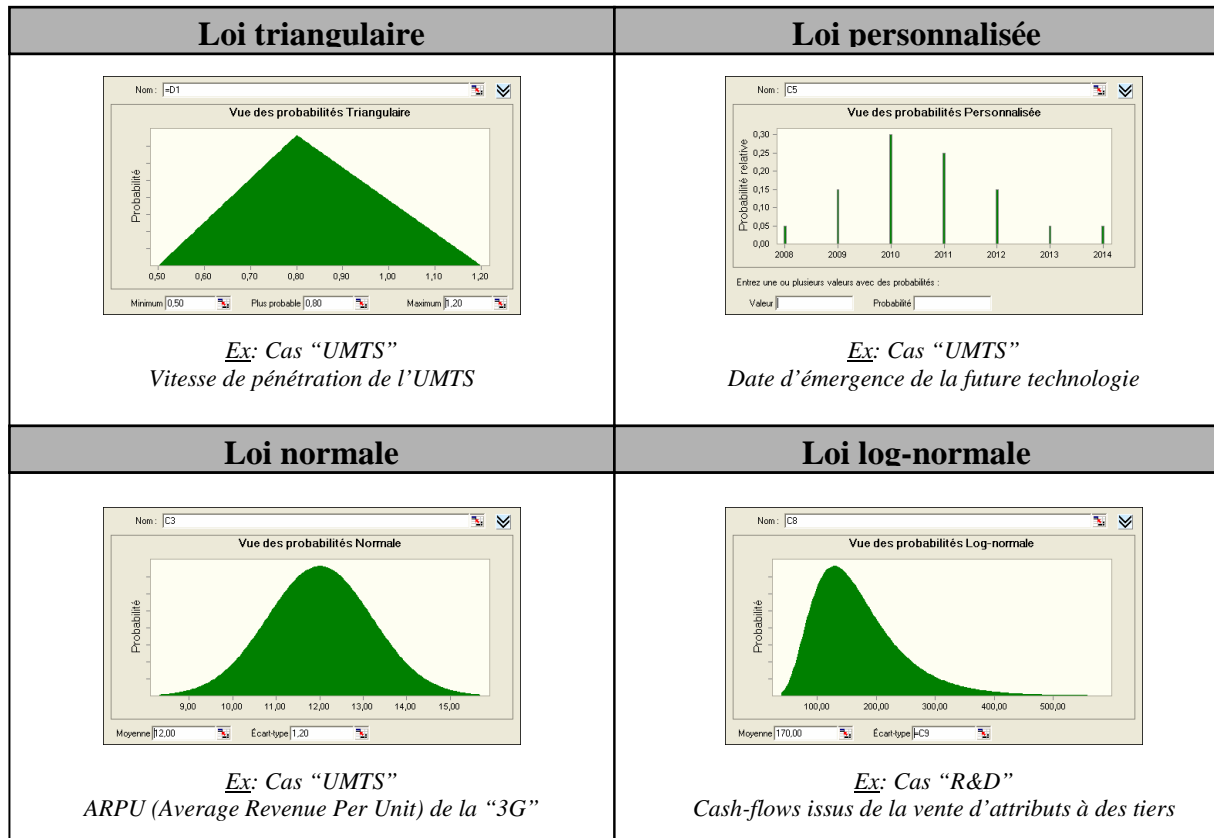
La modélisation des sources d'incertitude avec un logiciel comme Crystal Ball s'effectue de façon intuitive et conviviale. Contrairement aux méthodes de valorisation d'option présentées jusqu'à présent, cette approche ne nécessite pas de connaissance mathématique particulière. La modélisation est facilitée par l'interface graphique, ainsi que par la grande souplesse dans le choix des paramètres décrivant une loi de distribution.

Par exemple, si la loi de distribution choisie est la loi normale, le manager pourra la paramétrer de plusieurs manières : soit en indiquant la moyenne et l'écart-type de la variable incertaine, soit en précisant la valeur minimale et la valeur maximale de la variable incertaine, pour un intervalle de confiance de son choix (par exemple 95%). Si le manager estime que la distribution de la variable aux extrêmes n'est pas réaliste, il pourra également tronquer la distribution (à gauche, à droite ou aux deux extrémités) grâce à l'interface graphique.

Si des données historiques sur les variables incertaines sont disponibles, le logiciel peut même déterminer la loi de distribution la plus adéquate, ainsi que les paramètres correspondants.

Les logiciels de simulations de Monte Carlo proposent un large choix de lois de distribution. Il peut s'agir de lois de distribution continues (exemple : loi normale, log-normale, uniforme, Weibull, Beta, Gamma, logistique, Pareto, etc.) ou de lois personnalisées, qui peuvent être particulièrement utiles dans le cadre d'un projet d'investissement. Les lois de distribution les plus courantes sont représentées dans la Figure 4.7.

Figure 4.7 : Lois de distribution de probabilité les plus courantes



Une fois les sources d'incertitude modélisées, il faut indiquer les éventuelles corrélations entre les différentes sources d'incertitude. Par exemple, on pourra indiquer qu'il existe une corrélation négative entre le prix de vente et les volumes vendus.

D'autre part, il faut tenir compte des phénomènes d'auto-corrélation que l'on peut observer lorsqu'une source d'incertitude est modélisée sur plusieurs années. Par exemple, si l'on modélise comme une source d'incertitude le volume de vente au cours des années 1, 2, 3 ... n , on peut considérer qu'il existe une forte corrélation entre ces variables. Copeland et Antikarov (2001 : 253-254) suggèrent typiquement un taux d'auto-corrélation de 90%. Intuitivement, cela peut s'expliquer de la façon suivante : si la variable incertaine se révèle être dans le haut de la fourchette d'estimation pour l'année n , alors il y a toute chance que cela soit également le cas pour l'année $n+1$, et inversement si l'on se trouve plutôt dans le bas de la fourchette.

Etape 2 : Simulations des valeurs possibles du projet à l'échéance de l'option

La deuxième étape consiste à simuler les valeurs possibles du projet à la date d'échéance de l'option.

Il faut pour cela construire un business plan représentant les flux dégagés par le projet si celui-ci est lancé à la date d'échéance de l'option.

En particulier, dans le cas de l'option de report, on peut observer des différences entre le business plan du projet si celui-ci est lancé immédiatement ou bien s'il est lancé avec une ou plusieurs années de retard. Nous avons expliqué dans le Chapitre 3 que l'effet combiné de ces différences peut être assimilé, dans le cas des options financières, au dividende versé par l'action sous-jacente.⁸⁷

Une fois que l'impact du dividende sur le business plan a été modélisé, on peut procéder à la réalisation des simulations de Monte Carlo. Le logiciel permet de générer des tirages des variables aléatoires suivant les lois de probabilités que l'on a définies précédemment.

Dans l'exemple donné en Figure 4.2, à chaque tirage est affectée une valeur à la cellule E5 (date de lancement d'un nouveau produit par le principal concurrent), ainsi qu'aux cellules de la plage D16 :I17 (ARPU voix et données pour les années 2007-2011). Les valeurs prises par ces cellules impactent ensuite les autres lignes du business plan, si bien qu'à chaque tirage on peut associer un flux de cash-flows générés par le projet.

De façon similaire, si le coût d'investissement du projet est incertain, on peut en simuler différentes valeurs possibles. Les simulations de Monte Carlo permettent ainsi de valoriser une option réelle dont le prix d'exercice est aléatoire.

Etape 3 : Choix de la stratégie optimale à l'échéance, et calcul du pay-off

Pour chaque tirage réalisé, on dispose maintenant du coût d'investissement nécessaire pour lancer le projet (noté K), et de la valeur des cash-flows générés par le projet si celui-ci est lancé à la date d'échéance T (notée S_T).

Il suffit alors de comparer les valeurs K et S_T pour déterminer s'il faut ou non exercer l'option. On peut ainsi pour chaque tirage calculer la valeur du « pay-off » de l'option, qui est égal à $\max (S_T - K ; 0)$.⁸⁸

Comme nous l'avons indiqué précédemment, les simulations de Monte Carlo offrent également la possibilité de comparer plusieurs modalités d'exercice à l'échéance de l'option.⁸⁹ Par exemple, au lieu de lancer le projet dans sa totalité, on peut envisager de ne le déployer que sur la moitié du territoire. Notons S'_T la valeur des cash-flows dégagés par cette stratégie, et K' le coût d'investissement correspondant. On peut alors déterminer la stratégie optimale comme celle correspondant au $\max (S_T - K ; S'_T - K' ; 0)$.

Etape 4 : Calcul de la valeur d'option

Nous pouvons maintenant calculer la valeur de l'option. Celle-ci correspond tout simplement à la moyenne des pay-offs calculés en étape 3 pour chacun des tirages réalisés. Le pay-off ayant été calculé à la date de l'échéance de l'option, il suffit ensuite d'actualiser à la date d'aujourd'hui la moyenne ainsi obtenue afin d'obtenir la valeur de l'option.

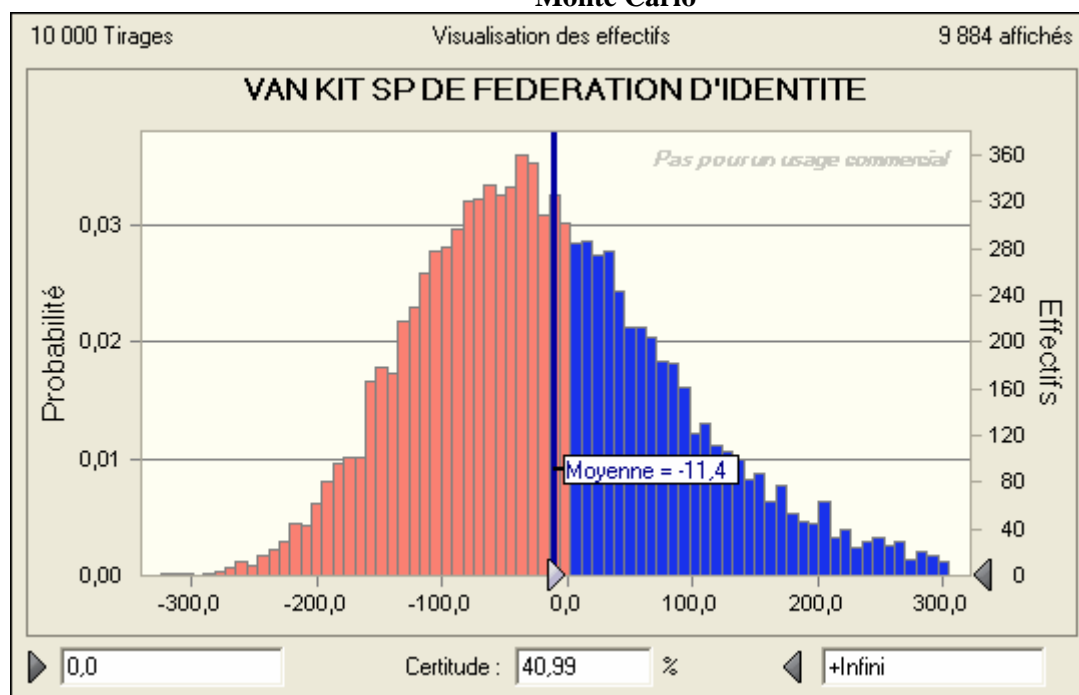
⁸⁷ Cf. Chapitre 3, Section 2, § II.2.3. Des modèles de valorisation fonctionnant comme des « boîtes noires ».

⁸⁸ Si l'option réelle correspond à une option d'achat (« call »). S'il s'agit d'une option de vente (« put »), le pay-off est défini comme $\max (K - S_T ; 0)$.

⁸⁹ Cf. Section 1, § II.2.2. Autres avantages des simulations de Monte Carlo

La Figure 4.8 donne l'exemple d'une représentation graphique des résultats de simulations de Monte Carlo. Le graphique représente la distribution de la VAN du projet sur 10 000 tirages réalisés. La valeur d'option correspond à la moyenne de la zone hachurée en gris foncé, c'est-à-dire de la zone où la VAN du projet est positive.

Figure 4.8 : Représentation graphique du calcul de la valeur d'option par les simulations de Monte Carlo



Les exemples donnés dans la littérature indiquent de grandes variations dans le nombre de tirages réalisés pour calculer la valeur d'option. Ainsi, Bengtsson et Olhager (2002) ont effectué 1 000 tirages, contre 5 000 tirages pour Nembhard *et al* (2003) et 100 000 pour Rose (1998).⁹⁰

Pour les études de cas réalisées dans le cadre de cette thèse, nous avons constaté qu'un nombre assez limité de tirages (environ 5 000) était suffisant. En effet, l'augmentation du nombre de tirages ne venait pas modifier la valeur d'option. Rose (1998) indique qu'avec 100 000 tirages, la précision obtenue est excellente. Il faut toutefois garder en tête que, dans le cas des options réelles, une grande précision peut être assez illusoire, étant donnée la grande imprécision des paramètres d'entrée, qui correspondent à l'estimation des cash-flows moyens générés par le projet.

Datar et Mathews (2004) proposent une méthodologie similaire à celle exposée ci-dessus. Ils démontrent que les résultats obtenus par cette approche sont identiques à ceux donnés par la formule de Black et Scholes, si on choisit une loi de distribution du sous-jacent correspondant aux hypothèses du modèle de Black & Scholes.

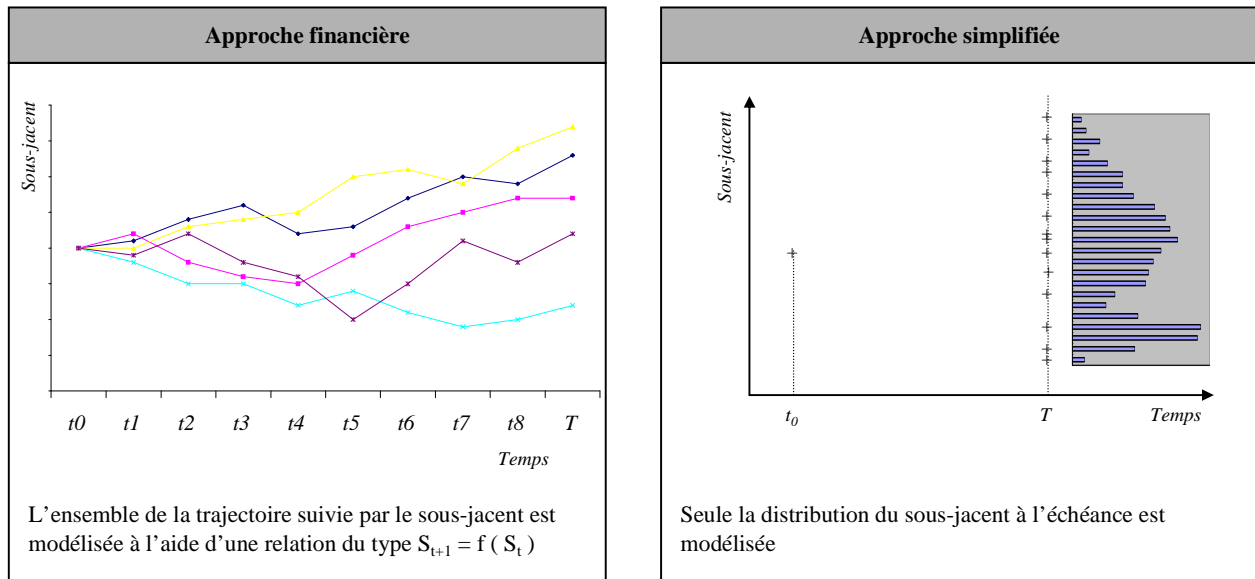
⁹⁰ Pour le calcul de la volatilité, Copeland et Antikarov (2001 : 250) effectuent généralement 1000 tirages.

II. Valorisation de l'option américaine par les simulations de Monte Carlo

II.1. Simulation de l'évolution du sous-jacent dans le temps

Dans le cas de l'option européenne, nous avons pu développer une méthode de valorisation d'option simplifiée par rapport aux modèles financiers, en nous concentrant sur la distribution du sous-jacent à l'échéance de l'option (Figure 4.9).

Figure 4.9: Principale différence entre l'approche financière et l'approche simplifiée pour la valorisation d'option par les simulations de Monte Carlo



En effet, la valeur de l'option européenne est calculée uniquement sur la base des « pay-offs » réalisés à l'échéance, indépendamment de la trajectoire suivie par le sous-jacent entre l'achat de la prime d'option et l'échéance de l'option.

Dans le cas des options réelles, l'intérêt de ne modéliser que la distribution du sous-jacent à l'échéance est double :

- Tout d'abord, ceci évite d'imposer des hypothèses pas nécessairement adéquates sur le processus stochastique suivi par les sources d'incertitude. Sur ce point, le modèle proposé ici est conforme à la recommandation de Lander et Pinches (1988).⁹¹
- D'autre part, cette approche rend la valorisation de l'option beaucoup plus accessible : elle ne requiert pas de connaissances mathématiques particulières, et permet de facilement paramétrer le modèle.

Prenons l'exemple d'une incertitude portant sur le nombre de clients d'un nouveau produit s'il est lancé dans 18 mois. L'approche « financière » consiste à identifier un processus stochastique décrivant l'évolution de cette variable entre aujourd'hui et dans 18 mois, et à le paramétrer. Si par exemple on suppose que le nombre de clients suit un Mouvement Brownien Géométrique, avec

une relation du type $S_t = S_{t-1} e^{(r - \delta - \sigma^2/2 + \sigma z)}$, alors il faudra déterminer la valeur du paramètre

de volatilité σ dans ce processus. C'est faisable lorsque la source d'incertitude est cotée sur les marchés financiers, mais beaucoup plus hasardeux dans le cas contraire.

⁹¹ Cf. Chapitre 3, Conclusion du chapitre

A l'inverse, la méthode de valorisation proposée dans ce chapitre nécessite simplement de la part du manager de choisir une loi de distribution et d'estimer, dans un intervalle de confiance donné, le nombre minimal et maximal de clients pour le lancement du nouveau produit dans 18 mois.

Dans le cas de l'option américaine – et nous verrons plus loin de l'option composée – l'analyse est plus compliquée, car il faut modéliser l'évolution du sous-jacent à des dates intermédiaires, correspondant aux dates auxquelles le détenteur de l'option a la possibilité de l'exercer de façon anticipée.

Dans certains cas, il peut être nécessaire de modéliser l'évolution du sous-jacent à de nombreux points dans le temps. Nous avons vu avec l'exemple de Tseng et Barz (2000)⁹² que la valorisation d'un actif de production disposant d'une option de flexibilité opérationnelle nécessite de simuler l'évolution du sous-jacent à de nombreux points dans le temps. Dans de tels cas de figure, l'approche la plus adéquate est sans doute de modéliser l'évolution des sources d'incertitude à l'aide d'une équation. Cette approche est d'autant plus justifiée lorsque les sources d'incertitude sont des données observables – comme le prix de l'électricité ou du fuel – sur lesquelles on dispose de données historiques, permettant de déterminer quel est le processus d'évolution le plus approprié.

Néanmoins, ceci ne concerne qu'une partie des options réelles. Lorsque l'option étudiée n'est pas une option de flexibilité, mais une option d'investissement (ou de désinvestissement),⁹³ il est raisonnable de penser que l'entreprise ne disposera que d'un nombre limité de points dans le temps auxquels l'exercice anticipé de l'option sera envisageable. Ceci tient au caractère discontinu de la décision d'investissement stratégique : en raison de la complexité de la décision, ainsi que de l'envergure des moyens à mettre en œuvre pour lancer un projet, une décision d'investissement stratégique n'est pas examinée en permanence.

En conséquence, il nous a paru plus approprié au monde de l'entreprise de développer un modèle dans lequel il serait nécessaire pour le manager de ne modéliser l'évolution du sous-jacent qu'à un nombre très limité de points dans le temps et ce, sans faire intervenir une formalisation mathématique sous forme d'équation. Dans cette optique, nous utilisons le mécanisme d'auto-corrélation de Copeland et Antikarov (2001) déjà évoqué plus haut.

Pour simuler comment une variable incertaine V peut évoluer entre la date t_1 et la date t_2 , nous déterminons une loi de distribution de V en t_1 et une loi de distribution de V en t_2 . Ces deux lois de distribution peuvent être identiques, mais on peut aussi prévoir que les paramètres de la loi de distribution en t_2 soient différents de ceux établis en t_1 . Par exemple, on peut prévoir que la volatilité en t_2 soit supérieure à celle en t_1 ; de même, on peut aisément imaginer que la moyenne de la variable étudiée soit différente en t_2 et en t_1 (par exemple pour tenir compte d'un phénomène de baisse des prix).

Nous établissons ensuite une corrélation entre ces deux distributions. Un coefficient de corrélation négatif traduira un processus de retour à la moyenne (par exemple si la variable étudiée est le prix d'une matière première).

Un coefficient de corrélation positif traduira le fait que si, à la date t_1 , la valeur tirée est située dans la partie haute de la fourchette, alors la valeur tirée en t_2 a également une forte probabilité d'être élevée (et inversement si la valeur tirée en t_1 est dans le bas de la fourchette).

La Figure 4.10 donne deux exemples de simulations d'évolution du sous-jacent réalisées avec ce mécanisme.

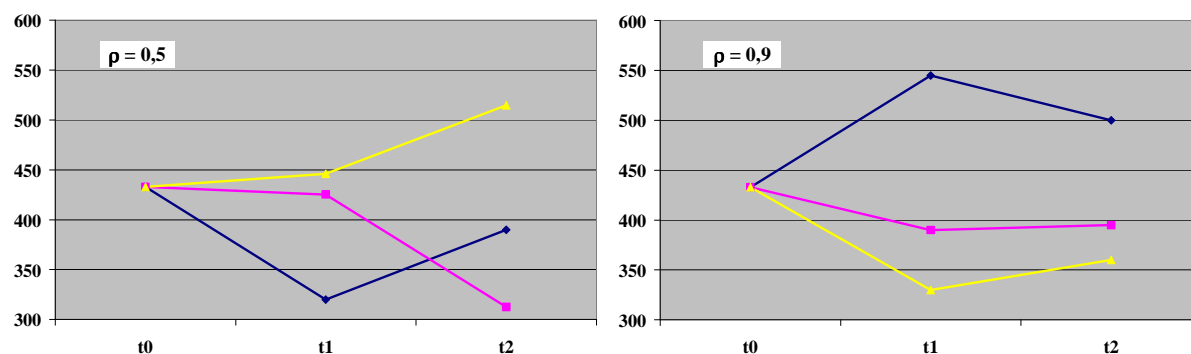
- Les lois de distribution suivies par la variable en t_1 et en t_2 sont identiques : loi triangulaire, de valeur minimale 250, de valeur maximale 650 et de valeur la plus probable 400.

⁹² Cf. Section 1, § II.1. *La place des simulations de Monte Carlo dans la littérature sur les options réelles*

⁹³ Cf. Chapitre 1, section 1 § II.3. *Présentation des principaux types d'options réelles*

- Dans le premier exemple, le coefficient de corrélation ρ est de 0,5, dans le deuxième exemple il est de 0,9.

Figure 4.10 : Exemples d'évolution possible du sous-jacent



La Figure 4.10 illustre bien que plus le coefficient d'auto-corrélation est élevé, plus la trajectoire entre t_1 et t_2 est prévisible.

II.2. Calcul de la valeur de l'option américaine

Une fois les trajectoires du sous-jacent obtenues, nous pouvons calculer la valeur d'option en appliquant l'approche par les moindres carrés de Longstaff et Schwartz (2001) présentée dans la première section de ce chapitre.

Pour de futures recherches, une autre piste possible pour valoriser l'option américaine est d'utiliser les « algorithmes génétiques », selon la méthode développée par Dias et Rivera (2004). Il s'agit, par un système d'optimisation, de sélectionner les « organismes » les plus adaptés, et de déterminer ainsi la frontière d'exercice de l'option. Nous avons vu dans l'exposé des modèles précédents qu'il est ensuite facile de déduire la valeur de l'option américaine, une fois que la décision d'exercice anticipé de l'option est précisée.

III. Valorisation de l'option composée par les simulations de Monte Carlo

Dans la littérature sur la valorisation des options financières par les simulations de Monte Carlo, la place donnée à l'option composée est beaucoup plus restreinte que celle consacrée à l'option américaine.

Néanmoins, les problématiques sont assez similaires, car il s'agit dans les deux cas de modéliser l'évolution du sous-jacent à des dates intermédiaires,⁹⁴ et de déterminer s'il faut ou non exercer l'option à ces dates (exercice de l'option sur option dans le cas de l'option composée, et exercice anticipé de l'option dans le cas de l'option américaine).

Nous proposons ici un modèle qui s'inspire de celui développé par Broadie et Glasserman (1997), en l'adaptant au contexte de l'option composée.

⁹⁴ Par exemple, pour la valorisation de l'option financière américaine, il s'agit des dates auxquelles les dividendes sont versés

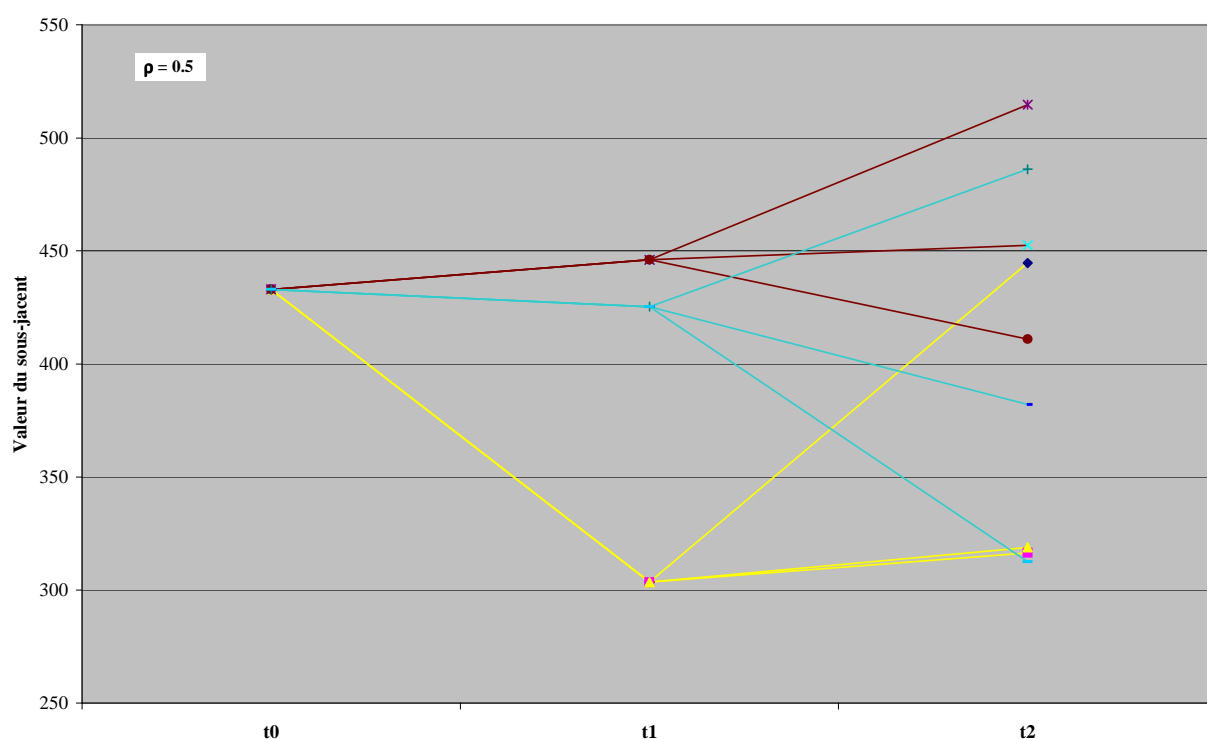
III.1. Présentation de la méthode de valorisation de l'option composée

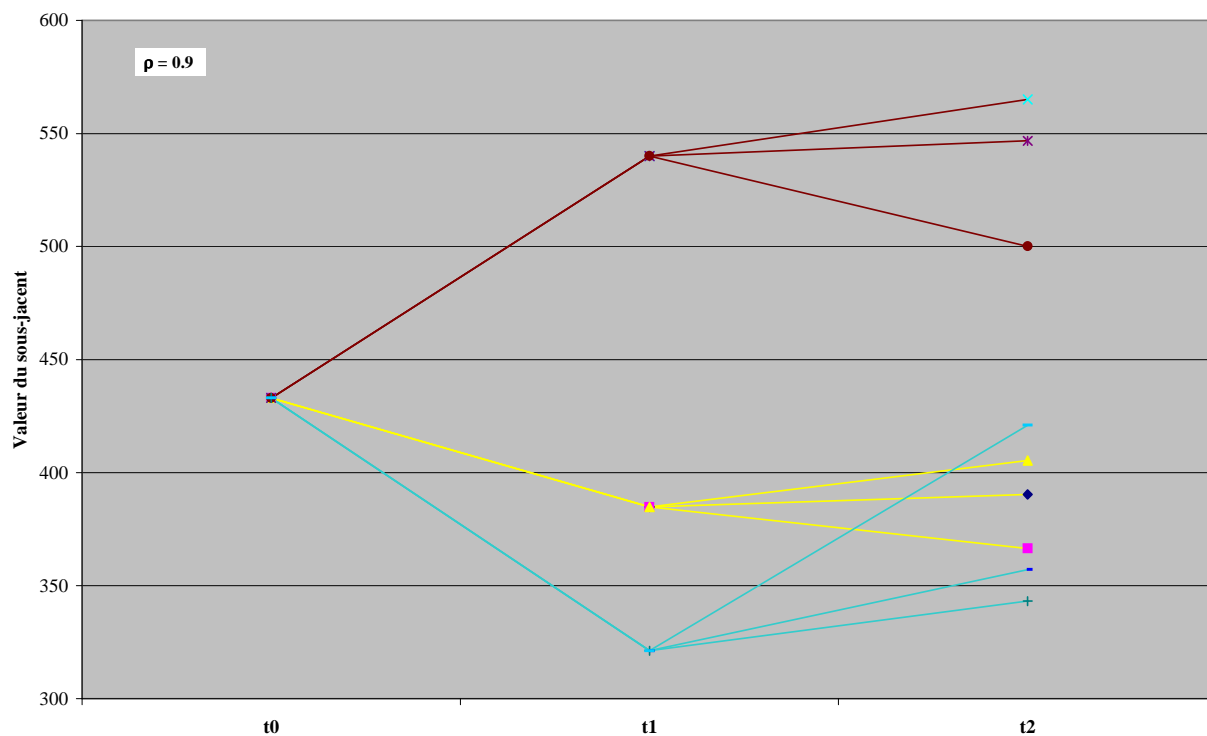
La première étape consiste à générer un arbre d'évolution possible du sous-jacent. Pour ce faire, nous utilisons, comme dans le cas de l'option américaine, le mécanisme d'auto-corrélation.

La Figure 4.11 donne deux exemples de simulations d'évolution du sous-jacent réalisées avec ce mécanisme.

- Le nombre de branches simulées à chaque date est $b = 3$;
- Les lois de distribution suivies par la variable en t_1 et en t_2 sont identiques : loi triangulaire, de valeur minimale 250, de valeur maximale 650 et de valeur la plus probable 400.
- Dans le premier exemple, le coefficient d'auto-corrélation ρ est de 0,5, dans le deuxième exemple il est de 0,9.

Figure 4.11 : Exemples d'arbre simulant l'évolution du sous-jacent





Dans un deuxième temps, on calcule pour chaque arbre simulé la valeur de l'option composée, définie comme la moyenne entre un estimateur haut Θ et un estimateur bas θ . La méthodologie suivie pour déterminer la valeur de ces deux estimateurs peut être exposée à l'aide de l'exemple numérique suivant.

Nous considérons une option composée sur un sous-jacent dont la valeur est égale à 400 en $t = 0$. Le détenteur de cette option a la possibilité d'exercer une option 1 en $t = 1$, avec un prix d'exercice X_1 de 130. L'exercice de l'option 1 lui permet d'acquérir l'option 2, qui peut elle-même être exercée en $t = 2$, avec un prix d'exercice X_2 de 250.

Figure 4.12 : Exemple de calcul de l'estimateur haut de l'option composée

A	B	C	D	E	F
2	Prix d'exercice de l'option 2		X_2	250	
3	Prix d'exercice de l'option 1		X_1	130	
4	Taux d'actualisation		r	0	
5					
6	Etape 1: Evolution du sous-jacent				
7	t_0	t_1	t_2		
8	400	318	301		
9			300		
10			316		
11		344	346		
12			381		
13			368		
14		472	404		
15			454		
16			416		
17					
18	Etape 2: Valeur de l'estimateur haut de l'option composée				
19	t_0	t_1	t_2		
20	15	0	51	= max (D8 - E\$2 ; 0)	
21			50		
22			66	= max (moyenne (D23:D25) - E\$3 ; 0)	
23		0	96		
24			131		
25			118		
26		45	154		
27			204		
28			166		
	= moyenne (C20;C23;C25)				

Comme dans l'arbre binomial, on procède en commençant par la fin, c'est-à-dire à la date d'échéance de l'option 2, notée t_2 .

- Pour chaque valeur du sous-jacent tirée en t_2 , on calcule le pay-off de l'option, qui est le maximum entre 0 d'une part, et la différence entre la valeur du sous-jacent et le prix d'exercice X_2 d'autre part.
- On se positionne ensuite en t_1 , date d'exercice de la première option. Il s'agit de déterminer s'il est opportun d'exercer cette option. Pour ce faire, il faut comparer le prix d'exercice de l'option 1, avec la valeur du sous-jacent. Le sous-jacent de l'option 1 correspond à la valeur de l'option 2.
 - Pour le calcul de l'estimateur haut Θ , nous estimons la valeur de l'option 2 en t_1 en calculant la moyenne des pay-offs réalisés par l'option 2 en t_2 sur la branche considérée.⁹⁵ Si cette valeur est supérieure au prix d'exercice X_1 , alors l'option 1 est exercée, et le pay-off réalisé correspond à la différence. Sinon, l'option n'est pas exercée, et le pay-off est nul. La valeur de l'option composée, pour le tirage réalisé, correspond alors à la moyenne des pay-offs réalisés sur les b branches en t_1 .
 - Pour le calcul de l'estimateur bas θ , on procède de façon sous-optimale pour décider de l'exercice de l'option 1. Au lieu de se baser sur l'ensemble des branches pour prendre cette

⁹⁵ Pour des raisons de simplification, nous prenons dans cet exemple un taux d'actualisation $r = 0$

décision, on utilise les résultats de $b-1$. En cas d'exercice de l'option 1, la valeur du pay-off réalisé est calculée en utilisant les résultats de la branche restante.

Comme dans le modèle de Broadie et Glasserman (1997), ce calcul est effectué en considérant tour à tour l'une des b branches pour calculer la valeur du pay-off en cas d'exercice de l'option 1. La valeur de l'estimateur bas θ correspond alors à la moyenne de ces différents calculs.

Pour un tirage donné, la valeur de l'option composée correspond à la moyenne entre l'estimateur haut Θ et l'estimateur bas θ .

La valeur de l'option étudiée est la moyenne de la valeur d'option obtenue au cours des n tirages.

III.2. Application numérique

Nous reprenons l'exemple présenté précédemment.

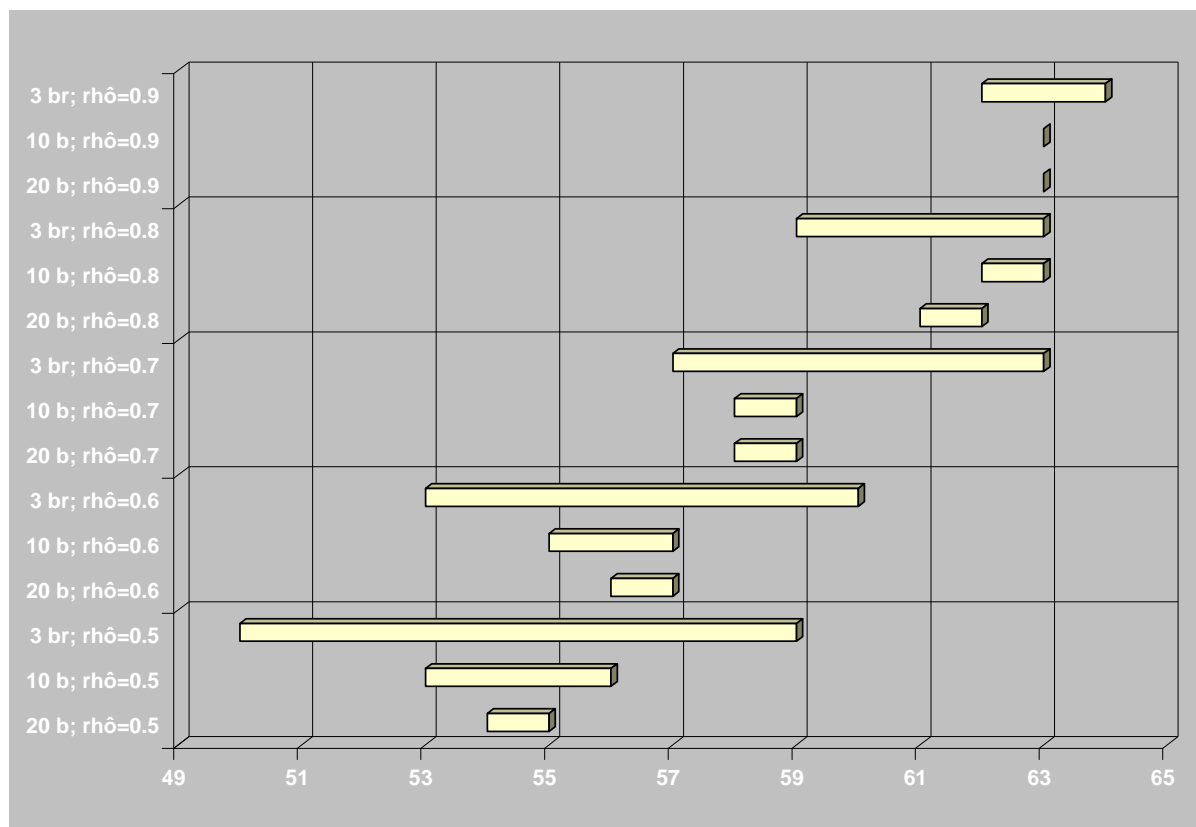
- Le sous-jacent suit une loi triangulaire en t_1 et en t_2 , de paramètres (250 ; 400 ; 650).
- Le coefficient d'auto-corrélation entre t_1 et t_2 , noté ρ , varie entre 0,5 et 0,9.
- Le prix d'exercice de l'option 2 est de 250
- Le prix d'exercice de l'option 1 est de 130.

Le nombre de branches utilisées pour calculer la valeur de l'option varie entre 3, 10 et 20.

Le nombre de simulations réalisées pour obtenir la valeur de l'option est 1 000.

Les résultats obtenus sont résumés dans la Figure 4.13. La partie gauche de la barre correspond à l'estimateur bas θ , la partie droite correspond à l'estimateur haut Θ .

Figure 4.13 : Exemple de valeur d'option composée obtenue par les simulations de Monte Carlo



Cet exemple illustre bien le fait que :

- Plus le nombre de branches utilisées pour calculer la valeur d'option augmente, plus l'écart entre l'estimateur bas θ et l'estimateur haut Θ se resserre.
- Plus le coefficient d'auto-corrélation ρ entre t_1 et t_2 augmente, plus la valeur de l'option composée augmente. Intuitivement, cela peut s'expliquer par le fait que, dans le cas d'un coefficient d'auto-corrélation élevé, la décision d'exercice de l'option 1 est prise « en meilleure connaissance de cause », que lorsque ce coefficient est faible.

IV. Une piste de recherche future : la prise en compte d'une révélation de l'information progressive et partielle

Dans le Chapitre 3, nous avons indiqué que, dans le cas des options réelles, la révélation d'information à l'échéance de l'option n'est souvent que partielle.⁹⁶ Dans la pratique, l'acquisition d'information peut réduire l'incertitude, mais pas l'éliminer (Bellalah, 2001).

Le Tableau 4.1 illustre les différents cas de figure concernant la révélation d'information, suivant le type d'incertitude et la nature du projet d'investissement.

Tableau 4.1 : Impact du type d'incertitude sur la révélation d'information

	Valeur de la source d'incertitude observable à tout moment ?	Pay-off en T fondé uniquement sur la valeur de la source d'incertitude en T ?	Exemples		Révélation d'information
			Source d'incertitude	Projet d'investissement	
❶	Oui	Oui	Prix du gaz	Construction d'une centrale thermique à gaz, avec possibilité d'arrêt de production temporaire	Totale
❷	Oui	Non	Prix du pétrole	Achat de la concession d'un gisement pétrolier, dont l'exploitation est prévue sur au moins 10 ans	Partielle
❸	Non		Nombre de clients	Lancement sur le marché d'un nouveau produit	Partielle

Dans le cas ❶, on peut considérer que la révélation de l'information à l'échéance de l'option est complète. Il s'agit de projets d'investissement dépendant d'une source d'incertitude dont la valeur est observable à tout moment, comme par exemple le cours d'une matière première.

De plus, la réalisation du pay-off de l'option est instantanée. Ceci est par exemple le cas lorsque l'on valorise un outil de production flexible comme un portefeuille d'options européennes : les cash-flows encaissés à l'exercice de l'option concernent une durée de temps très limitée. On peut donc considérer

⁹⁶ Cf. Chapitre 3, Section 2, § I. Principaux obstacles à la valorisation des options réelles

que le pay-off de l'option peut être calculé sur la base de la valeur de la source d'incertitude à l'échéance de l'option T .

Dans le cas ②, nous sommes toujours en présence d'une source d'incertitude dont la valeur est observable, mais le pay-off de l'option correspond à des cash-flows qui sont étalés dans le temps. C'est par exemple le cas de l'option d'attente dans le développement d'un gisement pétrolier dont l'exploitation est prévue sur une dizaine d'années. Dans ce cas, les managers connaissent les cash-flows dégagés pendant l'année où l'option est exercée, mais n'ont pas de visibilité sur les cash-flows dégagés pendant le reste de la vie du projet.

Enfin, dans le cas ③, la révélation d'information n'est que partielle, car la valeur de la source d'incertitude n'est pas directement observable. Par exemple, lorsque le projet d'investissement porte sur le lancement d'un nouveau produit, la principale source d'incertitude est le nombre de clients qui adopteront le nouveau produit. Pendant la durée de vie de l'option, il y a naturellement moyen d'acquérir de l'information sur cette source d'incertitude, par exemple via des études de marché ou l'observation de lancements de produits similaires dans d'autres zones géographiques. Il n'empêche qu'au moment de l'exercice de l'option, le nombre de clients ne sera pas connu avec précision. Dans les études de cas présentées en troisième partie de cette thèse, la plupart des sources d'incertitude appartiennent à la troisième catégorie.

Il existe donc le risque pour les managers de mal apprécier le pay-off généré par l'option réelle si celle-ci est exercée. La recherche future devra s'efforcer de prendre en compte dans la valorisation de l'option une erreur dans l'appréciation par le management du pay-off de l'option lorsque celle-ci est exercée.

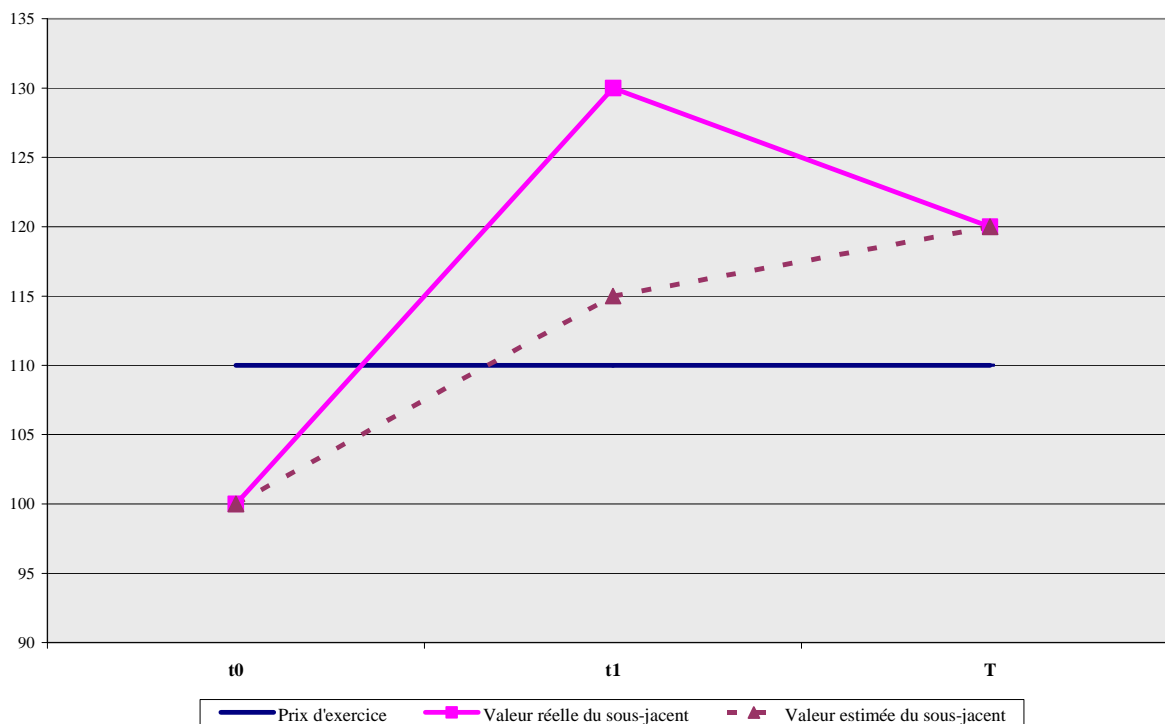
Si la méthode de valorisation d'option utilise les simulations de Monte Carlo, cela pourrait se traduire par l'existence de tirages, pour lesquels le management décide d'exercer l'option, et que le pay-off généré par celle-ci s'avère finalement négatif.

L'erreur pourra être modélisée de façon symétrique, si l'on estime que l'ajustement peut être réalisé tantôt à la hausse, tantôt à la baisse. Mais, en vertu du biais cognitif bien connu consistant pour les managers à surestimer les cash-flows générés par un projet (Kahneman *et al.*, 1982; Ringland *et al.*, 1999),⁹⁷ il serait également intéressant de valoriser l'option en modélisant une erreur asymétrique.

D'autre part, pour les sources d'incertitude qui ne sont pas directement observables, la révélation d'incertitude n'est généralement que progressive dans le temps. Ce phénomène affecte la valorisation de l'option américaine, et de l'option composée, comme l'illustre l'exemple donné dans la Figure 4.14.

⁹⁷ Dans la littérature Anglo-Saxonne, « overconfidence bias »

Figure 4.14 : Impact de la révélation progressive d'information sur la valorisation de l'option américaine



Supposons une option d'achat américaine, de date d'échéance T , présentant la possibilité d'un exercice anticipé à la date t_1 . Le prix d'exercice est de 110, et le sous-jacent vaut 100 à la date t_0 . La courbe en trait plein représente l'évolution de la valeur réelle du sous-jacent, alors que la courbe en pointillés représente la valeur estimée du sous-jacent par le management.

Pour simplifier les données du problème, nous supposons que le management a une connaissance complète de la valeur de la source d'incertitude à l'échéance de l'option T . Les deux courbes se rejoignent donc en T .

En revanche, sur la période allant de t_0 à T , le management n'acquiert que progressivement des informations sur la source d'incertitude. En conséquence, la décision d'exercice anticipé en t_1 sera prise de façon sub-optimale.

Dans cet exemple, le management sous-estime la valeur du sous-jacent en t_1 . Sur la base de ses estimations, il est optimal d'exercer l'option en T . Si le management avait eu une connaissance parfaite de la valeur du sous-jacent pendant toute la durée de vie de l'option – comme c'est le cas dans une option financière – alors il aurait exercé en date t_1 , et non en T .

Dans les recherches futures, il faudra donc modifier les modèles de valorisation d'option financières pour tenir compte du fait que, dans le cas des options réelles, la révélation d'information n'est généralement que progressive et partielle.

Conclusion du chapitre

Ce chapitre était consacré à la valorisation des options par les simulations de Monte Carlo.

Dans un premier temps, nous avons étudié la valorisation des options financières par les simulations de Monte Carlo. Nous avons présenté trois modèles de valorisation d'option par les simulations : le modèle fondateur de Boyle (1977) pour l'option européenne, ainsi que le modèle de Broadie et Glasserman (1997) et le modèle de Longstaff et Schwartz (2001) pour l'option américaine. Ceci a été l'occasion de montrer la très grande flexibilité permise par les simulations de Monte Carlo. Alors que les modèles de valorisation « classiques » reposent sur des hypothèses contraignantes, les modèles utilisant les simulations de Monte Carlo peuvent être adaptés sans difficulté à des cas de figure très diverses : prise en compte de plusieurs variables d'état, possibilité d'introduire une volatilité stochastique, choix du processus stochastique suivi par le sous-jacent, ...

C'est cette capacité à valoriser les options complexes qui constitue l'un des principaux attraits des simulations de Monte Carlo pour valoriser les options réelles. En effet, nous avons vu dans le Chapitre 3 que les options réelles se distinguent des options financières par leur complexité, et la nécessité de prendre en compte toutes les caractéristiques du projet d'investissement étudié.

Nous avons ainsi pu identifier dans la littérature cinq études de cas, dans lesquelles les auteurs ont eu recours aux simulations pour valoriser des options réelles pour lesquelles on n'obtenait pas de résultat satisfaisant avec les modèles « classiques ». Les simulations de Monte Carlo ont notamment permis de prendre en compte l'existence de plusieurs sources d'incertitude, ainsi que des contraintes opérationnelles (exemple : coût et temps de réglage) conditionnant l'exercice de l'option. Elles présentent également l'intérêt de valoriser des options dont la structure de pay-off est complexe – ce qui est souvent le cas lorsqu'il s'agit d'une option « contractuelle » – et de valoriser des options en interaction.

Néanmoins, l'examen détaillé de ces études de cas a montré que la littérature sur les options réelles a utilisé les simulations de Monte Carlo en restant dans une logique très similaire à celle des options financières. En effet, l'approche suivie a consisté à modéliser l'évolution du sous-jacent en spécifiant et en paramétrant le processus stochastique suivi par les différentes sources d'incertitude. Une telle approche crée deux obstacles importants à la diffusion des options réelles dans le monde de l'entreprise.

D'une part, la formalisation par le biais d'une équation de l'évolution des sources d'incertitude restreint l'usage des options réelles à des managers étant à l'aise avec la manipulation des mathématiques.

D'autre part, le paramétrage de cette équation est malaisé, car les paramètres ne correspondent pas à des données économiques directement observables. Par rapport aux modèles « classiques », un progrès important de ces études de cas est de modéliser le processus stochastique suivi par la (les) source(s) d'incertitude, et non pas le processus suivi par la valeur des cash-flows finaux. Il n'empêche que l'identification et le paramétrage de ce processus reste très subjectif lorsque la source d'incertitude n'est pas cotée sur les marchés financiers.

La combinaison de la subjectivité des données d'entrée et de la dimension mathématique de l'outil restreint l'utilisation des options réelles à des « techniciens ». Or, l'intérêt d'un outil d'aide à la décision stratégique est avant tout de créer un cadre qui permettra le dialogue des différentes parties prenantes sur les enjeux et les risques de la décision d'investissement (Laughton, 1998).

En conséquence, il nous a paru important pour l'utilisation des options réelles de développer un modèle qui soit à la fois accessible, et l'occasion de discuter sur les principales hypothèses fondant un projet d'investissement. Dans cette optique, nous avons proposé dans ce chapitre un modèle simplifié de valorisation des options réelles par les simulations de Monte Carlo.

Pour la valorisation de l'option européenne, nous proposons de concentrer l'effort de modélisation sur la distribution de la valeur du sous-jacent à l'échéance de l'option, indépendamment de la trajectoire poursuivie par le sous-jacent entre la date d'acquisition de l'option et son échéance.

Pour l'option américaine et l'option composée, il est nécessaire de modéliser la valeur prise par le sous-jacent à quelques dates intermédiaires. Pour ce faire, nous proposons de nous baser sur la distribution du sous-jacent à l'échéance, et sur un mécanisme d'auto-corrélation de la valeur des sources d'incertitude entre ces dates intermédiaires et la date d'échéance.

L'approche ainsi proposée répond aux critères fixés par Lander et Pinches (1988) pour qu'un modèle de valorisation d'option soit utilisé dans les entreprises, et qui n'avaient jusqu'à présent été remplis que partiellement par les modèles actuels de valorisation d'option. Pour rappel,⁹⁸ ces critères sont les suivants :

(5) « *Etre faciles à comprendre et à mettre en œuvre* »

- Le modèle proposé est très intuitif. Il ne nécessite pas de connaissances mathématiques particulières. Il est facile à mettre en œuvre, car l'analyse est réalisée sur Excel, à partir du business plan du projet. Il ne nécessite donc pas l'usage d'un logiciel particulier, et permet d'intégrer dans l'analyse toutes les hypothèses formulées dans le cadre du business plan.

(6) « *Ne pas être contraints par la nécessité de formuler des hypothèses spécifiques sur le processus stochastique suivi par le sous-jacent* »

- Le modèle proposé ne nécessite de formuler aucune hypothèse sur le processus stochastique suivi par le sous-jacent, ni d'ailleurs par les sources d'incertitude. Il se contente de modéliser la valeur des sources d'incertitude à l'échéance, et le cas échéant à quelques dates intermédiaires de la vie de l'option.

(7) « *Etre capables de valoriser des opportunités d'investissement réelles, séquencées en plusieurs périodes, générant plusieurs options, comportant des sources d'incertitude multiples, générant des dividendes qui varient avec le temps et la valeur du projet, etc.* »

- L'approche proposée présente l'avantage d'une très grande souplesse, et donc de prendre en compte les spécificités d'un projet d'investissement réel. Elle permet notamment de valoriser plusieurs options en interaction, ainsi que des options présentant plusieurs modalités d'exercice. Les sources d'incertitude peuvent être multiples. Par le biais de l'option américaine ou de l'option composée, il est possible de modéliser plusieurs points de décision dans le temps. Le mécanisme de dividende est pris en compte de façon très souple, en intégrant dans le business plan les éléments susceptibles d'être modifiés si le projet est reporté.

(8) « *... tout en rendant l'approche par les options réelles accessibles aux contrôleurs de gestion, aux managers opérationnels, aux responsables de la stratégie, et aux autres décisionnaires.* »

- Le modèle a été développé dans le but de rendre les options réelles aussi accessibles que possible. L'analyse optionnelle doit être une opportunité pour le management de tester la robustesse d'un projet d'investissement en contexte de forte incertitude, et des alternatives face à cette incertitude.

Pour ce faire, le modèle proposé inscrit l'analyse optionnelle directement dans le prolongement de la formation du business plan et du calcul de la VAN. Les hypothèses du modèle correspondent à des données économiques, du type « dans quelle fourchette peut varier le futur nombre de clients ? », « à quel rythme maximum et minimum évoluera la baisse des prix ? », « dans quelle mesure les informations acquises sur les sources d'incertitude à l'échéance de l'option seront-elles déjà disponibles si une opportunité d'investissement en anticipé se présente ? ».

⁹⁸ Cf. Chapitre 3, conclusion du chapitre

Si l'approche proposée dans ce chapitre permet de rendre les options réelles plus accessibles au monde de l'entreprise, **tous les problèmes ne sont pas résolus pour autant.**

En particulier, **nous n'avons pas abordé ici la question du taux d'actualisation**, pour laquelle aucune solution satisfaisante n'a véritablement été trouvée.⁹⁹

Par ailleurs, nous avons indiqué qu'un point important reste largement ignoré de la littérature sur les options réelles : il s'agit de la **question de la révélation d'information**. Cette problématique n'est pas présente dans le cas des options financières – où le cours du sous-jacent est toujours observable – mais pourrait avoir des conséquences importantes sur la valorisation des options réelles. La recherche future devra donc s'efforcer d'intégrer dans les modèles le fait que, dans le cas des options réelles, l'incertitude n'est pas complètement résolue au moment de l'exercice de l'option.

Enfin, une autre piste de recherche future porte sur l'arbitrage à réaliser dans le choix des lois de distribution entre l'exactitude et la facilité d'utilisation. Par exemple, pour la plupart des sources d'incertitude, la loi normale est plus exacte que la loi triangulaire ; mais cette dernière est plus intuitive à paramétrer pour les managers. De même, plutôt que la loi normale ou log-normale, il serait plus correct, sur le plan économique, d'utiliser la loi bêta, qui est bornée.¹⁰⁰ D'un autre côté, la loi bêta est plus difficile à paramétrer. Il serait donc intéressant de valider sur le plan empirique en quoi l'utilisation de lois de distribution plus exactes impacte de façon significative ou non la valeur de l'option.

⁹⁹ Cf. Chapitre 3, Section 2, § II.2.4. *Une grande difficulté à estimer la valeur des paramètres utilisés par les modèles*

¹⁰⁰ Sil l'on utilise une loi de distribution continue comme la loi normale, il est possible d'utiliser la fonctionnalité de Crystal Ball permettant de borner la distribution. Mais cette solution a sans doute l'inconvénient de surestimer l'importance des fréquences de distribution aux bornes. C'est pourquoi il serait théoriquement plus approprié de recourir à une loi Bêta.

CONCLUSION DE LA PARTIE II

Cette deuxième partie de la thèse a été consacrée à la valorisation des options réelles.

Le Chapitre 3 a mis en évidence que les modèles actuellement utilisés pour valoriser les options réelles sont le plus souvent des modèles standards, qui ont été élaborés pour valoriser des options financières.

Comme les options réelles présentent des différences significatives avec les options financières, ces modèles sont mal adaptés à la valorisation des options réelles. Ils sont difficiles d'utilisation, et reposent sur des hypothèses trop simples pour refléter la complexité d'une option réelle.

Dans ce contexte, **la contribution du Chapitre 4 a été de proposer une méthode de valorisation alternative, fondée sur les simulations de Monte Carlo.** Celle-ci s'est révélée particulièrement adaptée à la valorisation des options réelles, à la fois en raison de son **caractère intuitif**, et de sa **grande souplesse d'utilisation**.

A la sous-question de recherche « *Est-il possible de valoriser les options réelles de façon simple, tout en prenant en compte la complexité d'une décision d'investissement stratégique ?* », ¹⁰¹ le Chapitre 4 apporte donc une réponse encourageante.

Les modèles proposés dans la 2^{ème} partie de la thèse pour valoriser les options réelles par les simulations de Monte Carlo ont été exposés de façon théorique. Il s'agit maintenant dans la 3^{ème} partie de la thèse de les tester sur des études de cas réelles.

Par ailleurs, les études de cas réalisées sur l'application des options réelles que nous avons mentionnées dans le Chapitre 4 ¹⁰² et dans le Chapitre 3 ¹⁰³ concentrent le plus souvent leur analyse sur la valorisation du projet d'investissement. Or, la valorisation d'un projet ne constitue qu'une étape dans la prise de décision stratégique.

Dans ce contexte, l'objectif poursuivi dans la Partie III est d'inscrire les études de cas dans une dimension stratégique. Au-delà de la valorisation de l'option, deux problématiques retiendront particulièrement notre attention : l'identification de l'option d'une part, et l'apport de l'analyse optionnelle au processus de décision d'investissement d'autre part.

¹⁰¹ Cf. Introduction générale

¹⁰² Etudes de cas utilisant les simulations de Monte Carlo

¹⁰³ Etudes de cas utilisant les méthodes « classiques » de valorisation d'option

Partie III

INTRODUCTION DE LA PARTIE III

Les deux premières parties de la thèse ont révélé que la faible diffusion des options réelles dans l'entreprise s'expliquait principalement par la difficulté à identifier et à valoriser les options réelles. Il apparaît que la littérature sur les options réelles manque de contributions empiriques, qui permettraient à la fois de vérifier l'intérêt des options réelles, et de donner aux managers une méthodologie d'application des options réelles (Chapitre 1). Le Chapitre 3 a conclu que les modèles actuels étaient inadéquats pour valoriser les options réelles, et nous avons proposé dans le Chapitre 4 une méthode de valorisation alternative permettant de combler une partie des insuffisances des modèles actuels.

D'autre part, il n'existe pas de vision claire sur le rôle joué par les options réelles dans la décision d'investissement (voir notamment McGrath *et al.*, 2004). Nous avons vu dans le Chapitre 2 que les contributions des options réelles à la prise de décision peuvent être diverses.

En conséquence, **il nous a paru particulièrement important de tester les options réelles sur des décisions d'investissement réelles**. Ces études de cas ont été réalisées dans un **double objectif**.

1) Permettre de mieux maîtriser l'identité et la valorisation des options réelles.

Comme nous l'avons souligné dans le Chapitre 2, **l'identification de l'option constitue peut être une tâche aussi difficile que sa valorisation.**¹⁰⁴ En effet, **les manuels donnant des exemples d'application d'options réelles présentent généralement une version très simplifiée de la décision d'investissement.** Dans la réalité, les sources d'incertitude sont multiples, les différentes alternatives possibles ne sont pas spontanément apparentes et un projet d'investissement présente souvent des liens d'interdépendance avec d'autres décisions stratégiques.

Dans les études de cas de la Partie III, nous nous attacherons donc à décrire l'ensemble du contexte stratégique dans lequel est située la décision d'investissement, et à valider que les conditions d'existence de l'option étudiée sont remplies. Nous parviendrons ainsi à une vision plus claire de ce en quoi constitue une option dans la réalité d'une décision d'investissement.

Une fois l'option précisément identifiée, il s'agit de **tester si les options réelles constituent une méthode de valorisation pertinente**, et si l'on observe des différences dans les résultats en fonction de la méthode de valorisation utilisée.

Comme il est d'usage dans la littérature, nous comparons la valeur du projet obtenue par la VAN et par la théorie des options.

L'une des contributions de cette partie de la thèse à la littérature provient de la comparaison que nous effectuons entre différents modèles de valorisation d'option : dans chaque étude de cas, nous testons les trois grands modèles de valorisation présentés dans la Partie II : modèles analytiques, arbres binomiaux et méthode par les simulations de Monte Carlo. A l'inverse, les études de cas déjà publiées se concentrent sur une seule méthode de valorisation.¹⁰⁵

Nous comparons la qualité des résultats numériques obtenus, en analysant notamment la vraisemblance des hypothèses, et la souplesse du modèle pour s'adapter aux spécificités de la décision d'investissement étudiée.

Par ailleurs, nous déterminons quelles sont les méthodes les plus appropriées pour aider à la décision dans le monde spécifique de l'entreprise. **Nous comparons la facilité d'utilisation des différentes méthodes**, et leur acceptation par les dirigeants. Nous analysons en quoi ces

¹⁰⁴ Cf. Chapitre 2, section 2, § II.1.1. *Difficulté à identifier les options réelles générées par un projet d'investissement*

¹⁰⁵ Une exception notable est l'étude de cas réalisée par Taudes (1998). Néanmoins, l'auteur ne compare pas différents modèles de valorisation pour *la même option*. Plutôt, il étudie *la même décision d'investissement* en l'analysant comme différents types d'options possibles (option simple, option d'échange, option composée). Les études de cas de Miller et Park (2004) ainsi que de Miller et al. (2004) effectuent un exercice similaire.

différentes méthodes favorisent des contributions plus « qualitatives » des options réelles, au-delà de la seule valorisation de l'option (cf. ci-dessous).

2) Clarifier le rôle potentiel joué par les options réelles dans la décision d'investissement.

La valorisation d'un projet ne représente qu'une petite partie du processus de décision d'investissement (Arnold & Hatzopoulos, 2000 : 621). En se concentrant sur la seule valorisation de l'option, on risquerait d'occulter les bénéfices de nature qualitative des options réelles que nous avons pu identifier dans le Chapitre 2.

En conséquence, l'objectif poursuivi dans la Partie III est de considérer le processus de décision d'investissement dans son ensemble. Comme Bower (1970) l'a mis en évidence à l'aide d'études de cas détaillées, ce processus est un phénomène complexe, dans lequel le processus de réflexion technique et économique se double d'un processus politique de la décision.

Nous nous efforcerons donc d'élargir l'angle de vision de la littérature sur les options réelles, qui analyse le plus souvent la décision d'investissement du point de vue l'investisseur unique, rationnel. Une telle approche nous permettra de mieux comprendre en quoi l'analyse optionnelle, au-delà de la valorisation du projet, peut contribuer à améliorer le processus de décision lui-même.

Les trois études de cas de la Partie III sont présentées dans le Tableau I3. **Nous avons sélectionné des projets d'investissement stratégiques, recouvrant des problématiques variées dans le secteur des télécommunications, et faisant intervenir divers degrés d'incertitude.** Du point de vue de la valorisation, **les trois grands types d'options réelles sont représentés.**

Tableau I3 : Présentation des études de cas de la Partie III

	Chapitre 5	Chapitre 6	Chapitre 7
Type d'investissement	Infrastructure réseau	Infrastructure réseau	R&D
Problématique étudiée	Déploiement d'un réseau de téléphonie mobile (UMTS)	Déploiement d'un réseau de téléphonie fixe (ADSL)	Lancement d'un projet de R&D (la gestion de l'identité)
Maturité de la technologie étudiée	Développée, mais jamais commercialisée	Développée, déjà commercialisée dans des zones plus densément peuplées	A développer
Environnement	Concurrentiel	Monopole de fait ; Importance des relations avec les administrations territoriales	Importance de la coordination avec l'ensemble des acteurs du secteur
Type d'option	Simple, européenne	Simple, américaine	Composée

Les deux premières études de cas concernent une décision de déploiement d'un réseau basé sur une nouvelle technologie : la technologie « UMTS » dans les télécommunications mobiles, et la technologie « ADSL » dans les télécommunications fixes.

De telles décisions sont d'importance stratégique : la migration du réseau vers des technologies plus avancées requière des investissements très lourds, mais est nécessaire pour améliorer le niveau de service et garantir la pérennité du chiffre d'affaires.

Il s'agit par ailleurs de décisions difficile : l'investissement est irréversible, et est soumis à de fortes incertitudes, portant notamment sur le succès de la nouvelle technologie ou la stratégie suivie par les concurrents.

La troisième étude de cas porte sur une décision d'investissement dans un programme de Recherche et Développement (R&D).

La R&D constitue également une activité stratégique pour assurer sur le long terme la compétitivité d'un opérateur de télécommunication. Certains opérateurs ont ainsi fait de l'innovation une de leurs priorités. Les dépenses de R&D dans l'industrie des télécommunications représentent ainsi en moyenne 5,3% du chiffre d'affaires, loin derrière le secteur pharmaceutique (17%), mais devant le secteur minier (1,2%), le secteur automobile (3,9%), ainsi que le secteur de l'aérospatial et la défense (3,8%) (Cassimon *et al.*, 2004 : 42).

Là encore, les décisions d'investissement sont difficiles à prendre, car les managers doivent faire face à un très grand éventail de possibilités sur les technologies futures, et les débouchés commerciaux qu'elles ouvriront. De plus, les projets étudiés sont souvent interdépendants, ce qui complique d'autant les décisions d'investissement.

*Chapitre 5 – Etude de
Cas « UMTS »*

Introduction

L'étude de cas présentée dans ce chapitre porte sur la décision de déploiement d'un réseau UMTS (« Universal Mobile Telecommunications System ») permettant la commercialisation de services de télécommunication mobile dits de troisième génération (« 3G »).

Il est particulièrement difficile de déterminer le bon « timing » de lancement d'une nouvelle technologie dans un marché concurrentiel. Si le lancement est prématuré, l'entreprise risque d'engager des investissements irréversibles dans une technologie non rentable. Mais si le lancement est plus tardif, l'entreprise s'expose au risque d'être préemptée par son (ses) concurrent(s).

Un tel contexte présentant une possibilité de report face à une forte incertitude se prête bien à une analyse optionnelle. De façon similaire, Harmantzis et Tanguturi (2007) ont réalisé une étude de cas fictive, dans laquelle ils évaluent, grâce aux options réelles, la possibilité de reporter la migration d'un réseau de télécommunications mobiles vers la « 3G ».

Ce chapitre se compose de trois sections.

- Dans la première section, nous présentons les données du cas. Nous expliquons en quoi les options réelles sont plus appropriées que les outils « classiques » tels que la VAN pour prendre ce type de décision.
- Dans la deuxième section, nous valorisons l'option, en utilisant et en comparant trois modèles de valorisation différents.
- Dans la troisième section, nous analysons quelle aurait été la contribution des options réelles au processus de décision de déploiement du réseau UMTS, si l'entreprise étudiée (« Mobitel ») avait utilisé cette approche.

Encadré 5.1 : Méthodologie suivie pour l'étude de cas du Chapitre 5

Notre contrat de recherche avec Mobitel, et l'accueil dans les locaux, nous ont offert un contact direct avec les managers, la possibilité de mener des entretiens et l'accès aux données (Boudreau & Robey, 2005). Pour maintenir la confidentialité, les noms de concurrents et les dates ont été changées, les échelles modifiées, et les résultats sont exprimés en unités monétaires (UM).

Nous avons procédé en trois phases principales. Tout d'abord, nous avons structuré la décision d'investissement et validé que le projet suivait bien une logique optionnelle. Ceci a été réalisé à travers l'analyse de documents internes, de rapports d'analystes financiers et d'analyses sectorielles.¹⁰⁶ Ce travail a été complété par une série d'entretiens semi-directifs au sein de Mobitel. Nous avons validé cette première phase d'analyse en donnant deux présentations auprès du département Stratégie et du département Finance de Mobitel.

Dans un second temps, nous avons estimé la valeur de l'option d'attente. Nous avons utilisé l'analyse réalisée dans la première phase pour déterminer les caractéristiques de l'option étudiée, et choisir les modèles de valorisation appropriés. Pour la valorisation de l'option, l'estimation des paramètres est cruciale. Nous avons eu accès à des données internes pour estimer la valeur de paramètres tels que le sous-jacent, le prix d'exercice ou le taux de dividende. Pour modéliser le profil des sources d'incertitude, nous avons utilisé des projections réalisées par des analystes financiers ou des instituts de recherche. Ces hypothèses ont ensuite été validées en donnant une présentation au sein du département Finance.

Enfin, nous avons analysé les résultats. Comme il est d'usage dans les études de cas sur les options réelles, nous avons comparé la VAN et la valeur d'option. En complément, exploitant nos observations sur le site ainsi que le matériel collecté lors des entretiens, nous avons étudié en quoi les options réelles pouvait améliorer le processus de décision de Mobitel dans son ensemble.

¹⁰⁶ Il existe une abondante littérature sur l'industrie des télécommunications mobiles, et sur la technologie UMTS en particulier : sites webs spécialisés (ex : www.UMTSforum.com), rapports réalisés par des cabinets de conseil spécialisés ou par des instituts de recherche (ex : Yankee Group, Forrester Group, Ovum). Des informations utiles sont également publiées par les autorités de régulation nationales et européennes.

SECTION 1 : ANALYSE STRATEGIQUE DE LA DECISION D'INVESTISSEMENT

I. La décision de lancement d'une nouvelle technologie : un arbitrage difficile entre engagement et flexibilité

I.1. Avantages et inconvénients du lancement rapide d'une nouvelle technologie

Le choix de la date de lancement d'une nouvelle technologie est crucial pour la rentabilité future et le positionnement concurrentiel d'une entreprise (Sull, 2005). Néanmoins, c'est une décision difficile, car elle nécessite de réaliser un arbitrage entre engagement et flexibilité (Ghemawat, 1991; Miller & Folta, 2002).

D'un côté, une mise sur le marché rapide permet de bénéficier d'avantages au premier entrant. Dans leur article fondateur, Lieberman et Montgomery (1988) identifient trois sources d'avantage compétitif généré par un lancement rapide : la domination technologique, la préemption d'actifs et les coûts de changement pour l'acheteur. Toutefois, les auteurs reconnaissent également le risque pour la firme pionnière d'engager de lourds investissements non récupérables dans une technologie qui peut s'avérer non rentable.

A l'inverse, le report du lancement permet à la firme de collecter plus d'informations sur la valeur économique potentielle de la nouvelle technologie. Mais dans ce cas, l'entreprise s'expose au risque d'être préemptée par ses concurrents. Cela peut conduire à une perte significative de parts de marché, et même à l'exclusion du marché si les coûts de changement pour le consommateur sont élevés.

Aujourd'hui, les managers ne disposent pas d'outils leur fournissant une réponse claire à ce dilemme sur la date de lancement (Lint & Pennings, 1999). En particulier, les méthodes de valorisation basées sur l'actualisation des cash-flows (VAN ou TRI) fournissent peu d'indications sur la date optimale d'investissement, car elles considèrent une opportunité d'investissement comme une décision se prenant « *maintenant ou jamais* ».

Deux principaux champs de la littérature ont étudié la question de la date d'entrée sur un marché dans un contexte de concurrence et d'incertitude sur la valeur du projet.

En économie industrielle, de nombreuses recherches ont conduit à identifier les avantages générés par une entrée rapide sur le marché. Celle-ci permet notamment à l'entreprise de bénéficier de coûts plus bas que le suiveur (Spence, 1979), et même dans certains cas de décourager l'entrée de rivaux potentiels (McGahan, 1993). Néanmoins, en économie industrielle classique, la littérature n'étudie pas véritablement la question du timing dans le cas d'une incertitude exogène (Kulatilaka & Perotti, 1998). Certains articles traitent de l'incertitude de marché, mais se concentrent plutôt sur la production que sur l'investissement comme moyen de préemption (ex: Appelbaum & Lim, 1985; Spencer & Brander, 1992).¹⁰⁷

En stratégie, les recherches sur l'avantage du premier entrant illustrant le lien entre ordre d'entrée sur un marché et part de marché ont été suivies par des recherches sur les inconvénients liés à la position de premier entrant (ex: Schnaars, 1994). Ainsi, dans le domaine de la stratégie, la littérature a mis à jour différents mécanismes, qui peuvent être bénéfiques soit pour le premier entrant, soit pour le suiveur. Mais elle ne donne pas au manager de règle de décision explicite pour déterminer dans quels cas il est préférable d'opérer un lancement rapide, ou au contraire de repousser l'introduction sur le marché (Lint & Pennings, 1999: 485)

¹⁰⁷ Dans ce dernier article, la section 4 est consacrée à l'engagement de capital, mais seulement dans le cas où l'incertitude porte sur les coûts du nouvel entrant, et non pas sur le niveau de la demande).

1.2. Les options réelles : un outil prometteur pour déterminer la date optimale d'investissement

Dans ce contexte, les options réelles constituent un outil prometteur pour effectuer l'arbitrage entre engagement et flexibilité (Miller & Folta, 2002). La logique optionnelle montre que l'attente a de la valeur, parce que le report d'un investissement donne à l'entreprise l'opportunité de collecter plus d'information sur la rentabilité potentielle du projet. Ainsi, McDonald et Siegel (1986) concluent qu'en cas d'incertitude, il peut être optimal de repousser un investissement, même si sa VAN est positive.

Toutefois, la littérature n'a pas démontré de façon empirique l'intérêt de recourir aux options réelles, pour déterminer la date optimale d'investissement en contexte concurrentiel.

Nous avons identifié dans la littérature trois études de cas détaillées étudiant l'option de report. Elles montrent qu'il peut être préférable de repousser un projet d'investissement, même si sa VAN est positive (Tzouramani & Mattas, 2004). Inversement, des projets ayant une VAN négative ne devraient pas être abandonnés, mais plutôt reportés, s'il existe une probabilité qu'ils deviennent profitables dans le futur (Benaroch & Kauffman, 2000; Garvin & Cheah, 2004).

De façon similaire, quelques études de cas ont été publiées sur des projets d'investissement pouvant être dissociés en plusieurs phases (Miller *et al.*, 2004; Miller & Park, 2004; Maklan *et al.*, 2005). Elles montrent que plutôt que de lancer un projet dans sa totalité, la décision concernant les phases ultérieures peut être repoussée, et analysée comme une option. Ainsi, la valeur totale du projet peut être positive, alors que la VAN qui valorisait le projet comme un tout parvenait à un résultat négatif. Cependant, pour diverses raisons, ces études de cas ne traitent pas de projets d'investissement dont la valeur est affectée par le risque de préemption. Dans certains cas, le projet étudié est interne à l'entreprise, visant à réduire les coûts et/ou à améliorer le taux de rétention des clients (Miller & Park, 2004; Maklan *et al.*, 2005). Dans d'autres études, l'entreprise est en situation de monopole ou de concurrence parfaite (Garvin & Cheah, 2004; Tzouramani & Mattas, 2004). L'entreprise peut également bénéficier d'une meilleure maîtrise de la technologie, si bien que les concurrents n'ont pas l'intention d'entrer sur le marché étudié (Benaroch and Kauffman 2000).

Comme nous l'avons indiqué dans le Chapitre 1,¹⁰⁸ les modèles pionniers de valorisation d'options réelles (ex : Brennan & Schwartz, 1985; McDonald & Siegel, 1986; Majd & Pindyck, 1987; Pindyck, 1988; Dixit 1989; Ingersoll Jr. & Ross, 1992) considèrent l'entreprise de façon isolée de ses concurrents. En conséquence, ils recommandent d'attendre trop longtemps avant d'effectuer l'investissement (del Sol & Ghemawat, 1999 : 45; Grenadier, 2000 : 100). Typiquement, ces modèles montrent qu'il est optimal de reporter l'investissement tant que la valeur actualisée des bénéfices du projet reste inférieure au double du coût d'investissement.

Les recherches plus récentes en univers oligopolistique montrent que la pression concurrentielle réduit la valeur d'option, et incite à investir plus rapidement (Lee, 1988 : 165; Trigeorgis, 1991). Lorsque le risque de préemption est élevé, le seuil d'investissement recommandé est beaucoup plus bas, et se situe aux alentours d'une VAN nulle (Grenadier, 2002; Lambrecht & Perraudin, 2003). Le résultat de l'arbitrage entre option d'attente et risque de préemption peut aussi dépendre du nombre d'investissements nécessaires pour couvrir la capacité du marché, du taux de croissance du marché et de la volatilité de la demande (Boyer *et al.*, 2004).

Il est donc crucial d'intégrer l'impact de la concurrence dans l'analyse optionnelle.

Dans cette étude de cas, nous proposons d'appliquer les options réelles à un cas réel de lancement d'une nouvelle technologie, en prenant en compte l'impact de la concurrence.

¹⁰⁸ Cf. Chapitre 1, section 1, § II.3.3. *Modèles d'option en univers concurrentiel*

II. Application : le cas du déploiement d'un réseau de téléphonie mobile

L'étude de cas présentée dans ce chapitre constitue un bon exemple de dilemme entre « engagement » et « flexibilité », et de l'insuffisance des outils d'aide à la décision traditionnels pour résoudre ce dilemme.

II.1. Contexte de la décision d'investissement étudiée

L'avènement de la « 3G », qui allait notamment permettre la généralisation de « l'internet mobile » a eu lieu dans un contexte euphorique. Les différents pays européens ont procédé sur la période mars 2000 – juin 2002 à l'attribution de licences UMTS, pour lesquelles les opérateurs ont, en moyenne, consenti à payer des prix très élevés (Tableau 5.1).

Tableau 5.1: Prix d'attribution des licences UMTS dans les principaux pays européens

Pays	Nb de licences/Nb total d'offres	Mode d'attribution	Montant total des licences (Md \$)	Coût par tête d'habitant	Durée (années)
Royaume Uni	5 / 5	Enchères	38.4	\$570	20
Espagne	4 / 4	Enchères	0.52 + %	\$12	20
Pays Bas	5 / 5	Enchères	2.7	\$153	15
Italie	5 / 5	Enchères	12.2	\$218	15
Allemagne	6 / 6	Enchères	50.8	\$551	20
France	2 / 4	Concours de beauté	9.9	\$152	15
Finlande	4 / 4	Concours de beauté	0	\$0	20
Danemark	4 / nd	Enchères	0.5	nd	nd
Belgique	3 / 4	Enchères	0.5	\$39	20
Autriche	6 / 6	Enchères	0.8	\$77	20

nd: non disponible

Sources: UMTS Forum, Kagan World Media Ltd., Qualcomm, and Spectrum Strategy Consultants

Toutefois, après l'éclatement de la « bulle télécoms », l'enthousiasme a progressivement fait place au doute. Tous les opérateurs européens ont ainsi repoussé le déploiement de leur réseau UMTS.

L'analyse de ce cas se situe en 2003, période à laquelle les indicateurs laissant présager une mauvaise rentabilité du réseau UMTS se multiplient. En particulier, on peut noter le lancement décevant de l'UMTS par l'opérateur « 3 » en Italie et au Royaume-Uni, ainsi que les déficiences techniques de l'UMTS (problèmes de compatibilité entre les différents équipementiers, mauvaise ergonomie des terminaux, etc.)

Cette étude de cas a pour cadre un pays européen dominé par deux opérateurs, que nous dénommerons « Mobitel » et « Comptel ». Les deux opérateurs ont acquis une licence UMTS, mais n'ont pas encore déployé de réseau correspondant.

La décision étudiée porte sur la date optimale de déploiement d'un réseau UMTS par Mobitel. Le calendrier initial prévoyait un déploiement du réseau UMTS fin 2003, ce qui aurait permis le lancement commercial de la 3G en décembre 2004. Compte tenu de la forte incertitude pesant sur le succès de l'UMTS, la question est de savoir s'il est opportun de reporter d'un an la décision de déploiement du réseau UMTS.

D'un côté, les opérationnels craignent que Mobitel se laisse devancer par Comptel, qui multiplie les annonces d'un lancement prochain de l'UMTS. Dans un tel cas de figure, on peut s'attendre à ce que Comptel prenne des parts de marché significatives à Mobitel, qui seront très difficiles à récupérer.

D'un autre côté, faut-il précipiter le lancement d'une nouvelle technologie, dont la rentabilité apparaît très incertaine ?

II.2. Analyse des alternatives possibles, et de leur rentabilité

Mobitel a la possibilité de reporter d'un an la décision de déploiement d'un réseau UMTS. A cette date, l'opérateur aura le choix entre trois alternatives : l'UMTS, l'EDGE ou le « statu quo ».

La technologie « EDGE »

EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution) est une technologie concurrente de l'UMTS, parfois qualifiée de « 2,75 G », car elle offre des débits bien supérieurs au GSM, sans toutefois atteindre les débits de l'UMTS. Concrètement, EDGE permet à l'utilisateur d'avoir accès à presque toutes les applications offertes par l'UMTS, sauf celles nécessitant le transfert simultané de la voix et des données, comme la visiophonie.

EDGE est une version « avancée » du GSM. Pour déployer un réseau EDGE, il suffit donc de mettre à niveau les équipements existants. A l'inverse, l'UMTS est une technologie entièrement nouvelle, qui nécessite de tout reconstruire à la base. En conséquence, le coût d'investissement d'un réseau UMTS sera significativement plus élevé que celui d'un réseau EDGE. Pour le consommateur, les terminaux et l'abonnement seront plus onéreux avec l'UMTS qu'avec EDGE.

Le choix de la technologie EDGE apparaît donc moins risqué, et, en Europe, un opérateur italien a annoncé à la fin de l'année 2003 qu'il privilégierait cette technologie aux dépens de l'UMTS. L'intérêt pour EDGE ne s'est développé qu'à partir du moment où l'on a commencé à mettre en doute la rentabilité commerciale de l'UMTS. En conséquence, cette technologie n'est pas parfaitement au point, et son lancement par Mobitel interviendrait alors vers la fin 2005.

Le « statu quo » : densification du réseau GSM, en attendant l'arrivée d'une technologie supérieure à l'UMTS

L'autre alternative qui s'offre à Mobitel consiste tout simplement à maintenir la technologie GSM pendant quelques années supplémentaires. Mobitel devrait alors uniquement procéder aux investissements nécessaires pour densifier le réseau GSM, et ainsi pallier aux problèmes de capacité qui se profilent.

C'est une stratégie tout à fait réaliste, car Mobitel pourrait ensuite passer directement à la technologie supérieure, que l'on nommera ici la « 3.5 / 4G ». En effet, avant même le lancement de la « 3G », diverses publications mentionnent déjà une possible « 4G », sur laquelle les recherches progressent rapidement. Cette quatrième génération de téléphonie mobile permettrait la transmission de débits encore plus importants, et serait moins onéreuse à déployer que l'UMTS.

En résumé, quatre grandes possibilités s'offrent à Mobitel :

- Scénario S0 : lancement de l'UMTS en décembre 2004 ;
- Scénario S1 : lancement de l'UMTS en décembre 2005 ;
- Scénario S2 : lancement de EDGE en décembre 2005 ;
- Scénario S3 : « statu quo » : densification du réseau GSM en attendant l'arrivée d'une technologie supérieure à l'UMTS.

Ces différentes alternatives font l'objet de projections financières par Mobitel (Tableau 5.2).

Tableau 5.2 : Comparaison de la VAN des différents scénarii (*)

(en UM)	CF générés (V)	Investissement (I)	VAN (V-I)	VAN / I
S0 UMTS fin 2004	1 031	838	192	23%
S1 UMTS fin 2005	734	598	136	23%
S2 EDGE fin 2005	487	353	134	38%

Note (*): VAN incrémentale dégagée par rapport au scénario « statu quo »

C'est le scénario S0 prévoyant un lancement rapide de l'UMTS qui génère la VAN la plus élevée.

Les opérationnels soulignent qu'en cas de report, Mobitel serait devancé par Comptel. En effet, ce dernier a annoncé qu'il commercialiserait l'UMTS en juin 2005. Une telle situation nuirait significativement au positionnement concurrentiel de Mobitel. L'opérateur subirait à la fois des pertes de parts de marché, et une réduction de l'ARPU (Average Revenue Per Unit) provoquée par le départ des clients les plus rentables. C'est essentiellement ce risque de préemption par Comptel qui explique que la VAN du scénario 1 soit inférieure à celle du scénario 0.

De même, en dépit d'un coût d'investissement moindre, la technologie EDGE affiche une VAN inférieure à celle de l'UMTS. Ceci s'explique essentiellement par le fait que les applications offertes par EDGE sont plus limitées que celles de l'UMTS, et génèrent donc un ARPU moindre.

II.3. Un investissement risqué : présentation des principales sources d'incertitude

D'un autre côté, le déploiement d'un réseau UMTS nécessite un investissement très lourd, et il est irréversible. Or, comme le soulignent les responsables du département « Finance », les incertitudes qui pèsent sur la réussite de cet investissement sont nombreuses.

II.3.1. Une forte incertitude pesant sur le niveau de la demande

La principale source d'incertitude affectant la rentabilité du réseau UMTS porte sur le niveau de la demande. Les variables clé sont la vitesse de pénétration de l'UMTS, et le revenu moyen généré par abonné (ARPU). Le tableau 5.3 montre que la VAN du projet est très sensible à la valeur prise par ces paramètres.

Tableau 5.3 : Analyse de sensibilité de la VAN du projet UMTS (scénario S0) au niveau de la demande (en UM)

	Vitesse pénétration		ARPU données 3G		ARPU voix 2G	
	v		$Rd3G$		$Rv2G$	
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
	0.5	1.2	6	20	20	30
VAN (S0)	-85	520	-116	548	-80	465
VAN (S1)	-148	452	-139	468	-67	353
VAN (S2)	-52	361	-2	317	16	276

Incertitude sur la vitesse de pénétration de la technologie UMTS

Les résultats des calculs de VAN présentés dans le Tableau 5.2 reposent sur des hypothèses de vitesse de pénétration de l'UMTS relativement optimistes. En réalité, il est tout à fait envisageable que l'UMTS ne « décolle » pas de façon aussi rapide que prévu.

Par rapport au GSM, la principale innovation apportée par la technologie UMTS réside dans la possibilité de transmettre des données avec un débit important, et de façon simultanée avec la voix. Ces possibilités ouvrent la voie à de nombreuses applications, parmi lesquelles on peut notamment citer :

- La réception et l'envoi de courriers électroniques ;
- La visiophonie (téléphoner, tout en voyant l'image de son interlocuteur) ;

- La consultation d'internet, permettant par exemple, de gérer à distance son compte en banque, de lire les informations, de recevoir un bulletin météo, etc. ;
- Le commerce électronique.

Cependant, les études marketing, montrent que les consommateurs n'ont qu'un intérêt très limité pour « l'internet mobile ». Parmi les applications énumérées ci-dessus, aucune n'apparaît aux yeux des consommateurs suffisamment attractive pour justifier le prix d'un abonnement UMTS, qui est significativement plus élevé que celui d'un abonnement GSM (environ plus 20 à 30%).

En dehors du fait que ces différentes applications sont un peu perçues comme des « gadgets » accessoires, les terminaux n'offrent pas une ergonomie suffisante (poids, taille de l'écran, autonomie de la batterie) pour pouvoir bénéficier d'un bon confort d'utilisation. Il reste donc des efforts technologiques à produire sur ces aspects.

Ainsi, les débuts de l'opérateur « 3 » en Italie et au Royaume-Uni ont été décevants. Ce n'est finalement qu'en offrant des prix cassés sur la « voix » que cet opérateur a pu finalement augmenter le nombre d'abonnés, qui ne se montraient guère intéressés par la transmission de données !

Incertitude sur le revenu moyen généré par abonné (Average Revenue Per Unit)

Ce revenu moyen a deux composantes : une composante « voix » et une composante « données ». Lors de l'attribution des licences UMTS, et en se basant sur l'exemple du Japon, les opérateurs ont tablé sur le fait que la baisse continue de l'ARPU Voix serait compensée par une hausse de l'ARPU Données.

En Europe cependant, aucun élément ne permet d'étayer ce raisonnement. En particulier, il semble que les possibilités d'accroissement de l'ARPU Données aient été largement surestimées. Nous avons mentionné le faible intérêt des consommateurs pour l'internet mobile. Même si, à grands renfort de subvention de terminaux, les opérateurs parvenaient à convaincre les abonnés de « migrer » du GSM vers l'UMTS, il est bien possible que la consommation pour le transport de données reste faible, les consommateurs se contentant d'une utilisation occasionnelle d'applications nécessitant un débit assez faible (par exemple la consultation et l'envoi de courriers électroniques sans fichier attaché).

Inversement, l'érosion de l'ARPU Voix que l'on a pu constater au cours des années précédente semble s'arrêter. A l'avenir, rien ne dit que l'ARPU Voix – et donc la rentabilité d'une activité basée sur la technologie GSM – continuera de baisser.

II.3.2. Incertitudes concurrentielles et technologiques

Par ailleurs, au-delà de l'incertitude sur le succès de l'UMTS, Mobitel est soumis à une forte incertitude sur la stratégie suivie par son principal concurrent. Rien ne garantit que Comptel se conformera à son annonce de lancer commercialement l'UMTS en juin 2005. Comptel a déjà reporté à plusieurs reprises le lancement commercial de son offre UMTS.

Les responsables financiers soulignent que si Mobitel repoussait d'un an le lancement de l'offre UMTS, Comptel pourrait bien faire de même. Dans ce cas, la VAN du scénario S1 serait nettement plus favorable que celle indiquée dans le Tableau 5.2.

Enfin, il existe une incertitude sur la date d'émergence de la technologie qui succédera à l'UMTS (« 3.5G », voire 4G). Cette date impacte directement la valeur du scénario « statu quo », qui prévoit de densifier le réseau GSM, avant de passer directement à la 3.5 / 4G.

II.3.3. Une analyse de risque plus poussée : les simulations de Monte Carlo et le calcul de la Value-at-Risk (VaR)

Les analyses de sensibilité de la VAN telles que celle pratiquée dans le Tableau 5.3 ne constituent qu'une analyse de risque assez grossière. Une approche plus appropriée consiste à réaliser des

simulations de Monte Carlo sur la valeur de la VAN du projet UMTS, et à en calculer la Value-at-Risk (VaR). En effet, cette technique permet de faire varier en même temps les différentes sources d'incertitude, et de tenir compte également des corrélations entre ces sources d'incertitude.

Nous détaillons en Annexe 4 les hypothèses concernant le profil de risque des variables incertaines. Ces hypothèses permettent d'effectuer les simulations de Monte Carlo, et par suite de calculer la VaR du projet. Pour rappel, les sources d'incertitude que nous avons modélisées sont les suivantes : Vitesse de pénétration de l'UMTS, ARPU voix, ARPU données, stratégie suivie par Comptel et année d'émergence de la technologie supérieure à l'UMTS.

Les résultats du calcul de VaR présentés dans le Tableau 5.4 révèlent que les pertes potentielles générées par le projet UMTS peuvent être très lourdes : selon le seuil de confiance retenu, elles sont de l'ordre de 580 à 700 MU, alors que la VAN espérée du projet est de 136 MU.

Tableau 5.4 : Résultat du calcul de VaR du projet UMTS

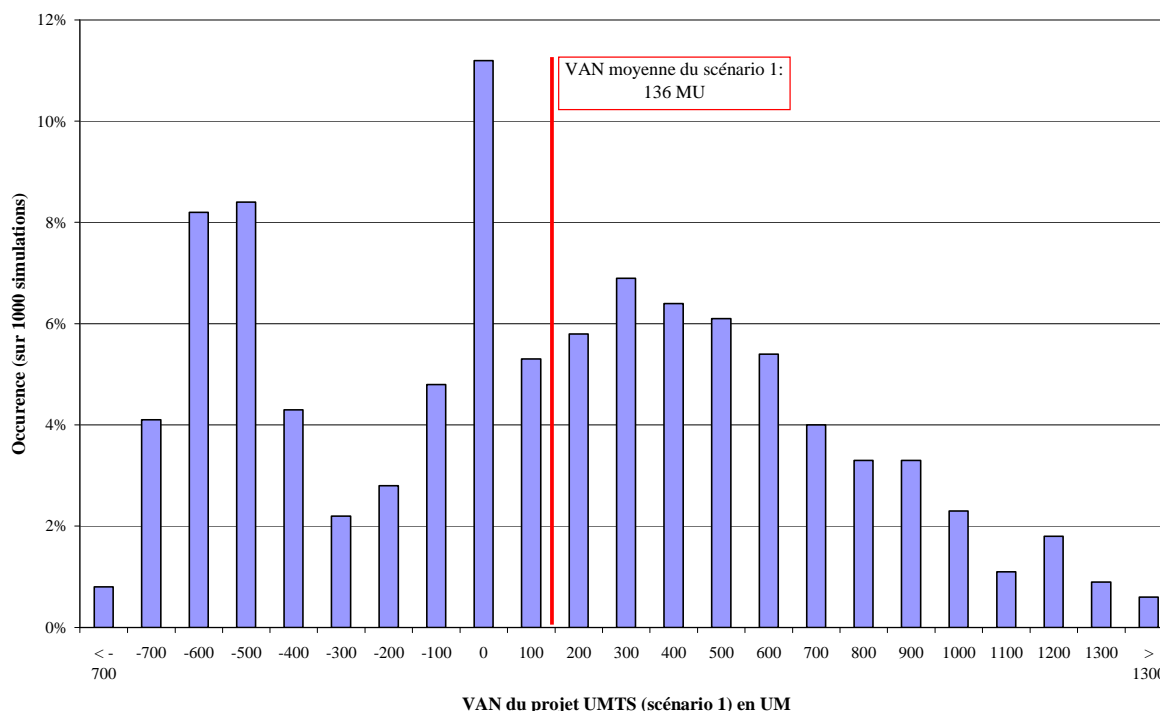
UM	Seuil de confiance		
	95%	90%	85%
VaR du projet UMTS^(*)	-692	-638	-582

Note : () : VaR calculée sur la VAN du scénario S1*

L'ampleur des pertes indiquée par la VaR s'explique par le fait que cet indicateur correspond aux pertes maximales auxquelles l'entreprise s'expose, lorsque toutes les sources d'incertitude prennent leur valeur la plus défavorable possible. A l'inverse, une simple analyse de sensibilité de la VAN (Tableau 5.3) n'indiquait que la perte enregistrée lorsqu'une seule source d'incertitude prenait sa valeur la plus défavorable.

En complément du calcul de VaR, il peut être intéressant d'étudier la distribution de la valeur du projet UMTS donnée par les simulations de Monte Carlo (Figure 5.1).

Figure 5.1 : Distribution de la VAN du projet UMTS obtenue par les simulations de Monte Carlo (UM)



L'analyse de l'ensemble de la distribution de la VAN du projet confirme les pertes très élevées (supérieures à 400 UM) pouvant être enregistrées par l'investissement dans un réseau UMTS (22% des tirages). Inversement, dans 23% des cas, les gains peuvent être très attractifs (VAN supérieure à 500 UM).

La courbe de distribution de la VAN montre aussi que dans 47% des cas, la VAN du projet UMTS est négative ou nulle.

Le fait d'avoir complété le calcul de la VAN moyenne par des simulations de Monte Carlo a permis de mieux cerner le risque du projet. Néanmoins, ces outils donnent une idée trompeuse de la rentabilité et du profil de risque du projet, car ils incluent des configurations peu réalistes. Si par exemple Mobitel repousse d'un an le lancement de l'UMTS, et s'aperçoit à l'issue de cette période que cette technologie n'est pas rentable, alors il ne déploiera pas de réseau UMTS !

III. Analyse optionnelle de la décision d'investissement

III.1. Principe de la démarche optionnelle

Les analyses réalisées précédemment, c'est-à-dire l'estimation de la VAN moyenne, les analyses de sensibilité de la VAN, et le calcul de la Value-at-Risk de la VAN sont des approches statiques : elles valorisent un projet d'investissement dans une configuration bien précise, sans possibilité d'évolution.

A l'inverse, l'approche par les options réelles envisage d'emblée que le projet d'investissement pourra être modifié au cours du temps en fonction de l'évolution des paramètres incertains.

Si Mobitel décide de ne pas lancer l'UMTS immédiatement, alors il se donne la possibilité, dans un an, de choisir entre trois stratégies :

- Scénario S1 : lancement de l'UMTS en décembre 2005.
- Scénario S2 : lancement de l'EDGE en décembre 2005.
- Scénario S3 : abandon de l'UMTS, et densification du réseau GSM pour pallier aux problèmes de capacité, en attendant l'émergence d'une technologie supérieure à l'UMTS.

Le choix du scénario le plus profitable sera alors nettement plus facile à effectuer qu'à la date d'aujourd'hui, car l'opérateur disposera à cette date là d'informations plus solides pour juger de la rentabilité du projet. En particulier, il pourra appuyer sa décision sur les éléments suivants :

1. Concernant la vitesse de pénétration de l'UMTS

- Mobitel pourra mieux juger de la capacité des équipementiers à fournir en quantité suffisante des terminaux répondant aux exigences des consommateurs ;
- L'intérêt des consommateurs pour l'internet mobile pourra s'être accru, si les fournisseurs de contenu ont réussi à mettre au point des offres attractives ;
- Mobitel pourra également élaborer des projections beaucoup plus sûres, en se basant sur la vitesse de pénétration de l'UMTS observée dans les pays qui auront lancé cette technologie. (en particulier l'opérateur « 3 » en Italie et au Royaume-Uni) ;
- Par ailleurs, Mobitel pourra également se baser sur les résultats obtenus par les opérateurs ayant fait le choix de la technologie EDGE, plutôt que de l'UMTS : dans la mesure où EDGE offre presque les mêmes fonctionnalités que l'UMTS, mais à un coût moindre, peut être cette technologie sera-t-elle appréciée des consommateurs ?

2. Concernant l'évolution de l'ARPU

- Mobitel pourra mieux juger si l'arrêt de la baisse de l'ARPU voix que l'on pouvait observer en 2002 - 2003 était temporaire, ou s'il correspond à un phénomène de longue durée.
- Mobitel pourra observer quels ARPU données ont été dégagés par les opérateurs ayant lancé l'UMTS dans d'autres pays d'Europe.

3. Concernant la stratégie de Comptel

Mobitel maintient une observation très attentive des investissements de son concurrent, notamment en matière d'acquisition de sites sur lesquels sont installés les antennes. Ainsi, dans un an, Mobitel disposera d'une vision plus précise de la stratégie de Comptel à l'égard de l'UMTS.

4. Concernant la date d'émergence d'une technologie concurrente à l'UMTS

Dans un an, Mobitel disposera d'éléments plus fiables quant aux progrès réalisés pour l'émergence d'une technologie de « quatrième génération ».

III.2. Caractéristiques de l'option étudiée dans le cadre du projet d'investissement « UMTS »

Le projet d'investissement de Mobitel dans l'UMTS peut donc être assimilé à une option d'attente, dont les caractéristiques sont les suivantes :

- *Sous-jacent* : cash-flows générés par l'exploitation d'un réseau UMTS ;
- *Prix d'exercice* : investissement nécessaire pour déployer un réseau UMTS ;
- *Temps restant jusqu'à l'échéance* : un an.
L'option doit être exercée au plus tard dans un an : au delà de la fin 2004, Mobitel devra avoir pris une décision (UMTS, EDGE, densification du réseau GSM), sans quoi il risque d'être confronté à d'importants problèmes de capacité.
- *Type d'option* : option européenne

Il s'agit d'une option européenne, car l'option peut difficilement être exercée de façon anticipée. Ceci s'explique par deux raisons principales :

- L'investissement dans un réseau de télécommunications est une opération complexe et de grande envergure, qui nécessite une grande préparation. Pour des raisons techniques et organisationnelles, on peut raisonnablement estimer que la fréquence *maximale* de révision d'une telle décision est de l'ordre de 6 mois.
- Le phénomène de « révélation de l'information » est progressif. Dans le cas d'une option financière, le détenteur de l'option connaît exactement la valeur du « pay-off » en cas d'exercice anticipé. A l'inverse, si Mobitel souhaitait exercer son option d'attente de façon anticipée, l'opérateur le ferait en n'ayant réduit que de façon partielle l'incertitude affectant la valeur du sous-jacent, et donc du pay-off.

Dans la section 2, nous valorisons deux options différentes.

- Une option, appelée « option UMTS », dont l'exercice consiste à déployer un réseau UMTS. Nous noterons sa valeur VO (UMTS).
- Une option, appelée « option UMTS + EDGE », dont l'exercice consiste à déployer soit un réseau UMTS, soit un réseau EDGE. Nous noterons sa valeur VO (UMTS + EDGE). Cette option comporte plusieurs modalités d'exercice. Elle se distingue d'une option financière classique, et est donc plus complexe à valoriser.

Nous avons maintenant défini les caractéristiques de l'option étudiée, et sommes donc en mesure de déterminer les modèles de valorisation appropriés. Dans la section suivante, nous nous attacherons donc à valoriser l'option d'attente dont dispose Mobitel.

SECTION 2 : VALORISATION DE L'OPTION

Dans cette section, nous valorisons l'option d'attente détenue par Mobitel par trois méthodes différentes :

- Un modèle déterminant la valeur d'option de façon analytique : la formule de Black et Scholes, qui est le modèle analytique de référence pour la valorisation d'une option européenne simple.
- Le modèle des arbres binomiaux ;
- La méthode présentée en Chapitre 4 par les simulations de Monte Carlo.

I. Valorisation par le modèle de Black & Scholes

I.1. Détermination de la valeur des paramètres

I.1.1. Valeur du prix d'exercice (K)

Le prix d'exercice d'une option réelle correspond à l'investissement nécessaire pour lancer le projet. Concrètement, pour établir la valeur de ce paramètre, il faut prendre en compte les considérations suivantes.

1. Comme pour le calcul de VAN, il ne faut pas considérer l'investissement correspondant au projet lui-même, mais plutôt l'investissement additionnel nécessité par le projet par rapport au scénario « statu quo » (scénario S3).
2. Par ailleurs, il s'agit de l'investissement à consentir dans le cas où le projet est repoussé d'un an. Dans notre étude de cas, ce montant est différent de l'investissement à consentir si le projet UMTS est lancé immédiatement, notamment en raison des importants progrès techniques que l'on peut espérer réaliser sur une période de un an, pour une technologie comme l'UMTS qui n'a pas atteint sa maturité. Avec les notations que nous avons adoptées dans cette étude de cas, il faut donc prendre en compte $I(S1)$, et non pas $I(S0)$.
3. Une analyse détaillée des business plans des différents scénarios révèle que les coûts d'investissement peuvent être classés en deux catégories : certains sont fixes, tandis que d'autres peuvent être ajustés en fonction du trafic. Or, le modèle de Black et Scholes a été développé pour valoriser une option dont le prix d'exercice K est constant, quel que soit le cours du sous-jacent S au moment de l'exercice de l'option.
En conséquence, il ne faut inclure dans le prix d'exercice que les coûts d'investissement fixes. Les coûts d'investissements qui sont proportionnels au chiffre d'affaires seront réintégrés dans la valeur du sous-jacent.
4. Enfin, les valeurs sur lesquelles nous avons raisonné jusqu'à présent sont actualisées par rapport à l'année 2003. Il faudra les actualiser par rapport à l'année 2004, date d'échéance de l'option.

Ayant effectué ces quatre opérations, nous obtenons un prix d'exercice de 1 202 UM.

I.1.2. Valeur du sous-jacent (S)

La valeur du sous-jacent correspond aux cash-flows générés par le projet UMTS. En effectuant des opérations similaires à celles décrites pour le prix d'exercice, nous obtenons une valeur du sous-jacent égale à 1358 UM.

1.3.3. Valeur du paramètre de volatilité (σ)

A quoi le paramètre de volatilité σ correspond-il concrètement ?

Tout d'abord, il faut noter que ce paramètre décrit la volatilité suivie par les cash-flows *globaux* du projet, et non pas la volatilité de telle ou telle source d'incertitude à laquelle est soumis le projet. Ces cash-flows globaux ne sont pas ceux générés par le projet en tant que tel, mais correspondent en fait à la *différence* entre les cash-flows que l'on aurait obtenus si le projet avait été lancé (ici : scénario S1), et les cash flows que l'on aurait obtenus si le projet avait été abandonné (ici : scénario S3). Si l'on reprend les notations adoptées dans cette étude de cas, σ correspond donc à la volatilité de la valeur prise par V (S1-S3).

Plus précisément, dans le modèle de Black et Scholes, le paramètre σ correspond à la volatilité observée sur le *taux de rendement* μ de la valeur du projet, avec : $\mu = \ln [V(S1-S3) / V (S0-S3)]$.

Or, nous avons vu dans le calcul de VaR que les cash-flows générés par le projet UMTS sont soumis à plusieurs sources d'incertitude, qui présentent chacune une volatilité, et de manière générale, un profil de risque différents.¹⁰⁹ La plupart de ces sources d'incertitude (« ARPU Voix », stratégie de Comptel, date d'arrivée de la 4G) affectent également les cash-flows générés par le scénario « statu quo » (scénario 3).

Certains chercheurs suggèrent que la volatilité soit estimée intuitivement par le manager.¹¹⁰ On voit ici que cela n'a pas de sens d'attendre de la part du manager une estimation de la volatilité prise par la variable μ .

Afin de parvenir à une estimation plus correcte de la volatilité, Copeland et Antikarov (2001) recommandent de procéder à des simulations de Monte Carlo. Dans cette étude de cas, il faudrait alors simuler les valeurs prises par la variable $\mu = \ln [V(S1-S3) / V (S0-S3)]$. La valeur du paramètre σ correspondrait à la volatilité observée pour la variable μ sur l'ensemble des simulations réalisées.

Malheureusement, la définition du taux de rendement comme un logarithme n'est dans la pratique pas toujours possible. Pour un certain nombre de simulations, V (S1-S3) prend en effet une valeur négative (cf. *section 2, IV. Comparaison des résultats obtenus par les différentes méthodes de valorisation*), et cela n'est donc mathématiquement pas possible d'en calculer le logarithme. Ce problème ne se pose pas dans la théorie, car le modèle de Black et Scholes fait l'hypothèse que le sous-jacent suit un mouvement brownien géométrique, et ne peut donc pas prendre de valeur négative.

Comme les simulations de Monte Carlo ne nous permettent pas de déterminer une valeur pour σ , nous calculerons la valeur de l'option pour différents taux de volatilité possibles, et effectuerons des analyses de sensibilité.

1.2. Résultats numériques

Le Tableau 5.7 récapitule la valeur de l'option d'attente établie par la formule de Black et Scholes pour différents niveaux de volatilité du sous-jacent.

¹⁰⁹ cf. Annexe 4

¹¹⁰ Cf. Approche « subjective » décrite par Borison, 2005

Tableau 5.5 : Valorisation de l'option UMTS par la formule de Black et Scholes

UM

Sous-jacent	$V'(S1 - S3)$	1 358			
Prix d'exercice	$I'(S1-S3)$	1 202			
Taux d'actualisation	r	14.3%			
Durée (années)	T	1			
Volatilité	σ	20%	30%	40%	50%
Valeur de l'option "UMTS" (VO UMTS)		326	353	388	426

II. Valorisation par le modèle binomial

La Figure 5.2 détaille les calculs réalisés pour calculer la valeur de l'option « UMTS » par la méthode des arbres binomiaux. Elle représente l'arbre d'évolution du sous-jacent, puis l'arbre permettant de calculer la valeur de l'option.

Les paramètres nécessaires pour la valorisation de l'option sont les mêmes que pour le modèle de Black et Scholes. Nous sommes donc à nouveau confrontés au problème de l'estimation de la volatilité. Nous effectuerons donc des analyses de sensibilité sur la volatilité. Pour la Figure 5.2, nous avons pris une volatilité de 40% par an, soit 12% par mois.

Figure 5.2 : Exemple de valorisation de l'option « UMTS » par la méthode des arbres binomiaux

Sous-jacent à l'échéance	S	1 358												
Prix d'exercice UMTS	K	1 202												
Volatilité (par mois)	σ	12%	u	1,12										
Taux d'actualisation (par mois)	r	1,2%	d	0,89										
			p	0,52										
Valeur du sous-jacent														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	1 358	1 524	1 711	1 920	2 155	2 419	2 715	3 047	3 420	3 839	4 308	4 836	5 428	
		1 210	1 358	1 524	1 711	1 920	2 155	2 419	2 715	3 047	3 420	3 839	4 308	
			1 078	1 210	1 358	1 524	1 711	1 920	2 155	2 419	2 715	3 047	3 420	
				960	1 078	1 210	1 358	1 524	1 711	1 920	2 155	2 419	2 715	
					856	960	1 078	1 210	1 358	1 524	1 711	1 920	2 155	
						762	856	960	1 078	1 210	1 358	1 524	1 711	
							679	762	856	960	1 078	1 210	1 358	
								605	679	762	856	960	1 078	
									539	605	679	762	856	
										480	539	605	679	
											428	480	539	
												381	428	
													340	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Exercice
	390	515	668	851	1 066	1 314	1 596	1 915	2 274	2 679	3 135	3 648	4 226	UMTS
		264	361	484	637	821	1 037	1 286	1 569	1 887	2 246	2 651	3 106	UMTS
			164	234	329	451	604	790	1 009	1 259	1 541	1 859	2 218	UMTS
				91	137	203	294	415	571	760	981	1 231	1 513	UMTS
					42	68	108	168	256	377	537	732	953	UMTS
						15	26	45	77	129	212	336	509	UMTS
							3	6	11	22	42	81	156	UMTS
								0	0	0	0	0	0	Abandon
									0	0	0	0	0	Abandon
										0	0	0	0	Abandon
											0	0	0	Abandon
												0	0	Abandon
													0	Abandon

Le Tableau 5.6 récapitule la valeur de l'option UMTS par la méthode des arbres binomiaux pour différents niveaux de volatilité du sous-jacent.

Tableau 5.6 : Valorisation de l'option UMTS par la méthode des arbres binomiaux

<i>UM</i>					
Sous-jacent	$V' (S1 - S3)$	1 358			
Prix d'exercice	$I' (S1-S3)$	1 202			
Taux d'actualisation	r	14.3%			
Durée (années)	T	1			
Volatilité	σ	20%	30%	40%	50%
Valeur de l'option "UMTS" (<i>VO UMTS</i>)		325	354	390	430

III. Valorisation par les simulations de Monte Carlo

La première étape consistant à simuler les valeurs possibles du sous-jacent à l'échéance a déjà été effectuée lors du calcul de la VaR (section 1).

On peut dès lors, pour chaque simulation, aisément calculer le pay-off de l'option. Celui-ci correspond au maximum entre la VAN du scénario 1 et la valeur 0 (cf. cellule F29 dans la Figure 5.3). Si l'on souhaite valoriser l'option ouvrant également la possibilité d'un déploiement de EDGE (et non pas seulement un choix binaire entre l'UMTS et l'abandon), alors le pay-off correspond au maximum entre la VAN du scénario 1, la VAN du scénario 2 et la valeur 0 (cf. cellule F30 dans la Figure 5.3).

Figure 5.3 : Exemple d'une simulation, et du calcul du « pay-off » de l'option à l'échéance

	A	B	C	D	E	F	G
1	Paramètres incertains						
2	Code	Description			Valeur		
3	Rv 2G	ARPU Voix GSM		26,6			
4	Rd 2G	ARPU Données GSM		6,5			
5	Rd 3G	ARPU Données UMTS		13,2			
6							
7	v	Vitesse de pénétration de l'UMTS		0,72			
8							
9	D4G	Date d'émergence de la "4G"		2010			
10							
11	Stratégie Comptel			2			
12	Date de lancement par Comptel pour le scénario 3						
13		Date lancement UMTS		juin-05			
14		Date lancement EDGE		juin-05			
15							
16	Calcul de la VAN des différents scénarios (en UM)						
17	Code	Scénario	V	I			
18	S1	UMTS fin 2005	6 032	1 423			
19	S2	EDGE fin 2005	5 857	1 182			
20	S3	Statu quo	5 430	869			
21							
22	Cash-flows additionnels générés par rapport à une stratégie "statu quo" (S3)						
23	Code	Scénario	V	I	VAN		
24	S1	UMTS fin 2005	602	554	48		= D18 - D20
25	S2	EDGE fin 2005	427	313	114		
26							
27	Pay-off de l'option à l'échéance						
28	Option étudiée		Notation		Pay-off		Exercice
29	Option "UMTS"		VO (UMTS)		48		Oui (UMTS)
30	Option "UMTS + EDGE"		VO (UMTS + EDGE)		114		Oui (EDGE)
							= max (E24;E25;0)

A chaque simulation, la valeur des variables incertaines (cellules sur fond gris dans la Figure 5.3) change, et on calcule la valeur du pay-off correspondant. La valeur de l'option d'attente correspond alors à la moyenne des pay-offs observés au cours des n simulations.

Les valeurs d'option obtenues à l'issue de 1000 simulations sont, suivant la prise en compte ou non de l'alternative EDGE, indiquées dans le Tableau 5.7.

Tableau 5.7 : Valorisation de l'option UMTS et de l'option UMTS + EDGE par la méthode des simulations de Monte Carlo

(en UM)	Notation	Valeur d'option
Option UMTS	VO (UMTS)	310
Option UMTS + EDGE	VO (UMTS + EDGE)	341

IV. Comparaison des résultats obtenus par les différentes méthodes de valorisation

Nous avons retenu deux principaux critères de comparaison des méthodes de valorisation d'options réelles :

- La qualité numérique des résultats obtenus ;
- La facilité d'utilisation et l'acceptabilité par les dirigeants. Même si les résultats obtenus sont pertinents, encore faut-il que la méthode soit suffisamment simple et accessible pour pouvoir être appliquée dans le monde de l'entreprise.

IV.1. Qualité des résultats numériques obtenus

Tableau 5.8 : Comparaison des résultats obtenus avec différentes méthodes de valorisation d'option

<i>(en UM)</i>	Black & Scholes	Arbre binomial	Simulations de Monte Carlo
VO (UMTS)	326-426	325-430	310
VO (UMTS+EDGE)			341

L'analyse du Tableau 5.8 comparant les résultats obtenus par les trois méthodes appelle à deux principaux commentaires :

- Contrairement aux arbres binomiaux et au modèle de Black et Scholes, les simulations de Monte Carlo permettent de valoriser des options complexes.
- On observe une divergence des résultats entre d'une part la méthode par les simulation de Monte Carlo, et d'autre part les arbres binomiaux et le modèle de Black et Scholes.

IV.1.1. Capacité à valoriser des options complexes

L'option d'attente dont dispose Mobitel est une option complexe, car il existe plusieurs modalités d'exercice à l'échéance : l'option peut être exercée soit en déployant un réseau UMTS, soit en déployant un réseau EDGE.

Comme nous l'avons indiqué dans le Chapitre 3, le modèle de Black et Scholes et la méthode des arbres binomiaux sont peu souples d'utilisation, et ne permettent de valoriser qu'une option simple, avec une seule modalité d'exercice (ici : le déploiement d'un réseau UMTS).

A l'inverse, avec la méthode des simulations de Monte Carlo, il a été possible de valoriser l'option offrant la possibilité de déployer soit EDGE, soit UMTS.

L'implication pour la décision d'investissement est double :

- Le modèle de Black et Scholes et les arbres binomiaux tendent à sous-évaluer l'option d'attente, car ils excluent la flexibilité supplémentaire offerte par la possibilité de déployer EDGE. A l'inverse, la méthode par les simulations de Monte Carlo montre bien que la valeur de l'option « UMTS+EDGE » est supérieure à la valeur de l'option « UMTS ».
- D'une manière générale, le modèle de Black et Scholes et les arbres binomiaux donnent une vision simpliste de la décision d'investissement, et excluent de la discussion toutes les hypothèses relatives à l'alternative « EDGE ».

IV.1.2. Divergence dans la modélisation du processus suivi par le sous-jacent

Le tableau 5.9 montre que les résultats obtenus par les arbres binomiaux et par la formule de Black & Scholes sont très proches (moins de 1% de différence). Ce résultat est logique, puisque la méthode des arbres binomiaux est une approximation du modèle de Black et Scholes.

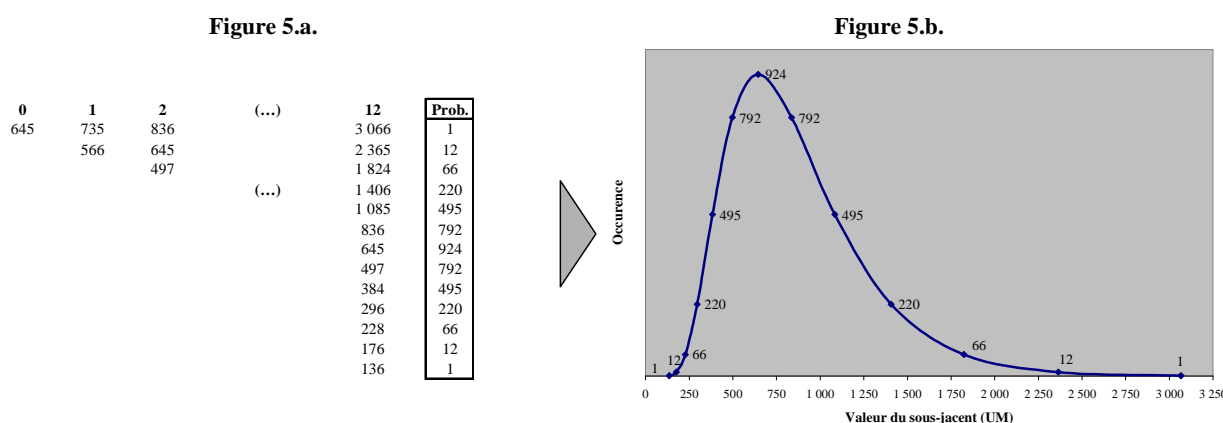
Tableau 5.9 : Comparaison des résultats du modèle des arbres binomiaux et du modèle de Black & Scholes

UM	Volatilité			
	20%	30%	40%	50%
Black & Scholes	326	353	388	426
Arbres binomiaux	325	354	390	430
% différence BS / arbres	-0,2%	0,3%	0,7%	0,8%

En revanche, le modèle de Black et Scholes et les arbres binomiaux conduisent à une valorisation supérieure à celle obtenue par les simulations de Monte Carlo (cf. Tableau 5.8). Cette divergence s'explique par le fait que les hypothèses concernant la distribution du sous-jacent à l'échéance sont différentes.

Le modèle de Black et Scholes, ainsi que le modèle des arbres binomiaux font l'hypothèse que le sous-jacent, c'est-à-dire la valeur des cash-flows dégagés par le projet étudié, suit un mouvement brownien géométrique (MBG). L'hypothèse du MBG implique que la distribution du sous-jacent à l'échéance suit une loi log-normale, comme indiqué dans la figure ci-dessous.

Figure 5.4 : Construction de l'arbre d'évolution du sous-jacent (fig. 5.4a.) et distribution du sous-jacent à l'échéance (fig. 5.4b.)



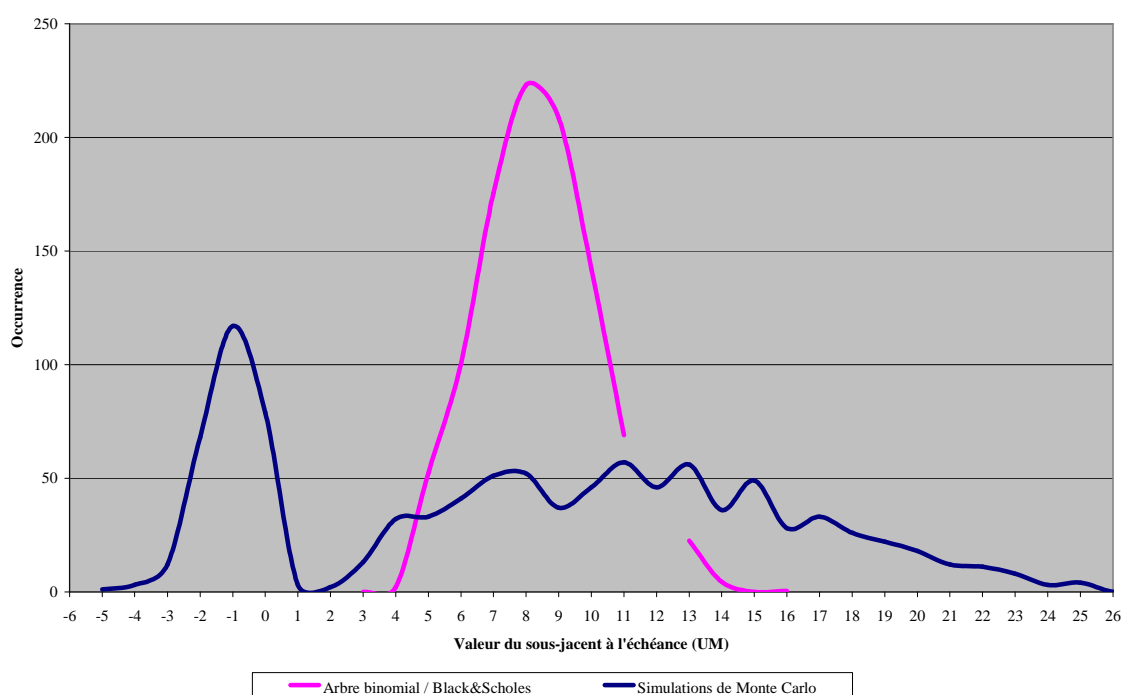
Par rapport aux deux modèles précédents, la méthode par les simulations de Monte Carlo ne nécessite pas de formuler d'hypothèse spécifique concernant la distribution du sous-jacent à l'échéance. Il s'agit seulement de préciser le profil de risque des différentes sources d'incertitude.¹¹¹ La distribution du sous-jacent à l'échéance est alors celle donnée par l'ensemble des simulations réalisées en appliquant les hypothèses concernant les sources d'incertitude.

La Figure 5.5 montre que la distribution révélée par les simulations de Monte Carlo est très éloignée de la distribution lognormale impliquée par l'hypothèse de MBG.

¹¹¹ cf. Annexe 4

- En particulier, une distribution log-normale ne génère que des valeurs positives pour le sous-jacent. Or, dans cette étude de cas, pas moins de 20% des simulations de Monte Carlo conduisent à des valeurs négatives pour le sous-jacent. Concrètement, ceci signifie que dans certains cas le projet UMTS génère des cash-flows inférieurs à ceux qui auraient été dégagés si Mobitel avait choisi de se concentrer sur la technologie GSM. Un tel cas de figure peut notamment se produire dans les scénarii où l'ARPU généré par les clients UMTS reste dans la fourchette basse des estimations. Les coûts importants de subvention des nouveaux terminaux (subscriber acquisition costs, ou SACs) ne sont alors plus compensés par la hausse de l'ARPU, ce qui conduit à des pertes opérationnelles.
- Par ailleurs, contrairement à la distribution log-normale, la distribution observée avec les simulations de Monte Carlo comporte plusieurs « pics », qui résultent des différentes stratégies de Comptel.

Figure 5.5 : Distribution de la valeur du sous-jacent à l'échéance suivant la méthode de valorisation d'option



IV.2. Facilité d'utilisation et acceptabilité par les dirigeants

Des logiciels ont été développés pour permettre aux utilisateurs de valoriser les options réelles par différentes méthodes, et notamment par la formule de Black et Scholes et par les arbres binomiaux.¹¹² En conséquence, la facilité d'utilisation des différentes méthodes de valorisation dépend essentiellement de la question de la valeur prise par les paramètres d'entrée.

La présente étude de cas constitue une bonne illustration de la difficulté pour le manager à estimer la valeur des paramètres de calcul lorsque la méthode utilisée est le modèle de Black et Scholes ou les arbres binomiaux. En l'espèce, deux paramètres ont posé problème : la volatilité et le prix d'exercice.

¹¹² Exemple : Real Options Toolkit, développé par la société Decisioneering.inc.

IV.2.1. Difficulté à estimer la volatilité du projet

Nous avons indiqué au début de cette section la difficulté à estimer la valeur du paramètre « volatilité » pour la formule de Black et Scholes et les arbres binomiaux. Ceci est particulièrement problématique, car le taux de volatilité retenu a un impact très marqué sur la valeur de l'option (cf. Tableau 5.9).

A l'inverse, la méthode par les simulations de Monte Carlo requiert de la part des utilisateurs d'indiquer la valeur et le profil de risque de paramètres qui correspondent à des éléments tangibles d'un business plan. Dans cette étude de cas, il s'agit du revenu par abonné (ARPU), de la vitesse de pénétration de l'UMTS, de la stratégie de Comptel et de la date d'émergence de la « 4G ». L'estimation de la valeur des paramètres de calculs est donc beaucoup plus aisée que pour les deux modèles précédents.

IV.2.2. Risque d'erreur dans l'estimation du prix d'exercice

Cette étude de cas illustre également les erreurs qui peuvent être commises dans l'estimation de la valeur du prix d'exercice.

Tableau 5.10 : Impact de la valeur du prix d'exercice sur la valeur d'option (valeur d'option calculée par la formule de Black & Scholes)

UM	Volatilité			
	20%	30%	40%	50%
Prix d'exercice = CAPEX totaux	249	260	276	297
Prix d'exercice = CAPEX fixes	326	353	388	426
% différence totaux / fixes	-24%	-26%	-29%	-30%

Nous avons indiqué au début de la section 2 que lorsque la formule de Black et Scholes ou les arbres binomiaux sont utilisés, la valeur du prix d'exercice correspond seulement au coût d'investissement fixe du projet.

Le Tableau 5.10 montre qu'une utilisation naïve du modèle de Black et Scholes dans laquelle on aurait pris la totalité du coût d'investissement comme prix d'exercice conduirait à une sous-estimation importante (25% à 30%) de la valeur de l'option.

Dans le cas de la méthode par les simulations de Monte Carlo, on ne s'expose pas à ce type d'erreur, car cette méthode n'impose pas la contrainte d'un prix d'exercice fixe.

IV.2.3. Acceptabilité du modèle de valorisation par les dirigeants

Trois principaux paramètres peuvent influencer sur l'acceptabilité par les dirigeants d'un modèle de valorisation.

- Le mécanisme utilisé pour la valorisation est-il compréhensible ?
- Le dirigeant a-t-il les moyens de juger de la pertinence de la valorisation ?
- Les compétences techniques requises pour comprendre et utiliser le modèle sont-elles importantes ?

Concernant le mécanisme de valorisation de l'option, on observe des différences importantes entre les différentes méthodes testées :

- Le modèle de Black et Scholes peut être comparé à une « boîte noire ».
- A l'inverse, le modèle des arbres binomiaux présente l'avantage d'être assez « parlant » pour le décisionnaire (Figure 5.2) : dans un premier temps, la construction d'un arbre d'évolution du sous-

jacent souligne le fait que la valeur du projet, telle qu'elle est estimée aujourd'hui, est soumise à une forte incertitude. Dans un deuxième temps, la construction de l'arbre pour calculer la valeur de l'option illustre clairement les stratégies possibles à l'échéance (ici : UMTS ou « statu quo ») suivant la valeur prise par le sous-jacent à l'échéance.

- Le modèle par les simulations de Monte Carlo est moins visuel que les arbres binomiaux, mais son principe de fonctionnement est aisé à comprendre pour les dirigeants : simuler les valeurs possibles du projet à l'échéance, sélectionner alors l'alternative la plus rentable, et calculer la moyenne des pay-offs sur l'ensemble des simulations.

Concernant la pertinence de la valorisation, celle-ci sera difficile à établir par le dirigeant dans le cas où la méthode utilisée est la formule de Black et Scholes ou les arbres binomiaux. En effet, nous avons vu que les paramètres d'entrée ne correspondent pas à des données observables.

Lorsque ces deux méthodes sont utilisées, le risque est donc que la valorisation de l'option réelle soit perçue comme un « exercice de style », et n'entre finalement que peu en compte dans la décision finale.

En revanche, la méthode par les simulations de Monte Carlo a été dans ce cas l'opportunité d'effectuer des hypothèses fines sur les principales sources d'incertitude, et leur impact sur la valeur du projet. Par exemple, il a fallu détailler les principales stratégies possibles de Comptel, et évaluer l'impact de chacune sur les cash-flows dégagés par Mobitel.

De même, plutôt que de raisonner sur des données moyennes, la méthode par les simulations de Monte Carlo a nécessité par exemple d'indiquer une fourchette pour l'ARPU généré par la 3G ou pour la vitesse de pénétration de l'UMTS.

Cette approche présente deux principaux avantages pour le processus de décision.

- Elle permet d'établir un dialogue entre d'une part les personnes qui soumettent le projet au comité d'investissement, et d'autre part les personnes qui prennent la décision d'investissement. En effet, les dirigeants peuvent avoir connaissance des hypothèses retenues pour la modélisation des différentes sources d'incertitude, et ainsi apprécier la pertinence de la valorisation.
- Elle permet aux dirigeants de mieux cerner les principales sources de risque du projet, alors que le risque est appréhendé de façon globale avec les deux autres méthodes de valorisation d'option.

Enfin, en matière de compétences requises, on peut noter que la méthode par les simulations de Monte Carlo présente l'avantage d'être le prolongement du calcul de VaR / de l'analyse des risques par les simulations de Monte Carlo, qui est déjà pratiquée par un certain nombre d'entreprises.

Pour la formule de Black et Scholes et les arbres binomiaux, il est possible soit d'effectuer un calcul sur Excel, soit de recourir à des logiciels spécialisés.

SECTION 3 : DISCUSSION : APPORT DES OPTIONS REELLES A LA DECISION DE LANCEMENT D'UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE

Au cours de la collecte de données et des interviews réalisées pour l'analyse par les options réelles, nous avons eu l'opportunité d'observer le processus de décision chez Mobitel. Dans cette section, nous discutons en quoi les options réelles – qui étaient ici mises en œuvre à titre de test, mais pas vraiment appliquées dans l'entreprise – auraient pu potentiellement améliorer le processus de décision.

Il nous semble que les contributions des options réelles peuvent être observées à deux moments du processus (Tableau 5.11) : pour la prise de décision initiale, et également pour le suivi de la décision, au cas où le déploiement de l'UMTS serait reporté.

Tableau 5.11: Apports potentiels de l'analyse optionnelle au processus de décision d'investissement

	Situation observée chez Mobitel	Contribution potentielle des options réelles
Améliorer le processus pour la décision initiale	Déploiement du réseau UMTS reporté, alors que la VAN recommandait un déploiement rapide	Recommandation plus pertinente que la VAN sur la date optimale d'investissement
	Désaccord entre les opérationnels (crainte de la préemption par Comptel) et les financiers (crainte d'engager des investissements importants pour une technologie non rentable)	Dialogue plus constructif entre les décisionnaires
Etablir des règles de conduite claire en cas de report de l'investissement	En raison du montant élevé payé pour la licence, attention concentrée sur l'UMTS, sans intérêt réel pour des solutions techniques alternatives	Plus grande facilité à renoncer au projet si les signes d'échec se multiplient Plus grande réactivité pour lancer une technologie alternative en cas d'abandon
	Pas de plan d'action détaillé établi lorsque la décision de report a été prise	En cas de report, identification et chiffrage des actions à mener pour collecter l'information et maintenir l'option en vie

Nous commentons ci-après les éléments récapitulés dans le Tableau 5.11.

I. Une meilleure compréhension de la date optimale d'investissement

La décision de la date de lancement d'un nouveau produit est basée sur la comparaison entre deux alternatives mutuellement exclusives : le lancement rapide, ou le lancement différé. Dans cette étude de cas, la VAN et les options réelles parviennent à deux recommandations opposées (Tableau 5.12).

Tableau 5.12 : Comparaison des résultats de la VAN et de l'approche optionnelle

Méthode	VAN		Options réelles		
			B&S	Arbres	MC
Indicateurs (UM)	VAN Scénario 0	192	192		
	VAN Scénario 1	136	326-426	325-430	317
	VAN Scénario 2	134			341
Décision	Lancement immédiat de l'UMTS $VAN S0 > VAN S1 > VAN S2$		Report de la décision d'investissement $VO > VAN S0$		

Rappel:	Scénario 0	Lancement immédiat de l'UMTS
	Scénario 1	Lancement dans un an de l'UMTS
	Scénario 2	Lancement dans un an de EDGE

La règle de la VAN recommande un lancement rapide de l'UMTS. En effet, en raison du risque de préemption par Comptel, la valeur du scénario « lancement différé » (Scénario 1) est inférieure à celle du « lancement rapide » (Scénario 0). Dans le cas de marchés concurrentiels, où la prime pour le premier entrant est élevée, la règle de la VAN est biaisée car elle prend en compte le risque lié à l'attente (la préemption), mais pas les bénéfices de l'attente (la réduction de l'incertitude).

Avec l'approche optionnelle, le scénario de lancement différé peut être valorisé comme une option, car il est toujours possible d'abandonner l'UMTS dans un an. Quelle que soit la méthode de valorisation utilisée, nous avons ici obtenu une valeur d'option qui est supérieure à la VAN du « lancement rapide ». Même si la VAN du « lancement rapide » est positive, l'analyse optionnelle recommande donc de repousser la décision d'investissement, et de ne choisir entre l'UMTS, EDGE ou le statu quo que dans un an.

L'exemple de Mobitel montre qu'en ayant recours aux options réelles, on peut aboutir à une recommandation plus pertinente que si on effectue un simple calcul de VAN.

Alors que la VAN recommandait un lancement rapide de l'UMTS, le management de Mobitel a décidé de repousser le déploiement du réseau UMTS, en attendant qu'il y ait des signes plus clairs concernant la rentabilité de cette technologie. Finalement, l'opérateur a choisi une solution intermédiaire, déployant la technologie UMTS dans les zones les plus densément peuplées, et la technologie EDGE dans le reste du territoire. Ainsi, comme le recommandait l'approche optionnelle, Mobitel a pris pleinement avantage de la flexibilité offerte par l'attente.

II. Un outil de dialogue entre les décisionnaires

Les décisions stratégiques font souvent intervenir de nombreux responsables et groupes, qui poursuivent des objectifs divergents (Astley *et al.*, 1982). Ceci est particulièrement le cas lorsque l'objet de la décision est le lancement d'un nouveau produit (Hickson *et al.*, 1989 : 383).

Chez Mobitel, nous avons constaté que, sur la question du déploiement d'un réseau UMTS, le dialogue entre les opérationnels et les responsables financiers était difficile :

- Les opérationnels étaient préoccupés par le risque de préemption par Comptel, et se positionnaient clairement en faveur d'un lancement rapide de l'UMTS.
- Inversement, les responsables financiers craignaient d'engager des coûts d'investissement élevés et irréversibles dans une technologie peu profitable. Aussi, ils étaient en faveur d'un report de la décision d'investissement.

Au delà de la valorisation proprement dite, l'une des contributions potentielles des options réelles aurait été pour les services financiers de montrer que le fait de reporter la décision d'investissement avait de la valeur.

Dans le même temps, l'analyse optionnelle prenait également en compte le risque de préemption par Comptel. L'un des avantages des options réelles aurait été ici de confronter au sein d'un même outil les préoccupations des différentes parties.

Ainsi, l'un des apports de l'analyse optionnelle est d'améliorer l'efficacité du processus de décision en créant un dialogue plus constructif entre les différentes parties prenantes.

III. Une réactivité accrue en cas d'évolution défavorable

Les options réelles ne sont pas seulement utiles pour prendre la décision initiale de lancement ou non de la nouvelle technologie. Elles préparent également le management à un abandon éventuel du projet, et l'incite à formuler des scénarios alternatifs dès le départ. Un tel travail d'anticipation peut être particulièrement utile lorsque le lancement est reporté, et que divers signaux indiquent que le projet a peu de chances d'être rentable.

III.1. Le biais « anti-échec » ou la difficulté à abandonner un projet

Royer (2003) a réalisé une analyse détaillée de deux innovations technologiques manquées. L'auteur décrit l'attachement émotionnel que les personnes ressentent à l'égard d'un projet, et leur réticence à abandonner les projets. Ainsi, des entreprises peuvent supporter pendant des années le poids de grands projets déficitaires.

Plusieurs biais cognitifs peuvent inciter le management à poursuivre un projet en dépit de signaux défavorables (Staw, 1981; Kahneman *et al.*, 1982). En particulier, le « sunk cost effect » ou « l'escalade des engagements » (« *escalation of commitment* ») correspond à la tendance qu'ont les décisionnaires à poursuivre des projets dans lesquels ils ont déjà effectué des investissements substantiels, alors qu'un choix rationnel devrait reposer uniquement sur les coûts et les bénéfices marginaux du projet. Dans le cas de Mobitel, des sommes très importantes avaient déjà été investies dans l'acquisition de la licence UMTS. Nous avons pu observer que l'analyse était concentrée sur le seul scénario « UMTS », comme s'il n'y avait pas d'autre alternative possible. Même lorsque le scénario « report » était envisagé, c'était dans la perspective d'attendre des jours meilleurs. Mais il ne s'agissait pas de remettre en cause la décision de lancer l'UMTS.

D'après McGrath (1999) ce type de biais « anti-échec » (“*anti-failure bias*”) peut être évité grâce au raisonnement optionnel. L'analyse par les options réelles reconnaît dès le départ qu'un projet est risqué et que les hypothèses peuvent dévier du plan initial. En cas d'évolution défavorable du contexte économique, cela ne sera pas vécu comme une erreur de gestion, et sur le plan émotionnel, il sera donc moins difficile pour l'organisation d'abandonner le projet.

III.2. Une autre perspective du risque que les outils traditionnels d'aide à la décision

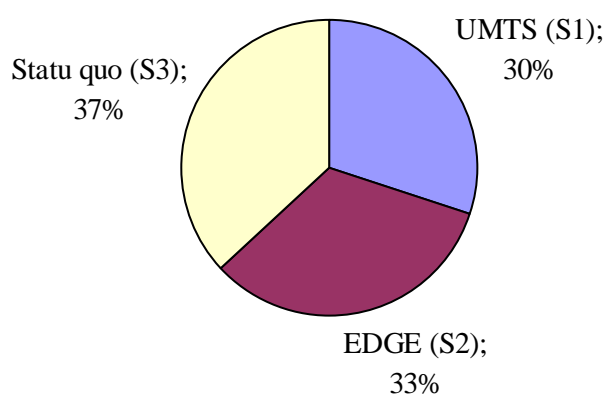
Des outils d'aide à la décision plus courants que les options réelles permettent au management de prendre conscience du risque d'échec du projet. Dans cette étude de cas, nous avons vu qu'une analyse de sensibilité de la VAN ou le calcul de la VaR permettaient de bien mettre en évidence l'éventualité d'un échec.

Plus précisément, ces outils permettent d'estimer quel est le montant maximum que l'entreprise peut perdre en cas d'échec du scénario principal (ici : l'UMTS). Le risque est envisagé ici dans une perspective de « pari », où l'entreprise se concentre sur un seul scénario possible. Dans cette logique,

ce qui prime pour les managers n'est pas tant la probabilité de succès du projet, que le montant des pertes maximales en jeu (March & Shapira, 1987).

Par rapport à ces outils, la contribution de l'analyse optionnelle est qu'elle incite les managers à envisager d'emblée plusieurs scénarii d'évolution de leur projet. Avec certaines méthodes de valorisation d'options – les arbres binomiaux et la méthode par les simulations de Monte-Carlo – il est possible d'estimer le pourcentage de réalisation de chaque scénario (cf. Figure 5.6).

**Figure 5.6 : Analyse de la stratégie optimale à l'échéance de l'option
(en % des simulations réalisées)**



Ainsi, l'analyse des résultats obtenus par la méthode des simulations de Monte Carlo révèle que l'UMTS ne correspond à la stratégie optimale à l'échéance que dans 30% des cas. Une analyse par les options réelles aurait permis au management d'accorder une plus grande attention à d'autres scénarios, comme la migration du réseau vers EDGE, permettant ensuite de passer directement à la 3.5G, voire à la 4G (33% de probabilité à l'échéance). Si l'UMTS devait être abandonné, Mobitel aurait ainsi pu être mieux préparé à rapidement réallouer ses ressources vers ces technologies alternatives.

III.3. Des indicateurs pour accélérer la prise de décision

Les recherches empiriques ont montré que l'évaluation quantitative d'un projet est réalisée au stade de la décision initiale, et que les entreprises ne font généralement pas l'effort de réactualiser cette valorisation par la suite (ex: Pennings & Lint, 2000).

Dans ces conditions, est-il réaliste de penser, comme le prévoit la logique optionnelle, que l'entreprise ré-évaluera régulièrement les différents scénarios possibles, et orientera son choix d'investissement en fonction des résultats de la dernière évaluation ?

L'une des solutions possibles consiste à exploiter les résultats de l'analyse optionnelle réalisée au moment de la décision initiale en mettant au point des « indicateurs ». Ce travail est possible lorsque la méthode de valorisation choisie est celle utilisant les simulations de Monte Carlo.

Dans cette étude de cas, nous avons ainsi analysé les données produites par 1000 simulations. Nous avons pu établir des valeurs seuil pour les indicateurs « vitesse de pénétration de la nouvelle technologie » et « ARPU données 3G » (cf. Tableau 5.13).

Mobitel pourra observer les performances obtenues par d'autres opérateurs ayant lancé l'UMTS dans d'autres pays européens. Si par exemple il s'aperçoit que l'ARPU données 3G réalisé par ces opérateurs est compris entre 12 et 13, mais que d'un autre côté, la vitesse de pénétration de l'UMTS n'est que de l'ordre de 0,7, alors il devra envisager sérieusement l'abandon de l'UMTS au profit de EDGE, voire du scénario « statu quo ».

Tableau 5.13 : Valeur des indicateurs permettant le déploiement du réseau UMTS

		Vitesse de pénétration de la nouvelle technologie (v)				
		<0.6	0,7	0,8	0,9	>1
ARPU données 3G (Rd 3G)	< 10	GSM	EDGE	EDGE	EDGE	EDGE
	10	GSM	EDGE	EDGE	EDGE	UMTS
	11	GSM	GSM	EDGE	EDGE	UMTS
	12	GSM	GSM	EDGE	UMTS	UMTS
	13	GSM	EDGE	UMTS	UMTS	UMTS
	14	GSM	GSM	UMTS	UMTS	UMTS
	> 14	GSM	UMTS	UMTS	UMTS	UMTS

La valorisation de l'option par les simulations de Monte Carlo permet donc de fixer à l'avance des règles de décision simples, et ainsi de faciliter un éventuel abandon du projet si les circonstances économiques l'exigent.

Ayant réalisé ce travail d'anticipation, l'entreprise sera dans l'avenir beaucoup plus réactive, et pourra s'adapter au plus vite à l'évolution du contexte économique. Pour reprendre Fayol (1916) : « *Prévoir, c'est à la fois supputer l'avenir et le préparer ; prévoir, c'est déjà agir* ».

IV. Des lignes directrices pour améliorer le processus de décision si l'investissement est repoussé

Les recherches empiriques ont montré que les décisions peuvent se prendre sur de longues périodes de temps (Butler *et al.*, 1991). En conséquence, les organisations ont besoin d'outils qui les guident au cours de tout le processus de décision.

Chez Mobitel, la direction avait décidé de repousser le déploiement du réseau UMTS, et de reconsidérer sa décision tous les six mois. Néanmoins, aucun plan détaillé n'avait été établi pour guider la décision dans l'intervalle, et pour créer les conditions de développement d'un scénario alternatif. C'était en quelque sorte « reculer pour mieux sauter ».

Dans ce contexte, l'un des apports des options réelles est d'identifier les actions nécessaires permettant de prendre la meilleure décision à l'avenir. Plus précisément, deux types d'actions doivent être entreprises :

- Des actions visant à réduire l'incertitude ;
 - Des actions permettant de maintenir l'option en vie, c'est-à-dire assurant l'existence d'une alternative viable au projet si celui-ci doit être abandonné à l'échéance de l'option.
- Par exemple, une des raisons évoquées pour ne pas abandonner l'UMTS était le risque de « rétorsion » de la part du régulateur, en rendant très difficiles les négociations de prolongation de la licence GSM. L'une des actions identifiées par l'analyse optionnelle aurait donc été de lancer une opération de lobbying auprès du régulateur pour se ménager une porte de sortie en cas d'abandon de l'UMTS.

Ceci ne signifie pas que d'autres outils de management n'aident pas à structurer l'analyse du projet. Par exemple, les simulations de Monte Carlo sur la VAN et le calcul de la VaR ont permis de mettre en évidence les principales sources d'incertitude. Les managers de Mobitel étaient bien conscients de ces incertitudes, et ont réalisé des projets pilotes pour l'UMTS, dans l'objectif d'effectuer des réglages techniques, mais aussi d'obtenir des informations sur la taille potentielle du marché.

Toutefois, l'analyse optionnelle apporte le bénéfice supplémentaire de discipliner le processus de décision (Amram & Kulatilaka, 1999; McGrath *et al.*, 2004). En effet, l'analyse optionnelle ne se résume pas à un calcul de valeur d'option. Elle nécessite de passer par des étapes bien précises. En particulier, une analyse fine des moyens nécessaires à la réduction d'incertitude, et l'élaboration de scénarios alternatifs en cas d'abandon du projet, sont nécessaires. Cet effort consacré à structurer l'analyse optionnelle peut alors être utilisé pour guider le processus de décision jusqu'à expiration de l'option.

De plus, le calcul de la valeur d'option permet au management d'obtenir un ordre de grandeur sur les dépenses qui doivent être consacrées à ces actions de suivi. Pennings et Lint (2000) utilisent les options réelles pour déterminer si un nouveau produit doit être introduit immédiatement, ou plutôt être testé au préalable sur la base d'un déploiement partiel. Simultanément, le modèle d'option indique la taille optimale du déploiement partiel qui permettra de réduire l'incertitude.

D'une façon similaire, nous pouvons considérer que la différence entre la valeur de l'option d'attente (341 UM) et la valeur du projet en cas de lancement immédiat (192 UM) correspond à la somme maximale que l'on pourrait allouer à des actions de réduction d'incertitude (réalisation de tests « grandeur nature », veille active des autres pays européens, etc.) et à des actions permettant le maintien d'un projet alternatif (actions de lobbying auprès du régulateur, travaux de R&D sur les technologies alternatives, etc.).

De même, la différence entre la valeur des deux options d'attente « UMTS » et « UMTS+EDGE » indique le coût maximal que l'on pourrait consacrer à des actions permettant le déploiement d'un réseau EDGE (par exemple, surcoût payé dans les opérations de maintenance du réseau pour pouvoir plus facilement migrer vers la technologie EDGE).

Conclusion du chapitre

Ce chapitre a permis de montrer, sur la base d'une étude de cas réelle, l'intérêt des options réelles pour la décision de lancement d'une nouvelle technologie dans un univers concurrentiel. La contribution de ce chapitre est double.

Tout d'abord, cette étude de cas démontre l'intérêt pratique des options réelles comme outil de valorisation de projet.

Les outils d'aide à la décision « classiques » comme la VAN et la VaR ont présenté dans cette étude deux principaux inconvénients : D'une part, ils incluaient des configurations peu réalistes, et donnaient une idée trompeuse de la rentabilité du projet. D'autre part, ils ne permettaient pas de trancher entre les bénéfices et les risques d'un report du déploiement.

Les options réelles ont permis de résoudre ces deux problèmes, et de fournir une recommandation pertinente sur le *timing* optimal de l'investissement.

Quelques autres études de cas¹¹³ ont déjà démontré l'intérêt de valoriser l'option de report, mais avec des données souvent très simplifiées, et pas dans un contexte concurrentiel. Plus spécifiquement, dans l'industrie des télécommunications, l'article d'Harmantzis et Tanguturi (2007) a étudié de façon nettement moins détaillée qu'ici la décision de report de l'investissement dans la « 3G » : les auteurs ne disposaient pas de données réelles ; ils ont eu recours pour la valorisation au modèle standard de Black & Scholes, et n'ont pas modélisé l'impact de la concurrence.

Du point de vue de la valorisation, nous pouvons tirer plusieurs enseignements de cette étude de cas.

Premièrement, ce cas a révélé que les caractéristiques de l'option à valoriser n'apparaissent pas spontanément. Ainsi, contrairement à ce que suggère la littérature, une décision d'investissement peut être considérée comme une option européenne, même si elle peut être en principe exécutée à tout moment. Nous nous trouvons dans un tel cas de figure si la révélation d'information intervient seulement à la fin de la vie de l'option.

Deuxièmement, cette étude a fait apparaître des différences importantes entre les différentes méthodes de valorisation, tant du point de vue de la qualité des résultats que de la facilité d'utilisation. **Par rapport à la formule de Black et Scholes et aux arbres binomiaux, nous avons pu constater que la méthode par les simulations de Monte Carlo permettaient de mieux prendre en compte les spécificités du projet, et donc d'aboutir à une valorisation plus pertinente.**

D'autre part, alors que les méthodes « classiques » de valorisation d'option nécessitent des paramètres globaux difficiles à estimer, la méthode par les simulations de Monte Carlo raisonne à partir du profil de risque des différentes sources d'incertitude du projet. Ceci incite les managers à développer une vision précise des risques du projet, et permet aux membres du comité exécutif de juger de la pertinence de la valorisation.

La deuxième principale contribution de cette étude est de montrer le rôle que peuvent jouer les options réelles dans le processus de décision.

La littérature aborde généralement les options réelles comme un simple outil de valorisation, qui est utilisé par un acteur unique pour prendre une décision à un moment précis dans le temps.

Cette étude de cas a illustré l'intérêt des options réelles pour faciliter un processus de décision impliquant différents groupes poursuivant des objectifs distincts.

D'autre part, elle a montré que la contribution des options réelles ne se limite pas à la décision initiale. Les options réelles devraient d'avantage être considérées comme une approche qui guide l'organisation tout au long du processus de décision. En particulier, elles incitent le management à réfléchir de façon active aux leviers d'action qui existent face à l'aléa (ici, la possibilité de déployer EDGE, ou encore de renforcer le GSM en attendant la « 3.5 / 4G »), et rendent donc l'abandon du

¹¹³ Cf. Section 1, § 1.2. : *Les options réelles : un outil prometteur pour déterminer la date optimale d'investissement.*

projet plus facile si nécessaire. Elles permettent également d'identifier et de chiffrer les actions qui permettront de prendre la meilleure décision par la suite (actions de réduction de l'incertitude, actions permettant de maintenir l'option en vie).

Cette étude de cas présente plusieurs limites.

En matière de valorisation, nous n'avons pas traité le problème du taux d'actualisation en marché incomplet.¹¹⁴

Une autre limite plus spécifique à cette étude de cas est que nous avons représenté ici un processus de décision stylisé. En réalité, la décision de déploiement d'un nouveau réseau est étalée sur une période de temps assez longue. Elle peut être décomposée en au moins deux phases : l'acquisition des sites sur lesquels les stations de bases seront installées, puis le déploiement de l'équipement, « hardware » et logiciel. En conséquence, l'étude de cas aurait dû idéalement analyser l'investissement comme un processus continu, plutôt que comme une décision en un bloc.

Enfin, la valorisation de l'option d'attente a été effectuée ici en modélisant la stratégie de Comptel en fonction de celle de Mobitel, mais avec des probabilités subjectives. Il serait plus approprié de modéliser la stratégie de Comptel en ayant recours à la théorie des jeux.

Le croisement des options réelles et de la théorie des jeux a donné lieu au développement d'une littérature relativement abondante mais elle reste essentiellement de nature théorique.¹¹⁵ Il serait donc particulièrement intéressant de tester ces modèles dans la pratique, et de les adapter à cette étude de cas.

A cet égard, deux principales possibilités pourraient être explorées. La première est de développer des modèles fondés sur des arbres de décision (voir par exemple Smit & Ankum, 1993), qui sont pour les managers beaucoup plus accessibles que les modèles analytiques. La seconde est d'utiliser des simulations numériques, qui permettent de travailler sur des hypothèses nettement moins contraignantes que celles des modèles analytiques (voir par exemple Murto *et al.*, 2004).

¹¹⁴ Cf. Chapitre 3, section 2, § II.2.4. *Une grande difficulté à estimer la valeur des paramètres utilisés par les modèles*

¹¹⁵ cf. Chapitre 1, section 2, § II.3.3. *Modèles d'option en univers concurrentiel*

*Chapitre 6 – Etude de
Cas « ADSL »*

Introduction

Après l'étude de cas consacrée dans le Chapitre 5 au déploiement d'un réseau de télécommunications mobiles de « 3^{ème} génération » dans les zones urbaines et péri-urbaines, **nous étudions dans ce chapitre la décision de déployer un réseau d'accès internet à haut débit utilisant la technologie ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) dans des zones à faible densité de population.**

Iatropoulos *et al.* (2004) ont étudié une problématique similaire, avec le déploiement, le long de la principale autoroute grecque, d'un réseau d'accès haut débit utilisant la fibre optique.

Les auteurs expliquent que la problématique d'investissement est fort différente de celle des zones à forte densité de population : dans les zones rurales, on rencontre le problème d'un coût d'infrastructure élevé, pour un nombre potentiel d'utilisateurs faible.

Il faut par ailleurs noter que le contexte dans lequel est réalisé l'investissement diffère, car il implique généralement les pouvoirs publics : dans les zones rurales, il existe un intérêt politique pour le déploiement d'infrastructures à haut débit, qui ne seraient pas déployées sur de purs critères de marché.

Comme dans l'étude de Iatropoulos *et al.* (2004), la décision d'investissement étudiée ici n'intéresse – au moins à moyen terme – qu'un seul opérateur. Ce dernier subit donc moins la pression du temps qu'en univers concurrentiel, et se pose ainsi la question du timing optimal de l'investissement sur plusieurs années.

La principale différence de cette étude de cas avec celle du chapitre précédent est que, en raison de l'univers monopolistique, l'option d'attente est analysée comme une option américaine.

Iatropoulos *et al.* (2004) ont valorisé l'option américaine en utilisant l'approximation de Black. Par rapport à leur étude, la contribution de ce chapitre est double. En premier lieu, **nous valorisons l'option américaine à l'aide de trois modèles différents, et comparons les résultats.** D'autre part, notre étude va au-delà de la valorisation de l'option. **Nous analysons dans quelle mesure le recours aux options réelles peut faciliter le processus de décision stratégique, en particulier lorsque celui-ci implique un partenariat avec les pouvoirs publics.**

Dans la première section, nous présentons la décision d'investissement, et sa nature optionnelle. Dans la deuxième section, nous valorisons l'option d'attente, en comparant trois modèles de valorisation différents. Dans la troisième section, nous nous interrogeons sur les apports de l'analyse optionnelle à la décision d'investissement étudiée.

Encadré 6.1 : Méthodologie suivie pour l'étude de cas du Chapitre 6

Cette étude de cas a été réalisée dans le cadre d'un contrat de recherche avec l'opérateur « AX Télécom ». Elle porte sur une décision d'investissement réelle. Pour maintenir la confidentialité, les résultats sont exprimés en unités monétaires (UM) ; certains chiffres ont été modifiés, mais cela n'altère pas les conclusions de l'étude.

Ce travail a été réalisé en collaboration étroite avec les services en charge des décisions d'investissement dans le réseau. Ces derniers étaient intéressés par une approche permettant de mieux prendre en compte l'incertitude dans la valorisation du projet, et qui donne une vision dynamique des déploiements de l'ADSL sur l'ensemble du réseau.

Nous avons initialement utilisé le modèle binomial pour valoriser l'option, mais nous nous sommes heurtés aux limites du modèle (difficile estimation de la volatilité, simplification des données du problème, alors que le projet d'investissement faisait l'objet d'un business plan très détaillé). Nous nous sommes alors tournés vers la méthode par les simulations de Monte Carlo.

Les résultats intermédiaires ont été validés au cours de réunions de travail en comité restreint. Les résultats finaux ont été présentés de façon plus large à l'ensemble du département.

SECTION 1: ANALYSE STRATEGIQUE DE LA DECISION D'INVESTISSEMENT**I. Contexte**

La présente étude de cas porte sur la décision de déploiement d'un réseau de télécommunication utilisant la technologie ADSL par un opérateur de télécommunication historique, AX Télécom.

L'ADSL est une technologie de télécommunications utilisant les lignes téléphoniques en cuivre, qui permet aux opérateurs de télécommunication de fournir un accès internet à haut débit. L'intérêt de l'ADSL réside notamment dans la possibilité de « surfer » rapidement sur internet, de télécharger de gros fichiers, et d'avoir accès en continu à internet et à sa messagerie électronique tout en laissant la ligne téléphonique disponible. L'ADSL permet donc un confort d'utilisation d'internet bien supérieur à celui offert par une liaison bas débit. A un horizon de temps un peu plus éloigné, les applications permises par l'ADSL sont particulièrement prometteuses, avec la téléphonie sur I.P., puis la télévision sur ADSL permettant de concurrencer les réseaux câblés et les bouquets satellitaires.

L'étude de cas a été réalisée au cours de l'année 2002. A cette date, AX Télécom a lancé avec succès une offre d'accès internet par ADSL dans les principales villes du territoire. Fort de cette expérience, et sous la pression des pouvoirs publics de promouvoir un égal accès aux nouvelles technologies de l'information sur l'ensemble du territoire, AX Télécom étudie l'opportunité de déployer l'ADSL dans les zones géographiques moins densément peuplées.

Néanmoins, le potentiel économique de l'ADSL dans les zones rurales est bien inférieur à celui des zones urbaines. En effet, le déploiement de cette technologie nécessite l'investissement dans des équipements coûteux, alors que le nombre de clients potentiel dans les zones rurales est restreint : la densité de population dans ces zones est beaucoup plus faible que dans les zones urbaines. De plus, les profils sociologiques des populations diffèrent, et rien n'assure que le « client des champs » portera autant d'intérêt à un accès internet haut débit que le « client des villes ».

Par ailleurs, la rentabilité économique du projet pourrait être significativement entamée par la baisse des prix de vente. Dans les zones urbaines, le lancement de l'ADSL par AX Télécom a été suivi par

l'arrivée de plusieurs nouveaux entrants. Ceux-ci ont mené une politique de prix agressive, et sous leur pression, le prix de vente moyen de l'ADSL offert par AX Télécom a dû baisser plus rapidement que ne l'avait anticipé l'opérateur historique.

En raison des perspectives économiques limitées de « l'ADSL des campagnes », ces nouveaux entrants ont indiqué qu'ils n'étendraient pas leur offre aux zones rurales avant plusieurs années. Néanmoins, dans la mesure où les prix de vente sont déterminés à l'échelle nationale, une forte pression concurrentielle dans les zones urbaines pourrait encore venir abaisser la rentabilité de l'ADSL dans les zones rurales.

Dans ce contexte, AX Télécom doit donc déterminer si le déploiement d'un réseau ADSL dans les zones rurales est économiquement viable. La décision d'investissement est prise de façon décentralisée, car le déploiement de l'ADSL sur l'ensemble du territoire ne se fera que progressivement et au cas par cas.

C'est donc à l'échelle de chaque Noeud de Raccordement d'Abonné (NRA) que la décision d'investissement est étudiée. Nous avons choisi dans cette étude de présenter la décision d'investissement pour un NRA pour lequel la rentabilité de l'ADSL était particulièrement incertaine.

II. Analyse de rentabilité et de risque du projet d'investissement

Un business plan est élaboré pour une décision d'investissement décidée en 2002, et permettant le lancement d'une offre commerciale ADSL début 2003. La durée de vie espérée du projet est de trois ans, de 2003 à 2005.

Le Tableau 6.1 récapitule le calcul de la Valeur Actuelle Nette du projet ADSL pour le NRA étudié.

Tableau 6.1 : Calcul de la VAN du projet ADSL ¹¹⁶

Données en UM, actualisées en 2002

Valeur du projet (V)	36,6
Coût d'investissement (I)	52,5
Valeur Actuelle Nette (VAN)	-15,9

Le calcul de VAN montre que dans le cas de ce NRA le déploiement d'un réseau ADSL n'est pas rentable pour AX Télécom.

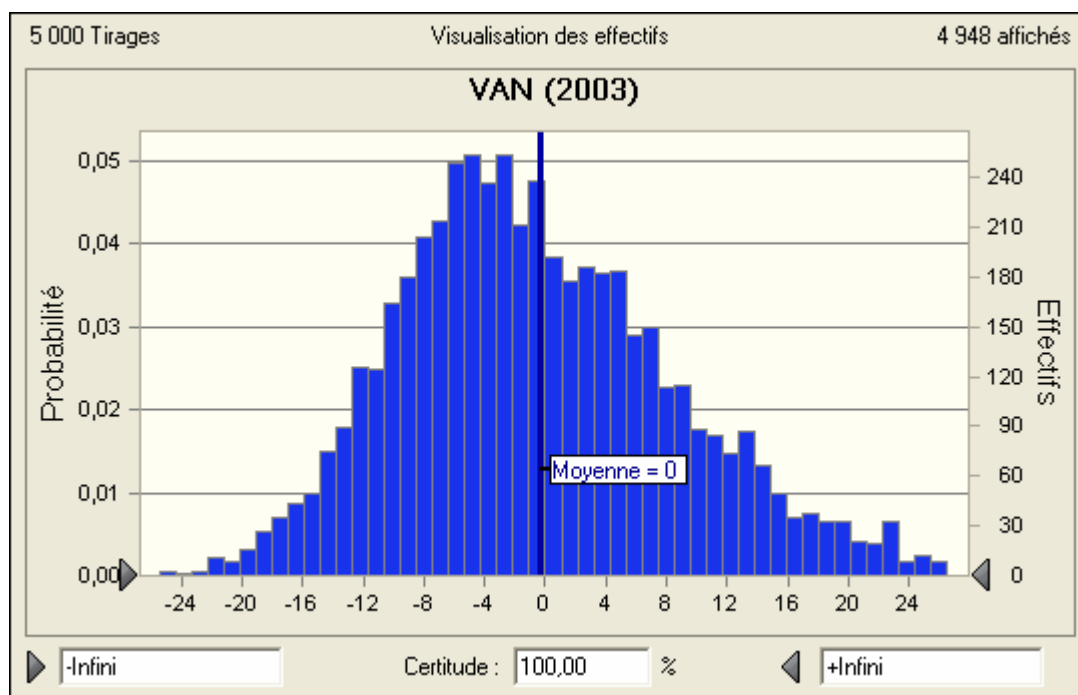
Cependant, il s'avère que les collectivités territoriales sont prêtes à participer au financement d'infrastructures permettant l'accès au haut débit pour les populations habitant dans ces zones. En effet, les pouvoirs publics locaux sont soucieux de maintenir leur attractivité comme lieu de résidence pour les particuliers et pour les entreprises. AX Télécom s'apprête donc à négocier avec les collectivités territoriales un montant de subvention qui permette d'atteindre au minimum une Valeur Actuelle Nette égale à 0, soit une subvention de 15,9 UM.

Le paiement d'une subvention par les collectivités territoriales n'exclut cependant pas la présence d'un risque important.

La Figure 6.1 représente le profil de distribution de la VAN obtenu par des simulations de Monte Carlo. Les lois de distribution des trois principales sources d'incertitude – nombre de clients, prix de vente en 2003 et baisse moyenne des prix de vente sur la période 2003-2005 –, ainsi que les coefficients de corrélation entre ces variables, sont détaillées dans l'Annexe 5 de la thèse.

¹¹⁶ Pour des raisons de confidentialité, nous ne présentons pas le détail du business plan. Néanmoins, ceci ne nuit pas à la compréhension de l'analyse optionnelle

Figure 6.1 : Distribution de la VAN du projet obtenue par les simulations de Monte Carlo pour une subvention de 15,9 UM



L'analyse de risque réalisée par les simulations de Monte Carlo confirme les risques du projet : alors que le coût d'investissement est de l'ordre de 50 UM, la VAN du projet peut être fortement négative, jusqu'à -24 UM.

L'analyse de risque du projet montre donc que, si AX Télécom bénéficie d'une subvention calculée sur la base de la VAN, l'opérateur n'en demeure pas moins exposé à un risque important dans le déploiement d'un réseau ADSL.

III. Analyse optionnelle de la décision d'investissement

III.1. Principe de la démarche optionnelle

En 2002, l'incertitude sur la rentabilité de l'investissement dans un réseau ADSL dans les zones rurales reste donc forte. Si AX Télécom décide de lancer dès 2003 une offre ADSL, il est possible que l'investissement se révèle rentable, tout comme fortement déficitaire.

Or, nous avons indiqué plus haut que les concurrents de l'opérateur historique ne souhaitent pas étendre leur offre ADSL aux zones rurales avant plusieurs années. AX Télécom a donc la possibilité d'attendre jusqu'à 2004 avant de prendre sa décision de déploiement.

Le fait de repousser la décision d'investissement permettrait à l'opérateur de rassembler des informations sur les sources d'incertitude.

Au fur et à mesure que le temps passe, l'opérateur pourra mieux anticiper le nombre potentiel de clients ADSL dans les zones rurales. En effet, en 2002, l'ADSL est une technologie nouvelle, qui a été lancée depuis peu dans les zones urbaines. Dans un an, et à fortiori dans deux ans, AX Télécom connaîtra avec plus de précision le nombre de clients en s'appuyant sur les taux de pénétration observés dans d'autres pays d'Europe où l'ADSL (ou une offre haut débit utilisant une autre technologie) a été lancé dans des zones à faible ou moyenne densité de population. De même,

L'opérateur pourra appuyer ses prévisions sur le taux de pénétration observé dans d'autres NRA en zone rurale, où l'ADSL a pu être lancé dès 2003 sur la base d'un business plan plus favorable. De même, en 2002 puis en 2003, l'ADSL sera devenu une technologie plus mature, et l'évolution des prix devrait se stabiliser. En particulier, avec le recul du temps, il sera plus aisé de déterminer l'impact sur les prix de vente de la guerre des prix lancée par les nouveaux entrants dans les zones urbaines.

En fonction de l'évolution de ces sources d'incertitude, AX Télécom pourra reconsidérer sa décision en 2003. A cette date, l'opérateur pourra déployer un réseau ADSL, ou bien décider de repousser d'une année encore sa décision. De même, en 2004, AX Télécom pourra lancer l'ADSL, ou alors renoncera à ce projet d'investissement.

D'un autre côté, l'attente peut aussi conduire à une réduction de la rentabilité du projet.

Il est vrai que si le déploiement du réseau ADSL est repoussé, le coût d'investissement sera réduit grâce au progrès technique, et la pénétration de l'ADSL devrait être plus rapide car la technologie aura gagné en maturité.

D'un autre côté, plus AX Télécom repoussera son investissement, plus les prix de vente auront baissé. De façon plus significative, le principal impact négatif d'un report de l'investissement concerne le montant de la subvention versé par les collectivités territoriales.

En effet, le versement de la subvention est à la discrétion des pouvoirs publics. Or, ceux-ci peuvent être prêts à participer au financement pour que l'ADSL soit lancé dès 2003, et que la commune bénéficie rapidement d'une technologie de pointe, qui n'aurait été disponible que plusieurs années plus tard sur la base d'un calcul purement économique.

En revanche, plus le lancement sera repoussé, moins les collectivités territoriales seront désireuses de le subventionner. Pour les communes, l'intérêt financier de participer au déploiement de l'ADSL réside dans la capacité accrue à attirer ou retenir des entreprises, qui ont besoin pour leur bon fonctionnement d'un accès internet haut débit. Les communes peuvent ainsi bénéficier de la taxe professionnelle versée par ces entreprises. Plus le délai de déploiement de l'ADSL est long, plus les entreprises sont susceptibles de se délocaliser vers des zones géographiques bénéficiant de meilleures infrastructures. Par ailleurs, il faut noter qu'en 2002 des expérimentations sur d'autres technologies d'accès internet à haut débit, notamment des technologies utilisant les satellites, sont en cours. Plus le déploiement de l'ADSL sera repoussé, moins les collectivités locales seront désireuses de subventionner une technologie susceptible d'être remplacée rapidement par une technologie concurrente.

On ne peut pas exclure non plus des changements d'ordre politique, qui peuvent conduire les autorités locales à redéployer vers d'autres priorités la subvention initialement envisagée en faveur de l'ADSL.

III.1. Caractéristiques de l'option étudiée

L'option détenue par AX Télécom est une option d'attente. Il s'agit d'une option d'achat américaine, sur actif versant des dividendes.

L'exercice de l'option consiste à déployer une infrastructure ADSL sur le NRA concerné. Le coût de déploiement est connu, mais les cash-flows générés par une offre ADSL sont incertains. Il s'agit donc d'une option d'achat.

La durée restant jusqu'à l'échéance est de deux ans car, selon toute vraisemblance, les concurrents d'AX Télécom n'étendront par leur offre ADSL aux zones rurales avant l'année 2006 (au plus tôt). L'option reste en vie jusqu'à 2004, pour un lancement commercial en 2005.

C'est une option américaine, puisqu'AX Télécom a la possibilité d'exercer l'option en anticipé en 2003, pour un lancement commercial en 2004.

Le prix d'exercice correspond au coût d'investissement nécessaire pour déployer une infrastructure ADSL.

L'actif sous-jacent correspond aux cash-flows dégagés par l'exploitation d'une offre ADSL. Il s'agit d'un actif versant des dividendes : nous avons vu plus haut que la valeur *moyenne* du projet subit une baisse en cas de report.

D'une façon plus générale, on peut considérer qu'AX Télécom est détenteur d'un portefeuille d'options d'attente. Dans la mesure où la décision de lancement de l'ADSL est prise de façon décentralisée, c'est pour chaque NRA que l'opérateur détient une option d'attente.

Parmi ces options, seules celles correspondant à un projet dont la VAN est proche de zéro méritent d'être étudiées. Nous avons vu dans le Chapitre 2 ¹¹⁷ que lorsque la VAN du projet est très négative, la valeur d'option sera nulle ; inversement, si la VAN est largement positive, la valeur d'option sera égale à la VAN car l'option sera exercée dans tous les cas de figure.

L'analyse optionnelle est surtout bénéfique pour les projets se situant dans la « zone grise » (Copeland and Antikarov, 2001). C'est le cas pour le NRA que nous avons choisi d'étudier.

* * *

Dans cette section, nous avons vu que, pour le répartiteur étudié, l'incertitude sur la rentabilité d'une infrastructure ADSL reste élevée, en dépit d'une participation des collectivités territoriales à l'effort de financement.

Dans ces conditions, il apparaît approprié de repousser la décision, afin de collecter plus d'informations sur « l'ADSL des campagnes ». AX Télécom dispose d'une option d'attente, et l'opérateur n'exercera cette option – c'est-à-dire n'investira dans l'ADSL – que si la rentabilité de l'investissement est confirmée par les informations collectées.

D'un autre côté, le report n'est pas nécessairement favorable, car rien ne garantit que, dans les années futures, les collectivités territoriales seront prêtes à subventionner le déploiement de l'ADSL dans les proportions qu'elles proposent en 2002.

L'arbitrage entre les bénéfices et le coût de l'attente n'est pas intuitif, et nécessite la valorisation de l'option d'attente. C'est ce à quoi nous nous attachons dans la section suivante.

¹¹⁷ Cf. Chapitre 2, section 1, § II. *Conditions pour que les options réelles apportent un éclairage supplémentaire à la VAN*

SECTION 2 : VALORISATION DE L'OPTION

Dans cette section, nous valorisons l'option d'attente détenue par AX Télécom à l'aide de trois modèles différents : le modèle de Black et Scholes et le modèle binomial qui sont les modèles traditionnellement utilisés dans la littérature, et le modèle par les simulations de Monte Carlo présenté dans le Chapitre 4.

Par ailleurs, nous nous sommes attachés à valoriser d'une part l'option américaine, et d'autre part l'option européenne, qui constitue la limite basse de la valeur de l'option américaine.

L'ensemble des valeurs d'option est calculé pour un montant de subvention égal à 15,9 UM. Pour rappel, il s'agit de la subvention minimale requise par le calcul de VAN pour un lancement de l'offre ADSL dès l'année 2003.

Dans la troisième section du chapitre, nous calculerons la valeur d'option pour différents niveaux de subvention, afin de déterminer quel est le montant minimal de subvention que AX Télécom doit négocier auprès des pouvoirs publics.

I. Valorisation de l'option par le modèle de Black et Scholes

1.1. Détermination de la valeur des paramètres

1.1.1. Valeur du prix d'exercice (I)

Le prix d'exercice de l'option correspond au coût d'investissement nécessaire pour déployer le réseau ADSL à la date d'échéance de l'option. Comme dans le « cas UMTS » présenté dans le chapitre précédent, la détermination de la valeur du prix d'exercice nécessite la prise en considération de plusieurs éléments :

- Il s'agit plus précisément de la *différence* du coût d'investissement à réaliser dans le cas de l'ADSL et dans le cas du « statu quo ».
- Le montant d'investissement à déboursier en 2002 n'est pas le même que celui à déboursier en 2003 ni en 2004, et ce en raison des progrès techniques que l'on peut attendre sur une technologie comme l'ADSL qui n'a pas encore atteint toute sa maturité. Pour tenir compte de ce phénomène, nous avons considéré un taux de progrès technique de 5% par an.
- Dans le modèle de Black et Scholes, le prix d'exercice est fixe. Les postes de coût d'investissement variables ont donc été réintégrés dans la valeur de l'actif sous-jacent de l'option.

En tenant compte de ces éléments, on obtient un prix d'exercice de 52,0 UM si l'option est exercée en 2003, et de 54,2 UM si l'option est exercée en 2004.

1.1.2. Valeur du sous-jacent (V) et du dividende (δ)

L'actif sous-jacent de l'option correspond aux cash-flows générés par l'exploitation du réseau ADSL. Là encore, il s'agit des cash-flows « incrémentaux », prenant en compte les effets de cannibalisation de l'ADSL sur le chiffre d'affaires généré par l'accès internet traditionnel à bas débit.

L'actif sous-jacent de l'option verse des dividendes, c'est-à-dire que sa valeur moyenne baisse lorsque l'investissement est repoussé.

Plutôt que de tenir compte de ce phénomène à travers un paramètre « dividende » (δ) difficile à estimer,¹¹⁸ nous l'avons directement modélisé dans la valeur du sous-jacent V .

Par rapport à sa valeur en 2002, la valeur du sous-jacent en 2003 et en 2004 est impactée de façon positive par une pénétration plus rapide de l'ADSL.

Nous avons ainsi considéré que si le lancement était reporté de deux ans, alors le nombre de clients pour la première année d'exploitation pouvait être déterminé par la formule suivante :

$$Vol(report, année1) = \frac{Vol(immédiat, année1) + Vol(immédiat, année2)}{2}$$

Avec : $Vol(report, année n)$ désignant le nombre de clients pour la $n^{ième}$ année d'exploitation du réseau ADSL dans le cas du scénario « report de 2 ans »

$Vol(immédiat, année n)$ désignant le nombre de clients pour la $n^{ième}$ année d'exploitation du réseau ADSL dans le cas du scénario « investissement immédiat ».

Pour les années suivantes, nous avons considéré que les deux courbes se rapprochaient progressivement pour devenir identiques à partir de la troisième année d'exploitation.

En revanche, la valeur du projet est impactée de façon négative par le report du lancement sur deux points : l'évolution des prix de vente, et le montant de la subvention.

Les anticipations de baisse des prix de vente par AX Télécom sont détaillées en Annexe 6.

Pour les raisons que nous avons détaillées plus haut, nous avons fait l'hypothèse que le montant de la subvention si le projet était reporté suivait une distribution « personnalisée », avec les paramètres suivants :

- Dans 10% des cas : subvention nulle ;
- Dans 10% des cas : subvention égale (en valeur actualisée) à celle que les collectivités étaient prêtes à verser pour que l'ADSL soit lancé dès 2003 ;
- Dans 80% des cas : subvention inférieure à celle qui aurait été versée pour un lancement en 2003, avec une décote de 10% si l'ADSL est lancé en 2004, et de 20% si l'ADSL est lancé en 2005.

En tenant compte de ces éléments, on obtient une valeur de sous-jacent de 43,7 UM si l'option est exercée en 2003, et de 39,9 UM si l'option est exercée en 2004.

1.1.3. Valeur du paramètre de volatilité (σ)

Comme dans l'étude de cas précédente, le paramètre de volatilité utilisé dans le modèle de Black et Scholes est difficile à estimer, car il n'existe pas d'action sur les marchés financiers, dont les évolutions soient corrélées à celles de ce projet.

Par ailleurs, une estimation « intuitive » de la volatilité est malaisée, en raison des nombreuses sources d'incertitude auxquelles le projet est soumis, et des corrélations entre ces sources d'incertitude.

Jusqu'à présent, nous avons abordé les trois principales sources d'incertitude – volume de demande, niveau des prix de vente et montant de la subvention en cas de report – de façon agrégée. Dans la réalité, le paramètre « demande » se décline en au moins cinq lignes de produit, qui sont : l'accès internet haut-débit pour le compte d'AX Télécom, l'accès internet haut débit pour le compte d'opérateurs tiers, le téléphone sur I.P. (Internet Protocol) pour le compte d'AX Télécom, le téléphone sur I.P. (Internet Protocol) pour le compte d'opérateurs tiers, et enfin le Turbo DSL sur ADSL.

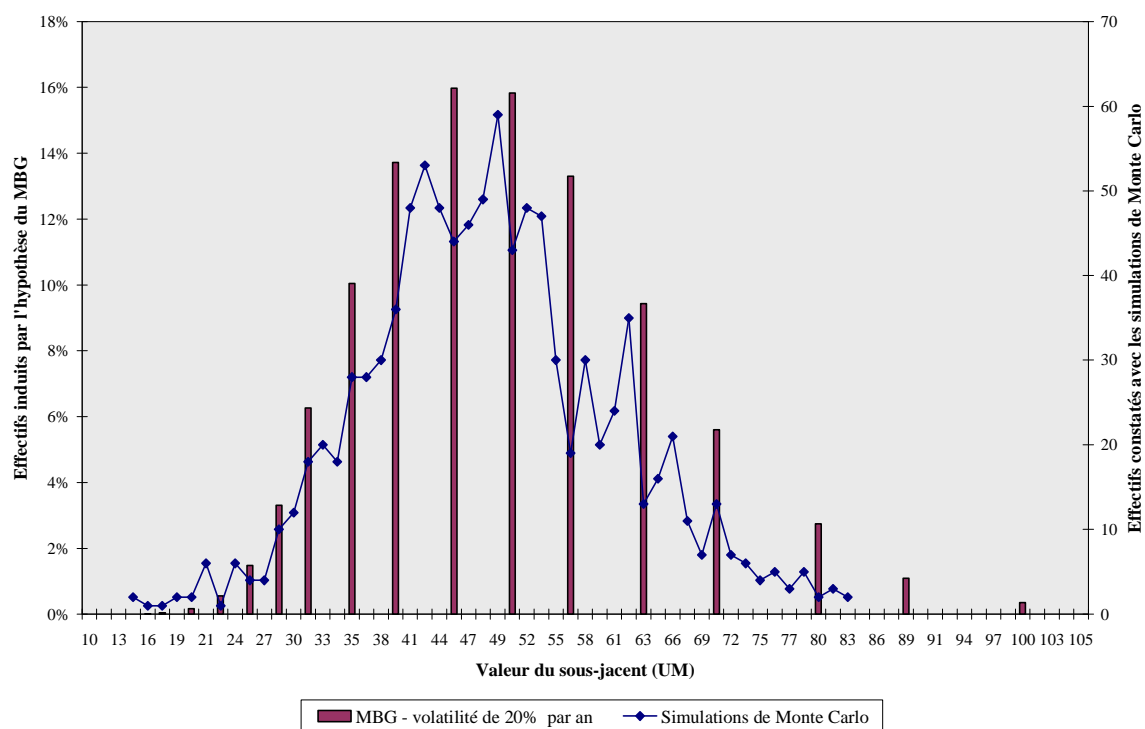
L'incertitude porte sur le nombre de clients pour ces cinq lignes de produits pour chacune des trois années sur lesquelles est modélisé le business plan. De façon similaire, l'incertitude sur les prix ne se résume pas à une donnée, mais porte sur l'évolution des prix de chacune de ces lignes de produits.

¹¹⁸ Cf. Modèle de Garman et Kohlhagen, extension du modèle de Black et Scholes dans le cas d'un actif sous-jacent versant des dividendes : Chapitre 3, section 1, § II.1. Valorisation de l'option européenne : le modèle de Black et Scholes.

Au nombre élevé de variables incertaines s'ajoute le fait qu'elles sont corrélées entre elles.

La façon la plus appropriée d'estimer la volatilité est donc de réaliser des simulations de Monte Carlo sur la valeur possible du sous-jacent à l'échéance. Le résultat des simulations est représenté dans la Figure 6.2.

Figure 6.2 : Comparaison de la distribution du sous-jacent obtenue par les simulations de Monte Carlo et par l'hypothèse d'un mouvement brownien géométrique (MBG)



Pour rappel, le modèle de Black et Scholes, ainsi que le modèle binomial, font l'hypothèse que l'actif sous-jacent suit un mouvement brownien géométrique (MBG).

La Figure 6.2 révèle que, dans le cadre de cette étude de cas, la loi log-normale impliquée par l'hypothèse du MBG constitue une approximation correcte de la distribution suivie par le sous-jacent. Plus précisément, c'est une valeur de volatilité annuelle de 20% qui permet d'approcher au mieux la distribution révélée par les simulations de Monte Carlo.

1.2. Résultats numériques

Le modèle de Black et Scholes ne permet que de calculer la valeur de l'option européenne. Or, nous avons indiqué dans la première section que l'option dont dispose AX Télécom est une option américaine.

Pour valoriser l'option américaine par le modèle de Black et Scholes, on peut utiliser l'approximation de Black. Cette technique a notamment été utilisée dans l'étude de cas de Benaroch et Kaufman (Benaroch & Kaufman, 1999; Benaroch & Kaufman, 2000), ainsi que dans l'étude mentionnée en introduction de Iatropoulos *et al.* (2004). Elle consiste à calculer la valeur de l'option européenne pour différentes dates possibles, jusqu'à la date d'échéance. La valeur de l'option américaine est alors estimée en prenant la valeur maximale de ces options européennes.

Tableau 6.2 : Valorisation de l'option américaine par l'approximation de Black

<i>UM</i>		Année d'exercice de l'option ⁽¹⁾	
		2003	2004
Sous-jacent	V	43,7	39,9
Prix d'exercice	I	52,0	54,2
Taux d'actualisation	r	10%	10%
Durée	T	1	2
Volatilité annuelle	σ	20%	20%
Valeur de l'option européenne		2,2	2,8
Valeur de l'option américaine			2,8

⁽¹⁾ : pour un lancement commercial l'année suivante

Le Tableau 6.2 illustre le calcul de l'option américaine par l'approximation de Black pour une volatilité de 20%. D'après la théorie des options financières, plus la durée jusqu'à l'échéance (T) est importante, plus la valeur d'option est élevée. D'un autre côté, le Tableau 6.2 montre bien que lorsque la durée jusqu'à l'échéance augmente, la valeur du sous-jacent V baisse, principalement en raison d'une espérance de subvention inférieure.

La valeur maximum est obtenue pour une échéance de 2 ans, et donne une valeur d'option de 2,8 UM.

Le Tableau 6.3 récapitule la valeur d'option déterminée par le modèle de Black et Scholes et l'approximation de Black pour différents niveaux de volatilité.

Tableau 6.3 : Analyse de la sensibilité de la valeur d'option au taux de volatilité

<i>UM</i>					
Sous-jacent	V	39,9			
Prix d'exercice	I	54,2			
Taux d'actualisation	r	10%			
Durée (années)	T	2			
Volatilité annuelle	σ	15%	20%	25%	30%
Valeur de l'option européenne		1,8	2,8	4,0	5,1
Valeur de l'option américaine		1,8	2,8	4,0	5,1

Ce tableau indique une valeur de l'option américaine de 2.8 UM pour une volatilité de 20%. Il montre que, dans cette étude de cas, la valeur d'option maximale est toujours atteinte à la fin de la vie de l'option.

Par contraste, d'autres études de cas utilisant l'approximation de Black (Benaroch & Kauffman, 1999; Benaroch & Kauffman, 2000; Iatropoulos *et al.*, 2004) sont parvenues à des résultats montrant qu'il était optimal d'exercer l'option de façon anticipée. Cette divergence de résultats s'explique par un comportement différent du sous-jacent au cours du temps, et par une durée de vie plus longue de l'option.

Dans les cas comme celui-ci où la durée de vie de l'option est courte, l'approximation de Black conduit à des résultats très simplifiés, car elle calcule le maximum entre deux chiffres seulement (valeur d'option exercée en 2003 et valeur d'option exercée en 2004).

II. Valorisation de l'option par le modèle binomial

Les paramètres nécessaires pour la valorisation de l'option sont les mêmes que pour le modèle de Black et Scholes.

La Figure 6.3. représente la valorisation de l'option américaine par le modèle binomial avec une volatilité annuelle de 20%, et un pas de temps de deux mois.

Figure 6.3 : Valorisation de l'option américaine par le modèle binomial

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
2	Variabes												
3	Cours du sous-jacent hors dividende			S^*	39,9								
4	Montant dividende fin 2003			d	3,8								
5	Prix d'exercice en anticipé			X_1	52,0								
6	Prix d'exercice à l'échéance			X_2	54,2		u	1,085					
7	Volatilité annuelle			σ	20%		d	0,92					
8	Longueur du pas de temps (en année)			dt	0,17								
9	Taux d'actualisation par période			r	1,67%		p	0,58					
10													
11	Valeur du sous-jacent S^*												
12	2002	2003						2004					
13	déc-02	févr-03	avr-03	juin-03	août-03	oct-03	déc-03	févr-04	avr-04	juin-04	août-04	oct-04	déc-04
14	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	39,9	43,3	47,0	51,0	55,3	60,0	65,2	70,7	76,7	83,2	90,3	98,0	106,3
16		36,8	39,9	43,3	47,0	51,0	55,3	60,0	65,2	70,7	76,7	83,2	90,3
17			33,9	36,8	39,9	43,3	47,0	51,0	55,3	60,0	65,2	70,7	76,7
18				31,2	33,9	36,8	39,9	43,3	47,0	51,0	55,3	60,0	65,2
19					28,8	31,2	33,9	36,8	39,9	43,3	47,0	51,0	55,3
20						26,5	28,8	31,2	33,9	36,8	39,9	43,3	47,0
21							24,5	26,5	28,8	31,2	33,9	36,8	39,9
22								22,5	24,5	26,5	28,8	31,2	33,9
23									20,8	22,5	24,5	26,5	28,8
24										19,1	20,8	22,5	24,5
25											17,6	19,1	20,8
26												16,3	17,6
27													15,0
28													
29	Valeur du sous-jacent S												
30	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
31	43,7	47,2	50,9	55,0	59,4	64,2	69,3	70,7	76,7	83,2	90,3	98,0	106,3
32		40,6	43,8	47,3	51,0	55,1	59,5	60,0	65,2	70,7	76,7	83,2	90,3
33			37,8	40,8	44,0	47,4	51,2	51,0	55,3	60,0	65,2	70,7	76,7
34				35,2	37,9	40,9	44,1	43,3	47,0	51,0	55,3	60,0	65,2
35					32,8	35,4	38,1	36,8	39,9	43,3	47,0	51,0	55,3
36						30,6	33,0	31,2	33,9	36,8	39,9	43,3	47,0
37							28,6	26,5	28,8	31,2	33,9	36,8	39,9
38								22,5	24,5	26,5	28,8	31,2	33,9
39									20,8	22,5	24,5	26,5	28,8
40										19,1	20,8	22,5	24,5
41											17,6	19,1	20,8
42												16,3	17,6
43													15,0
44													
45	Valeur de l'option américaine												
46	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
47	2,72	3,8	5,3	7,3	9,9	13,2	17,4	20,9	26,0	31,7	37,9	44,7	52,2
48		1,3	1,9	2,8	4,0	5,7	8,0	10,9	14,7	19,1	24,3	30,0	36,1
49			0,5	0,8	1,2	1,8	2,8	4,2	6,2	9,0	12,7	17,4	22,5
50				0,1	0,2	0,3	0,6	0,9	1,5	2,5	4,1	6,8	11,0
51					0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,7	1,2
52						0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
53							0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
54								0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
55									0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
56	Probabilité d'exercice												
57	Anticipé		0,1%	$= \max (H37 - F5 ; (19*153 + (1-19)*154) / (1+F9))$									
58	A l'échéance		39%								0,0	0,0	0,0
59	Total		39%									0,0	0,0

Comme dans l'approximation de Black, la valorisation de l'option américaine par le modèle binomial tient compte du fait que la valeur du sous-jacent n'est pas la même si l'option est exercée à la fin de sa vie, fin 2004, ou de façon anticipée, fin 2003.

Il faut donc construire un deuxième arbre d'évolution du sous-jacent dans lequel, à la fin de l'année 2003 (période 6 sur la Figure 6.3), la valeur du sous-jacent est augmentée de la valeur du dividende (actualisée à cette date).

Le modèle binomial prévoit deux possibilités pour valoriser le dividende : celui-ci peut être exprimé comme un pourcentage de la valeur du sous-jacent, ou peut être considéré comme une valeur constante.¹¹⁹ Dans cette étude de cas, le dividende correspond, dans sa plus grande partie, à une baisse de la subvention espérée de la part des collectivités territoriales. L'ampleur de cette baisse dépend du montant de la subvention initialement négociée, et non pas de l'évolution du sous-jacent.

En conséquence, nous avons choisi ici de modéliser le dividende comme une valeur absolue. En réalité, d'autres composantes du dividende (modification du rythme de pénétration de la nouvelle technologie, baisse des prix de vente) varient en fonction de la valeur du sous-jacent. Mais il aurait été trop complexe de combiner dans la modélisation du dividende une part en pourcentage et une part en valeur absolue.

Le montant du dividende est ici de 3,8 UM (cellule F4 dans la Figure 6.3). Ce montant correspond à la différence entre la valeur moyenne du sous-jacent si l'option est exercée en 2003 (43,7 UM) et la valeur moyenne du sous-jacent si l'option est exercée en 2004 (39,9 UM).¹²⁰

Pour calculer la valeur de l'option, la procédure à suivre est ensuite similaire à celle de l'option européenne, sauf pour les périodes où il existe une possibilité d'exercice anticipé de l'option. Dans cette étude de cas, il s'agit de la fin de l'année 2003, en période 6. A cette date, la valeur de l'option est déterminée comme le maximum entre le pay-off généré par un exercice anticipé de l'option et la valeur de continuation de l'option déterminée par l'arbre. Dans la Figure 6.3, nous avons souligné les cas dans lesquels l'exercice anticipé est préférable au maintien en vie de l'option.

Le Tableau 6.4 récapitule la valeur de l'option européenne et de l'option américaine données par le modèle binomial pour différents niveaux de volatilité possibles.

Tableau 6.4 : Valorisation de l'option d'attente par le modèle binomial

UM

Sous-jacent	V	39,9			
Prix d'exercice	I	54,2			
Taux d'actualisation	r	10,0%			
Durée (années)	T	2			
Volatilité annuelle	σ	15%	20%	25%	30%
Valeur de l'option européenne		1,65	2,70	3,94	5,03
Valeur de l'option américaine		1,69	2,72	3,97	5,05
<i>Diff. option américaine / option européenne</i>		<i>2,0%</i>	<i>0,6%</i>	<i>0,6%</i>	<i>0,4%</i>

Pour l'option européenne, le modèle binomial aboutit, lorsque la volatilité est de 20%, à une valeur de 2,7 UM, très proche de celle donnée par le modèle de Black et Scholes.

La valeur d'option américaine donnée par le modèle binomial est légèrement supérieure à la valeur d'option européenne. De façon similaire à l'approximation de Black, le modèle binomial indique qu'AX Télécom doit exercer l'option à l'échéance : lorsque la volatilité annuelle est de 20%, ce n'est que dans 0,1% des cas que l'exercice anticipé de l'option est optimal.

Par ailleurs, le Tableau 6.4 montre l'impact de la volatilité sur la valeur d'option. Plus la volatilité est forte, plus il est attractif de maintenir l'option en vie le plus longtemps possible, et plus la différence entre valeur d'option européenne et américaine se réduit.

¹¹⁹ Cf. Chapitre 3, Section 1, § III.1.2. Valorisation de l'option sur actif sous-jacent versant un dividende

¹²⁰ Cf. Tableau 6.2

III. Valorisation de l'option par les simulations de Monte Carlo

La procédure suivie pour calculer la valeur d'option par les simulations de Monte Carlo est celle détaillée dans le Chapitre 4.¹²¹

Pour la valorisation de l'option européenne, il s'agit tout d'abord de simuler les valeurs possibles du projet à l'échéance de l'option. Les lois de distribution des sources d'incertitude sont celles utilisées pour l'analyse de risque du projet, présentée en section 1 du chapitre.

A chaque simulation, on peut, en fonction de la valeur du projet obtenue, calculer la valeur du pay-off de l'option. La valeur d'option correspond à la moyenne actualisée des pay-offs observés au cours de l'ensemble des simulations.

Pour la valorisation de l'option américaine, nous avons utilisé le modèle simplifié dérivé du modèle de Longstaff et Schwartz (2001), présenté dans le Chapitre 4. Pour rappel, ce modèle nécessite de simuler la valeur du sous-jacent à la (aux) date(s) intermédiaire(s) à laquelle il est possible d'exercer l'option en anticipé. Dans cette étude de cas, il s'agit de la fin de l'année 2003. Pour ce faire, nous avons recours à un mécanisme d'auto-corrélation, que nous avons fixé pour chaque source d'incertitude en fonction du degré de révélation d'information entre la fin 2003 et la fin 2004.

- Pour l'incertitude portant sur le nombre de clients ADSL : nous avons considéré que AX Télécom aura déjà pu affiner ses estimations dès la fin de l'année 2003, et donc que le coefficient d'auto-corrélation est relativement élevé. Nous l'avons fixé à 0,6.
- Pour l'incertitude portant sur la baisse des prix, pour la période 2003-2007, nous avons estimé que le coefficient d'auto-corrélation est plus faible, car la dynamique concurrentielle peut évoluer entre la fin 2003 et la fin 2004. Nous avons fixé le coefficient d'auto-corrélation à 0,4.
- Pour le montant de la subvention : nous avons considéré, en raison des incertitudes politiques, que la corrélation entre la décision de subvention fin 2003 et la décision de subvention fin 2004 était nulle.

Les résultats de la valorisation d'option par les simulations de Monte Carlo sont récapitulés dans le Tableau 6.5. A chaque fois, les valorisations indiquées ont été obtenues à partir de 5000 simulations. Il faut toutefois noter que nous étions parvenus à des résultats similaires sur la base de 1000 simulations seulement.

Tableau 6.5 : Valorisation de l'option par les simulations de Monte Carlo

<i>UM</i>	Valeur d'option
Option européenne	2,3
Option américaine	3,1

Comme dans le cas du modèle binomial, nous constatons que la valeur de l'option américaine est supérieure à celle de l'option européenne. Nous analysons ci-dessous plus en détail les différences de résultats entre les trois méthodes de valorisation.

L'approche par les simulations de Monte Carlo permet également d'analyser la probabilité d'exercice anticipé. Il suffit de constater, pour chacun des tirages, s'il est optimal d'exercer l'option en anticipé, et d'en calculer la moyenne sur l'ensemble des tirages. Dans cette étude, la probabilité d'exercice anticipé est de 28%.

¹²¹ Cf. Chapitre 4, Section 2: "Proposition d'un modèle simplifié basé sur les simulations de Monte Carlo ».

L'une des difficultés de la valorisation de l'option américaine par les simulations de Monte Carlo provient de la subjectivité des coefficients d'auto-corrélation. Nous avons donc testé la sensibilité de la valeur d'option américaine à ces coefficients (Tableau 6.6).

Tableau 6.6 : Sensibilité de la valeur de l'option américaine aux coefficients d'auto-corrélation

	Degré de révélation d'information entre 2003 et 2004		
	Faible	Moyen	Elevé
Coefficient d'auto-corrélation			
- Nombre de clients ADSL	0,3	0,6	0,9
- Baisse des prix sur la période 2003-2007	0,1	0,4	0,7
Valeur de l'option américaine (UM)	2,95	3,14	3,29
Probabilité d'exercice anticipé de l'option	23%	28%	35%

Degré de révélation d'information retenu pour le cas

Le Tableau 6.6 montre que plus les coefficients d'auto-corrélation sont élevés, plus la valeur d'option américaine augmente. Intuitivement, cela pourrait s'expliquer de la façon suivante : plus les coefficients d'auto-corrélation sont élevés, plus la révélation d'information à la date intermédiaire est importante, et donc plus il peut être opportun d'exercer l'option en anticipé (cf. « Probabilité d'exercice anticipé de l'option » indiquée dans le Tableau 6.6). Cela signifie que la flexibilité supplémentaire d'exercer l'option en anticipé offerte par l'option américaine, contrairement à l'option européenne, a d'autant plus de valeur. D'où une valeur d'option américaine plus élevée.

Toutefois, le Tableau 6.6 montre que, dans cette étude de cas, la sensibilité de la valeur d'option américaine aux variations des coefficients d'auto-corrélation est peu importante.

IV. Comparaison des méthodes de valorisation utilisées

IV. 1. Facilité de mise en œuvre

IV.1.1. Valorisation de l'option européenne

Nous retrouvons dans cette étude de cas les mêmes difficultés de mise en œuvre des méthodes « classiques » (modèle de Black et Scholes et modèle binomial) pour la valorisation de l'option européenne que celles évoquées dans le Chapitre 5.

D'une part, les calculs sont faussés si l'on prend comme prix d'exercice l'ensemble du coût d'investissement, et non pas seulement sa composante fixe. D'autre part, l'estimation du paramètre « volatilité » est malaisée en raison du nombre important de sources d'incertitude.

A l'inverse, les simulations de Monte Carlo permettent une valorisation plus intuitive de l'option, avec la possibilité de paramétrer chaque source d'incertitude séparément, au lieu de modéliser la volatilité de l'ensemble du projet.

IV.1.2. Valorisation de l'option américaine

D'une manière générale, la valorisation de l'option américaine est nettement plus complexe que celle de l'option européenne.

Elle nécessite notamment la modélisation de l'évolution du sous-jacent et du prix d'exercice à des dates intermédiaires, afin de déterminer s'il peut être opportun d'exercer l'option en anticipé : pour les

trois méthodes de valorisation utilisées, nous avons dû ainsi modéliser deux business plans, suivant que le lancement commercial de l'offre ADSL intervenait en 2004 ou en 2005.

Une fois cette modélisation effectuée, les calculs à réaliser diffèrent suivant le modèle de valorisation utilisé :

Ils sont identiques à ceux de l'option européenne lorsque l'on utilise l'approximation de Black. Ils sont un peu plus complexes que ceux de l'option européenne dans le cas du modèle binomial, et encore davantage dans le cas de la méthode par les simulations de Monte Carlo (réalisation d'une régression polynomiale pour déterminer la valeur de continuation).

IV.2. Qualité des résultats numériques obtenus

L'ensemble des résultats obtenus par les différentes méthodes de valorisation sont récapitulés dans le Tableau 6.7.

Tableau 6.7 : Récapitulatif des résultats obtenus par différents modèles de valorisation d'option

UM	Valeur de l'option	
	Européenne	Américaine
Black & Scholes (vol=20%)	2,84	2,84
Arbres binomiaux (vol=20%)	2,70	2,72
Simulations de Monte Carlo	2,45	3,14
<i>Diff avec modèle binomial</i>	-9%	15%

Pour la valorisation de l'option européenne, le Tableau 6.7. confirme la très grande proximité des résultats obtenus par le modèle de Black et Scholes et le modèle binomial, déjà constatée dans le Chapitre 5.

Par ailleurs, comme le prévoit la théorie des options, le tableau indique une valeur pour l'option américaine supérieure à celle de l'option européenne.

IV.2.1. Comparaison entre les méthodes traditionnelles et la méthode par les simulations de Monte Carlo

Dans le Chapitre 5, nous avons constaté des divergences importantes dans la valorisation de l'option européenne entre d'une part les approches « classiques » que sont le modèle de Black et Scholes et le modèle binomial, et d'autre part la méthode par les simulations de Monte Carlo.

Pour l'étude de cas réalisée dans ce chapitre, ces différences sont nettement moins marquées, car la problématique étudiée est moins complexe que celle du chapitre précédent.

En premier lieu, le projet d'investissement est réalisé dans un contexte monopolistique. La valeur du projet n'est donc pas affectée par la stratégie des concurrents ; de plus, il n'existe pas d'incertitude sur les cash-flows dégagés dans le cas où l'opérateur n'investirait pas dans le projet. Dans ces conditions, nous avons pu constater à l'aide des simulations de Monte Carlo qu'une distribution log-normale de la valeur du projet à l'échéance de l'option était une hypothèse acceptable.

Par ailleurs, nous avons mis en évidence dans le Chapitre 5 l'impossibilité, avec les méthodes « classiques » de prendre en compte plusieurs modalités d'exercice à l'échéance (pas d'investissement, investissement dans la technologie « EDGE » ou investissement dans la technologie « UMTS »). Dans ce chapitre, le problème ne se pose pas, car la décision d'investissement est binaire (construction ou non d'un réseau ADSL).

Considérons maintenant les hypothèses supplémentaires qui doivent être formulées pour valoriser l'option américaine.

Des hypothèses identiques sont formulées par les trois modèles de valorisation utilisés concernant l'évolution moyenne du sous-jacent et du prix d'exercice dans le temps (accélération de la vitesse de pénétration, baisse des prix de vente, progrès technique réduisant le coût d'investissement, etc.).

En revanche, par le biais du coefficient d'auto-corrélation, la méthode par les simulations de Monte Carlo nécessite de formuler des hypothèses supplémentaires sur le degré de la révélation d'information dans le temps. Ceci constitue il est vrai un paramètre de plus, qui de surcroît n'est pas nécessairement facile à estimer.

Néanmoins, nous avons vu dans le Chapitre 4 ¹²² que les options réelles présentent une différence importante avec les options financières dans la mesure où l'incertitude n'est réduite que de façon progressive, et souvent partielle. La prise en compte de cette spécificité peut venir significativement affecter le *timing* de l'exercice de l'option américaine. En effet, dans les cas de figure où la réduction de l'incertitude interviendrait essentiellement à la fin de la vie de l'option, il peut être optimal de maintenir l'option en vie, alors que les modèles « classiques » faisant l'hypothèse d'une révélation d'information continue recommanderaient un exercice anticipé de l'option.

L'effort d'estimer des paramètres supplémentaires peut donc être utile pour éviter d'aboutir à des situations où un modèle recommanderait des décisions qui n'ont pas de sens économique (exercer l'option en anticipé, alors que l'incertitude n'est pas réduite).

IV.2.2. Intérêt d'une valorisation de l'option américaine par rapport à l'option européenne

La valorisation de l'option américaine est sensiblement plus complexe que celle de l'option européenne. Pour cette raison, de nombreuses études de cas se limitent à une valorisation de l'option européenne – qui constitue un minorant de l'option américaine – même lorsqu'il existe des opportunités d'exercice anticipé de l'option.

Dans cette étude de cas, la valorisation de l'option américaine n'est toutefois pas superflue. D'une part, le Tableau 6.7 révèle que, dans le modèle par les simulations de Monte Carlo, la valeur de l'option américaine est sensiblement supérieure à celle de l'option européenne. Nous verrons dans la troisième section du chapitre que ces différences de valorisation conduisent à une recommandation de subvention supérieure si l'on valorise l'option détenue par AX Télécom comme une option américaine, et non pas comme une option européenne.

Par ailleurs, la valorisation de l'option américaine permet de calculer à quelle *date* AX Télécom est le plus susceptible d'exercer l'option. Nous verrons dans la troisième section que ces éléments permettent à AX Télécom de préparer au mieux le plan de déploiement de son projet d'investissement.

¹²² Cf. Chapitre 4, section 2, § IV. Une piste de recherche future : la prise en compte d'une révélation de l'information progressive et partielle.

SECTION 3 : DISCUSSION : APPORT DES OPTIONS REELLES A LA DECISION D'INVESTISSEMENT DANS UN RESEAU DE TELECOMMUNICATIONS

Dans la deuxième section, nous nous sommes concentrés sur la valorisation de l'option. L'objectif est maintenant de déterminer en quoi l'identification et la valorisation de l'option d'attente permettent d'améliorer le processus de décision d'investissement stratégique.

Comme dans le chapitre précédent, nous voyons des bénéfices de l'analyse optionnelle à plusieurs moments au cours du cycle de vie du projet. Plus précisément, les options réelles peuvent intervenir à la fois pour améliorer la décision initiale, et pour faciliter le déploiement du projet (Tableau 6.8).

Tableau 6.8 : Apports potentiels de l'analyse optionnelle à la décision d'investissement

	Situation observée chez AX Télécom	Contribution potentielle des options réelles
Décision initiale	« Manipulation » de la VAN (durée de vie du projet réduite) pour réduire la valeur du projet	Recommandation plus pertinente que la VAN sur le niveau de subvention et le timing optimal de l'investissement
	Difficulté de l'opérateur à démontrer le risque représenté par un investissement dans des équipements ADSL en zone rurale	Démonstration plus claire du lien entre le risque et la valeur du projet → Négociation avec les collectivités territoriales plus constructive
Déroulement de l'investissement	Mauvaise visibilité sur le nombre de NRA ¹²³ faisant l'objet d'un déploiement ADSL dans les années à venir	Elaboration d'un plan de charge, identifiant les NRA les plus susceptibles de faire l'objet d'un déploiement de l'ADSL dans le futur

I. Une meilleure appréciation de la valeur du projet et de la date optimale d'investissement

La VAN et l'analyse optionnelle conduisent à des recommandations différentes sur le montant minimal de la subvention à négocier avec les collectivités territoriales pour un déploiement immédiat de l'ADSL.

Dans la première section du chapitre, nous avons indiqué que la VAN devient positive si la subvention est supérieure ou égale à 15,9 UM. L'analyse optionnelle montre qu'un tel calcul ne tient pas compte de la valeur de l'attente.

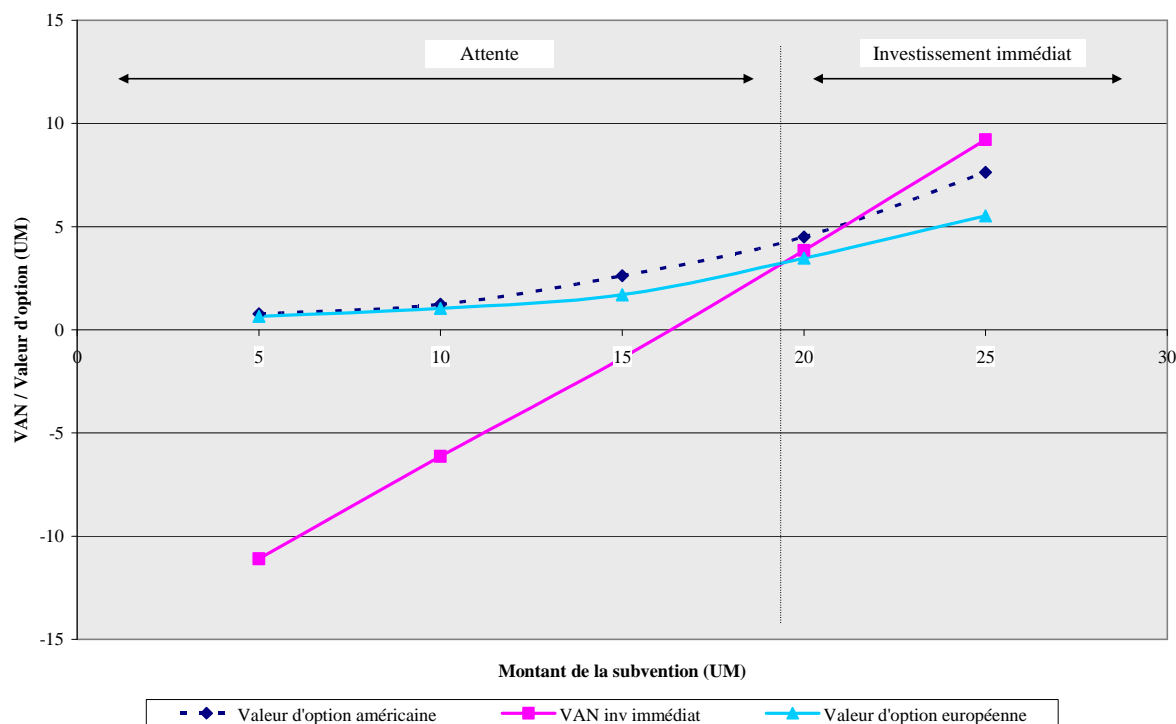
En effet, le fait de repousser l'investissement permet de collecter de l'information sur la rentabilité du projet, et de ne le mettre en œuvre que dans les cas où il s'avère profitable. Lorsque la subvention versée est de 15,9 UM, certes la VAN du projet devient positive, mais elle reste inférieure à la valeur de l'option d'attente (égale à 2,27 UM si elle est valorisée comme une option européenne, et 3,90 UM si elle est valorisée comme une option américaine).

Ceci montre que la « prime » à payer pour lancer immédiatement le projet est supérieure à 15,9 UM. Le montant minimum de la subvention à négocier n'est pas celui pour lequel la VAN s'annule, mais est déterminé par le point d'intersection entre la VAN de l'investissement immédiat et la valeur d'option.

La Figure 6.4 illustre la recommandation de subvention minimale formulée par la VAN et par l'analyse optionnelle.

¹²³ NRA = Nœud de Raccordement d'Abonné

Figure 6.4 : Comparaison du montant de subvention recommandé par la VAN et par l'analyse optionnelle



Sur la Figure 6.4, la droite représentant la VAN coupe l'axe des abscisses lorsque la subvention est égale à 15,9 UM. C'est donc le montant de subvention minimum recommandé par la VAN.

A l'inverse, l'approche optionnelle recommande de différer l'investissement tant que la valeur de l'option d'attente est supérieure à la VAN de l'investissement immédiat. La courbe de la valeur d'option se situe au-dessus de la droite représentant la VAN jusqu'à un niveau de subvention égal à 19,5 UM. C'est donc le montant de subvention minimum recommandé par l'approche optionnelle, soit une subvention plus de 20% supérieure à celle recommandée par la VAN.

Nous avons indiqué précédemment que l'un des inconvénients de repousser la décision d'investissement était le risque de ne plus disposer de subvention – ou d'obtenir une subvention à un montant moindre – de la part des pouvoirs publics. Plus la subvention que les collectivités territoriales s'appêtent à accorder pour un investissement immédiat est élevée, plus le « coût » de l'attente est important. Au-delà d'un montant de subvention de 19,5 UM, la valeur de l'option passe en dessous de la valeur de la VAN, et il est préférable d'investir immédiatement.

Si l'option est valorisée comme une option américaine, la recommandation de subvention est même supérieure : la courbe de valeur de l'option américaine croise celle de la VAN de l'investissement immédiat pour une subvention de 21,3 UM.

L'analyse optionnelle permet donc de comprendre pourquoi il n'est pas nécessairement optimal d'investir immédiatement, même si la VAN du projet est positive.

La littérature indique que cette insuffisance de la VAN est souvent perçue intuitivement par le management ; celui-ci compense ce phénomène en calculant la VAN avec un taux d'actualisation particulièrement élevé (Busby & Pitts, 1997). Dans le cas d'AX Télécom, nous avons constaté une pratique similaire. Le taux d'actualisation n'était pas modifié, car un taux d'actualisation unique était imposé pour l'ensemble des projets d'investissement de réseau du groupe. En revanche, nous avons constaté que le management minorait la VAN, en calculant celle-ci sur un nombre d'années inférieures

à la durée de vie réelle des infrastructures. En effet, la VAN était calculée par le management d'AX Télécom sur trois années de cash-flows, alors que la durée de vie des équipements était de l'ordre de cinq ans.

L'analyse optionnelle aurait donc permis de parvenir à une recommandation d'investissement plus appropriée, sans avoir à « manipuler » la VAN.

II. Un outil de communication, grâce à une compréhension plus claire de l'impact du risque sur la valeur du projet

Les options réelles permettent non seulement de mieux comprendre la valeur du projet en interne, mais aussi de communiquer plus facilement sur cette valeur avec l'extérieur.

Dans le cas de l'ADSL en zones rurales, le positionnement d'AX Télécom vis-à-vis des collectivités territoriales était délicat : on pouvait parfois constater une certaine défiance des collectivités territoriales vis-à-vis de AX Télécom, soupçonné de « profiter » de sa situation d'opérateur historique et ainsi d'un certain monopole.

Pour AX Télécom, il était donc important de donner une plus grande lisibilité de sa politique d'investissement, et des critères permettant à un NRA de devenir éligible pour l'ADSL. Or, il n'était pas évident de démontrer le risque représenté par le projet, ou plus précisément de démontrer dans quelle mesure ce risque venait affecter le montant de la subvention minimale à recevoir pour lancer rapidement l'ADSL.

En particulier, le calcul de la VAN permettant de déterminer le montant de la subvention est dépendant d'un taux d'actualisation, dont le niveau est difficile à justifier. Mc Nulty *et al.* (2002) montrent que le coût moyen pondéré du capital peut varier dans des proportions importantes suivant les hypothèses de départ, en particulier la période sur laquelle on calcule la « prime de marché ». Dans ces conditions, le calcul de la VAN – et donc du montant de la subvention – paraît fortement arbitraire.

Dans ce contexte, l'intérêt de l'analyse optionnelle est double.

En premier lieu, l'analyse optionnelle permet de rendre la modélisation du risque plus concrète. Dans le calcul de VAN, le risque est pris en compte par le dénominateur, à travers le taux d'actualisation. Comme nous l'avons indiqué plus haut, le taux d'actualisation est une donnée agrégée, résultant d'une série de calculs que peu de managers sont en mesure de justifier.

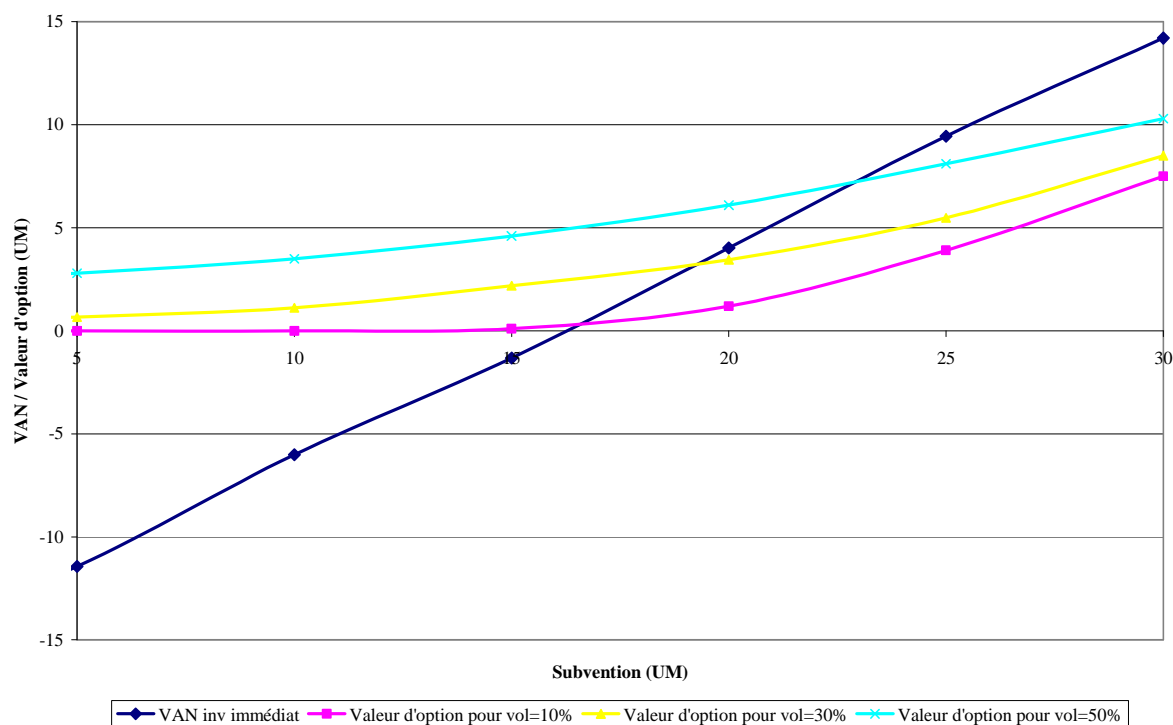
L'intérêt des options réelles est de déplacer l'analyse du risque du dénominateur (le taux d'actualisation) vers le numérateur (les cash-flows). Cela permet de décrire le risque avec des variables qui ont un sens « économique », comme par exemple le nombre minimal et maximal de clients ADSL que l'on peut anticiper au cours des trois premières années d'exploitation.

Deuxièmement, les options réelles permettent d'établir un lien explicite entre le risque et la valeur du projet.

Dans la première section, nous avons effectué des simulations de Monte Carlo sur la VAN. Le profil de distribution obtenu a permis de montrer l'existence d'un risque. Cependant, les simulations de Monte Carlo sur la VAN ne conduisent pas à une règle de décision simple. En l'espèce, le résultat des simulations ne permettait pas de déterminer le montant minimal de la subvention à négocier.

A l'inverse, les options réelles permettent d'explicitier le lien entre la variabilité des cash-flows et la valeur du projet. A titre d'illustration, la Figure 6.5 montre l'impact de la volatilité du nombre de clients ADSL sur le montant de la subvention.

Figure 6.5 : Impact de la volatilité sur le montant minimum de subvention à négocier



La Figure 6.5 indique que plus le futur nombre de clients ADSL est incertain, plus la courbe de la valeur d'option se déplace vers le haut, et plus la subvention nécessaire pour un démarrage immédiat de l'ADSL est élevée.

III. Anticipation du plan de charge des déploiements sur l'ensemble du territoire

Jusqu'à présent, nous avons surtout souligné l'intérêt des options réelles pour mieux comprendre la valeur d'un projet d'investissement en contexte incertain. Une seconde contribution importante de l'analyse optionnelle est de permettre une meilleure gestion du *timing* de l'investissement.

L'utilisation de la VAN permet de déterminer, à un moment donné, si le projet doit être lancé ou non. Dans cette étude de cas, la VAN indique que l'ADSL doit être déployé à partir du moment où la subvention est supérieure ou égale à 15,9 UM. Dans le cas contraire, le projet ne doit pas être lancé, mais la VAN ne formule pas de préconisation particulière sur les décisions à prendre à l'avenir.

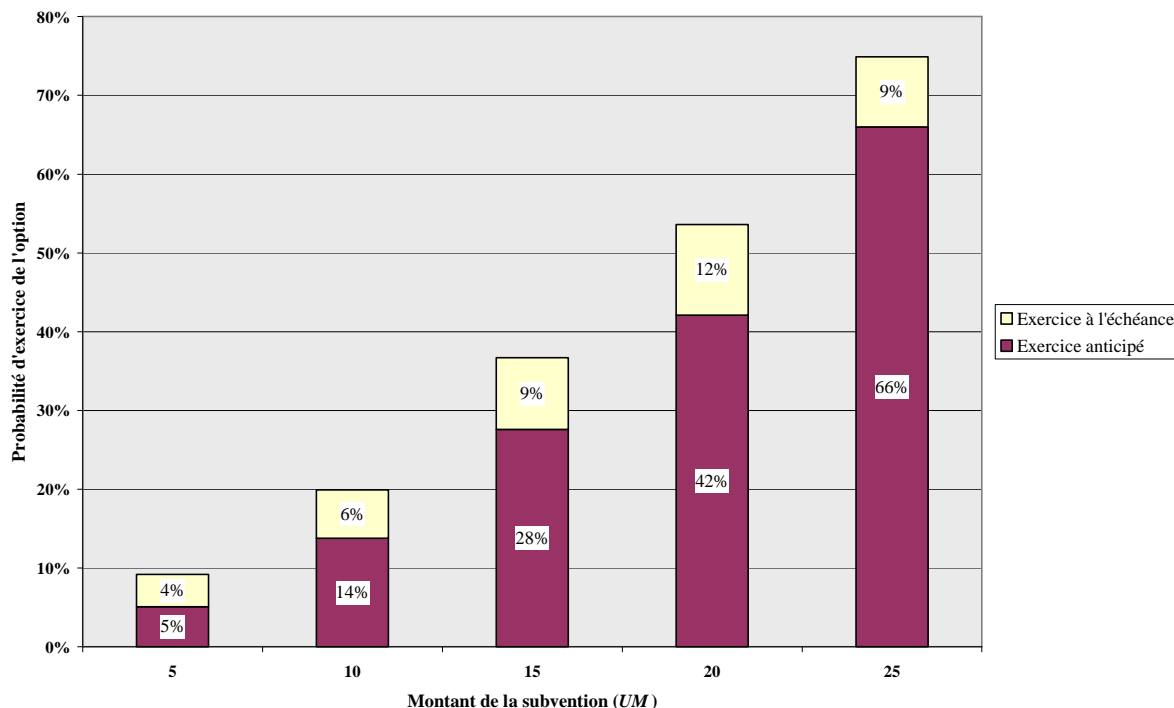
En revanche, l'analyse optionnelle peut aboutir à trois types de recommandations :

- Si la valeur d'option est nulle, alors il faut abandonner le projet. En effet, cela signifie que même dans les cas de figure les plus optimistes, le projet d'investissement ne sera pas rentable.
- Si la valeur d'option est strictement positive, et inférieure à la VAN de l'investissement immédiat, il faut investir immédiatement.
- Si la valeur d'option est strictement positive, et supérieure à la VAN de l'investissement immédiat, il faut attendre, c'est-à-dire repousser la décision d'investissement.

Si c'est la stratégie d'attente qui est préconisée, l'analyse des résultats des simulations de Monte Carlo permet de déterminer la probabilité que l'option soit exercée, c'est-à-dire que le projet soit lancé dans

le futur. Dans le cas de l'option américaine, on peut par ailleurs calculer la probabilité d'exercice de l'option à des dates intermédiaires. La Figure 6.6 récapitule les probabilités d'exercice de l'option pour différents montants de subvention.

Figure 6.6: Probabilité d'exercice de l'option suivant le montant de la subvention



Par exemple, si le montant de la subvention est de 15 UM, nous avons indiqué précédemment que l'analyse optionnelle recommande d'attendre. Dans ce cas, la Figure 6.6 indique qu'il y a environ 40% de chances que l'option soit exercée par la suite. Plus précisément, il existe une probabilité de 23% que l'option soit exercée de façon anticipée en 2003, et une probabilité de 17% que l'option soit exercée en 2004, à l'échéance de l'option.

Jusqu'à présent, nous avons concentré notre analyse sur un seul NRA. Or, AX Télécom dispose d'un maillage resserré de NRA sur l'ensemble du territoire. Pour plus d'une centaine d'entre eux, situés dans des zones rurales, la question de la rentabilité de l'ADSL est particulièrement difficile à trancher. Nous avons précisé en première section du chapitre que la décision économique de lancer l'ADSL est prise de façon locale, NRA par NRA. Néanmoins, le déploiement de l'ADSL est une opération qui sollicite des ressources importantes, et il est essentiel de coordonner les différents déploiements sur l'ensemble du territoire.

En conséquence, l'intérêt de l'analyse optionnelle est ici de déterminer, pour chaque NRA, la probabilité de déploiement en 2003 et en 2004.

On peut ainsi dresser un panorama général des déploiements probables sur l'ensemble du territoire (Figure 6.7).

Figure 6.7: Plan de charge prévisionnel de déploiement de l'ADSL (illustratif)

Année	2003			2004			2003/2004
	75%-100%	50%-75%	<50%	75%-100%	50%-75%	<50%	0%
Probabilité d'exercice							
Liste des Nœuds de Raccordement d'Abonnés (NRA) concernés	NRA 75 NRA 114 NRA 22 (...)	NRA 347 NRA 36 (...)	NRA 210 NRA 59 NRA 122	NRA 405 NRA 78 (...)	NRA 234 NRA 87 NRA 423 NRA 199 (...)	NRA 153 NRA 28	NRA 341 NRA 84 NRA 396 NRA 278 NRA 74 NRA 91 (...)

→ Temps

La Figure 6.7 donne une illustration théorique d'un tel panorama : elle liste les NRA les plus susceptibles de faire l'objet d'un déploiement en 2003, puis en 2004. Dans la colonne la plus à droite figurent les NRA pour lesquels on anticipe que l'ADSL ne sera pas rentable, même dans les configurations les plus optimistes.

Naturellement, cette cartographie des déploiements est valable à un instant donné – ici en 2002 – en fonction des éléments dont on dispose à ce moment là. L'analyse doit être actualisée régulièrement en fonction des informations qui sont collectées.

Comme dans le Chapitre 5, on peut mettre au point un système d'indicateurs, permettant de prendre plus rapidement la décision de lancement ou non de l'ADSL. Par exemple, on pourrait déterminer des seuils portant sur le nombre de clients ADSL ou sur l'évolution des prix de vente ADSL au-delà desquels l'exploitation de l'ADSL a de fortes probabilités d'être rentable.

Sachant que l'analyse optionnelle doit être répliquée sur un grand nombre de NRA, ce dispositif d'indicateurs permettrait de visualiser rapidement la probabilité des déploiements sur l'ensemble du territoire à chaque fois que l'on collecte de l'information sur la valeur des indicateurs.

Conclusion du chapitre

Cette étude de cas, basée sur une décision d'investissement réelle, a illustré l'intérêt de l'analyse optionnelle pour prendre une décision de déploiement d'un réseau de télécommunications en univers de faible intensité concurrentielle.

La première contribution importante de ce chapitre réside dans la comparaison de plusieurs modèles de valorisation, à la fois de l'option européenne et de l'option américaine, pour valoriser un projet d'investissement réel.

A notre connaissance, il s'agit de la seule étude de cas comparant, sur une décision d'investissement réelle, plusieurs méthodes de valorisation de l'option américaine.

Par ailleurs, en dehors de l'article de Cortazar et Schwartz (1998) mentionné dans le Chapitre 4,¹²⁴ il n'y a pas eu d'autre publication utilisant les simulations de Monte Carlo pour valoriser une option réelle américaine. Par rapport à l'application effectuée par Cortazar et Schwartz, l'étude de cas du Chapitre 6 présente l'intérêt d'intégrer plus de sources d'incertitude, et d'offrir une méthode de valorisation nettement plus simple. En effet, l'approche développée par Cortazar et Schwartz nécessite au départ la modélisation d'une équation aux différentielles partielles. De plus, elle se base sur le modèle de valorisation de l'option américaine de Barraquand et Martineau (1995), qui est plus complexe d'utilisation que celui de Longstaff et Schwartz (2001).

Les principaux enseignements de cette étude comparative sont les suivants :

- Pour la valorisation de l'option européenne :

On retrouve la plus grande facilité d'utilisation de la méthode par les simulations de Monte Carlo par rapport aux modèles « classiques » (modèle de Black et Scholes et modèle binomial), déjà constatée dans le Chapitre 5.

En particulier, les modèles « classiques » nécessitent l'estimation de paramètres agrégés comme la volatilité ou le taux de dividende, qui ne correspondent pas à des données économiques concrètes. A l'inverse, les simulations permettent aux managers de se concentrer sur les leviers qui ont une véritable signification économique : il s'agit par exemple de spécifier quel est l'intervalle de confiance des sources d'incertitude – par exemple le nombre minimal et maximal de clients ADSL potentiel – ou encore de déterminer en quoi un report du projet affecte les données du business plan.

D'autre part, l'approche par les simulations de Monte Carlo se greffe directement sur le business plan du projet ; elle est donc d'avantage perçue comme un moyen de raffiner le calcul de VAN que comme une méthode venant remettre en question les méthodes actuelles, et son acceptabilité n'en sera que meilleure.

En revanche, contrairement au Chapitre 5, on constate une assez grande proximité des résultats entre l'approche par les simulations de Monte Carlo et les méthodes classiques. Ceci tient au fait que les données du problème sont nettement moins complexes que dans l'étude de cas précédente : univers monopolistique, pas d'incertitude dans le cas du scénario « statu quo », une seule modalité d'exercice de l'option (déploiement de l'ADSL ou non, sans possibilité d'une modalité intermédiaire).

¹²⁴ Cf. Chapitre 4, section 1, § II.1. *La place des simulations de Monte Carlo dans la littérature sur les options réelles*

- Pour la valorisation de l'option américaine :

La valorisation de l'option américaine est significativement plus complexe que celle de l'option européenne. Il s'agit en effet de modéliser l'évolution du sous-jacent à des (une) date(s) intermédiaire(s) au cours de la vie de l'option, et de déterminer si, à ces (cette) date(s) l'option doit être exercée de façon anticipée ou non.

Le modèle binomial effectue cette modélisation de façon simplifiée, en supposant d'une part que la révélation d'information à ces dates intermédiaires est complète, comme dans le cas des options financières, et d'autre part que le dividende peut être exprimé soit comme une somme constante, soit comme un pourcentage de la valeur du sous-jacent.

L'approche par les simulations de Monte Carlo permet de traiter ces deux aspects de façon plus réaliste, mais les calculs spécifiques à la valorisation de l'option américaine sont alors plus complexes à mettre en œuvre que ceux des arbres binomiaux.

Les résultats obtenus dans cette étude de cas divergent selon le modèle de valorisation utilisé. Le modèle binomial indique que la probabilité d'exercice anticipé est très faible. Il aboutit donc à une valeur d'option américaine à peu près identique à celle de l'option européenne. En revanche, l'approche par les simulations de Monte Carlo conduit à une valeur d'option américaine qui est significativement supérieure à celle de l'option européenne (plus de 25% d'écart).

Une piste de recherche future sera de mieux comprendre les différences de valorisation de ces deux modèles, et en particulier l'impact d'une révélation d'information progressive sur la valeur de l'option américaine.

Le deuxième principal apport de ce chapitre porte sur l'intérêt de mener une analyse optionnelle pour améliorer le processus de décision stratégique.

Comme dans le chapitre précédent, cette étude de cas démontre qu'en contexte d'incertitude, et lorsqu'il existe une possibilité de repousser la décision d'investissement, l'approche optionnelle conduit à une valorisation de projet plus appropriée que le calcul de VAN.

Nous avons indiqué dans le Chapitre 2 la diversité des apports des options réelles à la décision d'investissement. Cette étude de cas illustre la contribution quantitative de l'analyse optionnelle – déterminer le seuil à partir duquel le lancement de l'ADSL est souhaitable – par rapport à une contribution purement qualitative.

En l'espèce, l'analyse optionnelle conduit à une recommandation de subvention minimale de la part des pouvoirs publics pour lancer l'ADSL dès 2003 qui est plus de 20% supérieure à celle recommandée par le calcul de VAN (19,5 UM, au lieu de 15,9 UM). Si l'option est valorisée comme une option américaine avec les simulations de Monte Carlo, la subvention est plus de 30% supérieure à celle recommandée par la VAN (21,3 UM, au lieu de 15,9 UM).

Par rapport au Chapitre 5, la contribution plus spécifique de cette étude de cas est tout d'abord de démontrer **l'intérêt des options réelles pour faciliter la communication avec une tierce partie au sujet de la valeur d'un projet d'investissement.** A cet égard, deux aspects peuvent être mentionnés.

En premier lieu, en identifiant l'attente comme une stratégie possible, les options réelles prennent explicitement en compte la valeur du temps. Dans cette étude de cas, ceci signifie que le lancement immédiat de l'ADSL a un coût, par rapport à une stratégie d'attente permettant de collecter de l'information. Les options réelles peuvent donc être utilisées pour communiquer de façon plus transparente avec des partenaires publics sur le « prix » à payer pour bénéficier rapidement d'une technologie nouvelle, dont la rentabilité économique n'est pas encore démontrée.

Par ailleurs, le recours aux options réelles peut être utile pour rendre explicite le lien entre la valeur et le risque du projet. Dans le calcul de VAN, le risque est pris en compte à travers le taux d'actualisation. Malheureusement, la mise en pratique des théories financières sur lesquelles repose le

calcul du taux d'actualisation est malaisée et, dans la réalité, il est difficile de justifier de façon objective la valeur de ce taux. Pour les analyses en interne, les entreprises peuvent s'accommoder de ce problème en veillant à la cohérence des taux d'actualisation utilisés pour la valorisation de leurs différents projets d'investissement. En revanche, lorsque la valeur d'un projet est discutée avec une tierce partie, la question du taux d'actualisation devient délicate.

Dans ce contexte, l'intérêt des options réelles est d'intégrer l'analyse du risque dans la variabilité des cash-flows. Contrairement au taux d'actualisation, la variabilité de paramètres tels que le nombre de clients ou le prix de vente correspond à des données concrètes, et peut donc constituer une base de discussion avec un tiers. Les options réelles permettent d'établir un lien explicite entre la variabilité de ces cash-flows et la valeur du projet. Dans ce chapitre, nous avons par exemple pu montrer en quoi une plus forte incertitude sur le nombre potentiel de clients impliquait le versement d'une subvention plus élevée pour assurer un démarrage rapide de l'ADSL.

La présente étude de cas a montré l'intérêt des options réelles pour faciliter les négociations avec les collectivités territoriales. Cet apport des options réelles peut être généralisé à d'autres types de communication externe. Shockley *et al.* (2003) citent en particulier le cas de la biotechnologie, lorsqu'il s'agit de négocier la valeur de licence d'un futur médicament, et d'une manière générale, tous les cas où la valeur d'une entreprise ou d'un projet doit être communiquée à des investisseurs extérieurs.

La deuxième spécificité de ce chapitre est de montrer **l'intérêt potentiel des options réelles pour l'organisation du déploiement d'un projet d'investissement de grande envergure.**

Lorsqu'un projet implique un ensemble de décisions qui sont prises localement, mais nécessitent pour leur mise en œuvre la coordination de ressources à l'échelle de toute l'entreprise, alors il est nécessaire d'avoir une vision sur le calendrier de déploiement du projet sur l'ensemble du territoire. En contexte de forte incertitude, l'élaboration d'un tel plan de charge peut s'avérer particulièrement ardue. L'intérêt des options réelles, et plus précisément ici de la valorisation de l'option américaine, réside dans la possibilité d'estimer les dates les plus probables d'exercice de l'option sur les différents points du territoire.

L'application développée ici concerne le déploiement d'infrastructures pour un réseau de télécommunications. Mais les applications sont multiples. A titre d'exemple, une telle approche pourrait être appliquée aussi bien à la décision de déploiement d'un réseau commercial sur un marché géographique donné, ou encore au déploiement d'un système d'information dans les différentes entités d'un groupe.

Le fait de valoriser l'option d'attente américaine comme telle, au lieu d'en estimer la valeur avec l'option européenne, a une implication double : d'une part, la valeur d'option obtenue est plus précise, et d'autre part, il est possible de calculer la probabilité d'exercice anticipé de l'option.

En matière de conduite de l'investissement, ceci a permis de calculer de façon plus précise la subvention minimale à négocier auprès des pouvoirs publics, et d'établir un plan de charge prévisionnel de déploiement de l'ADSL sur le territoire.

La question ouverte par cette étude, et qu'il serait intéressant d'étudier par la suite, est de déterminer si les informations supplémentaires délivrées par la valorisation de l'option américaine « méritent » le prix d'une complexité de calcul significativement plus importante que dans le cas de l'option européenne.

Dans ces deux premières études de cas de la Partie III, nous nous sommes intéressés à des décisions d'investissement devant être prises d'un bloc : décision de lancement d'un réseau de télécommunication mobiles basé sur la technologie UMTS ou EDGE (Chapitre 5), décision de lancement d'une offre ADSL dans une zone géographique donnée (Chapitre 6).

D'un point de vue optionnel, de telles décisions peuvent être assimilées à des options simples, qu'elles soient de type européen (exercice possible à un point donné dans le temps seulement) ou de type américain (exercice possible durant toute une période donnée).

Toutefois, un nombre important de décisions d'investissement est pris sur un mode séquentiel : l'investissement est réalisé de façon progressive, et ce n'est qu'à terme de cette séquence que tout ou partie des cash-flows prévus par le projet d'investissement sont effectivement générés.

D'un point de vue optionnel, de telles décisions peuvent être assimilées à des options séquentielles, encore appelées options sur option : l'exercice de la première option génère non pas des cash-flows, mais la création d'une autre option. Les cash-flows sont générés par la dernière option de la chaîne. C'est ce type d'option que nous allons étudier dans la troisième étude de cas.

*Chapitre 7 – Etude de
Cas « R&D »*

Introduction

Ce chapitre est consacré à une étude de cas dans le domaine de la R&D. Elle met en scène un opérateur de télécommunications, le Groupe Théta Telecom, qui gère à la fois des activités de téléphonie fixe, téléphonie mobile et accès internet haut débit. Le Groupe réfléchit sur la mise en place d'un système de gestion d'identité, permettant d'identifier plus facilement les utilisateurs d'internet. **L'étude de cas se focalise sur la filiale d'accès internet, Théta.net. Celle-ci doit déterminer s'il faut déployer le même « kit » de gestion d'identité que sa filiale sœur présente dans les télécommunications mobiles, ou s'il est préférable d'abandonner ce kit, pour déployer plus tard une autre version.**

Par rapport aux études de cas réalisées dans les chapitres précédents, deux aspects nouveaux sont investigués dans ce chapitre. **Sur le plan de la valorisation, nous nous intéressons ici à une option composée**, alors que les chapitres précédents portaient sur des options simples (option européenne et américaine). **Sur le plan stratégique, nous étudions une décision d'investissement qui s'inscrit dans une problématique de groupe, et ne peut pas être analysée de façon isolée.**

Dans la première section, nous présentons le contexte et la décision d'investissement. Nous valorisons le projet à l'aide de la VAN et effectuons une analyse de risque du projet. Nous analysons les insuffisances de ces approches pour déterminer la meilleure décision d'investissement à prendre, et montrons en quoi celle-ci peut être analysée à travers une grille de lecture optionnelle.

Dans la deuxième section, nous valorisons l'option, en utilisant et en comparant trois modèles de valorisation différents.

Dans la troisième section, nous discutons l'apport des options réelles à la décision d'investissement dans la R&D. Nous montrons que celles-ci permettent un meilleur pilotage du projet considéré de façon individuelle, et peuvent également contribuer à optimiser le processus de décision à l'échelle du Groupe.

Encadré 7.1 : Méthodologie suivie pour l'étude de cas du Chapitre 7

Pour la réalisation de ce chapitre, nous avons sélectionné une problématique représentative de la complexité d'une décision d'investissement dans la R&D, en raison d'une part de la coexistence d'impératifs à court et moyen terme, et d'autre part du caractère transverse de la décision.

L'étude de cas a été réalisée en deux grandes phases.

Dans un premier temps, nous avons analysé la problématique de la gestion d'identité dans son ensemble, à l'échelle du groupe. Nous nous sommes pour cela appuyés sur des analyses externes, en particulier les rapports d'instituts de recherche spécialisés dans les télécommunications, ainsi que sur les analyses publiées sur le web par la presse spécialisée et les principaux acteurs du secteur, notamment l'Alliance Liberty.

Afin de mieux cerner les principaux enjeux en matière de gestion d'identité pour le Groupe Théta, nous avons analysé les documents internes relatifs à plusieurs projets du Groupe ayant un lien direct avec la gestion d'identité. Nous avons par la suite mené une série d'entretiens au sein du département R&D auprès du principal responsable de la gestion de l'identité pour l'ensemble du groupe, et auprès de l'équipe d'évaluation économique.

Nous avons vu dans le Chapitre 2 qu'une analyse optionnelle portant sur une problématique transverse à l'ensemble de l'entreprise, et s'étendant sur un horizon de temps à moyen terme est trop complexe pour donner lieu à un exercice chiffré.

En conséquence, pour la réalisation de cette étude de cas, nous avons restreint notre analyse à une problématique de court-moyen terme (le déploiement ou non d'un produit existant), et sur un périmètre restreint (la filiale Théta.net). Cette phase a été réalisée en collaboration avec la personne chargée, au sein du département R&D, des déploiements à court terme en matière de gestion d'identité.

L'ensemble de l'analyse a été validé par la remise d'un rapport final, ainsi qu'une présentation au sein du département R&D du Groupe Théta.

SECTION 1: PRESENTATION DU CONTEXTE, ET ANALYSE OPTIONNELLE DE LA DECISION D'INVESTISSEMENT

La présente étude de cas a été réalisée en 2005. Elle porte sur un domaine de recherche qui devrait jouer un rôle majeur dans les années à venir pour le développement de l'internet : la gestion de l'identité.

Dans cette section, nous explicitons tout d'abord en quoi consiste la gestion de l'identité, et quelles sont les solutions techniques possibles.

Nous décrivons ensuite la décision d'investissement étudiée : il s'agit, pour un fournisseur d'accès internet, de déterminer s'il faut déployer auprès des fournisseurs de services internet un premier mécanisme de gestion d'identité dès l'année 2006.

Dans un troisième temps, nous valorisons ce projet d'investissement avec la VAN, et montrons la difficulté de prendre une décision d'investissement sur la base de ce calcul dans un contexte de forte incertitude.

I. Description du contexte et de la décision d'investissement

1.1. La problématique de la gestion de l'identité

1.1.1. Principe de la gestion d'identité

En 2005, lorsqu'est réalisée cette étude de cas, la gestion de l'identité est perçue comme l'un des enjeux majeurs pour développer les services par internet.

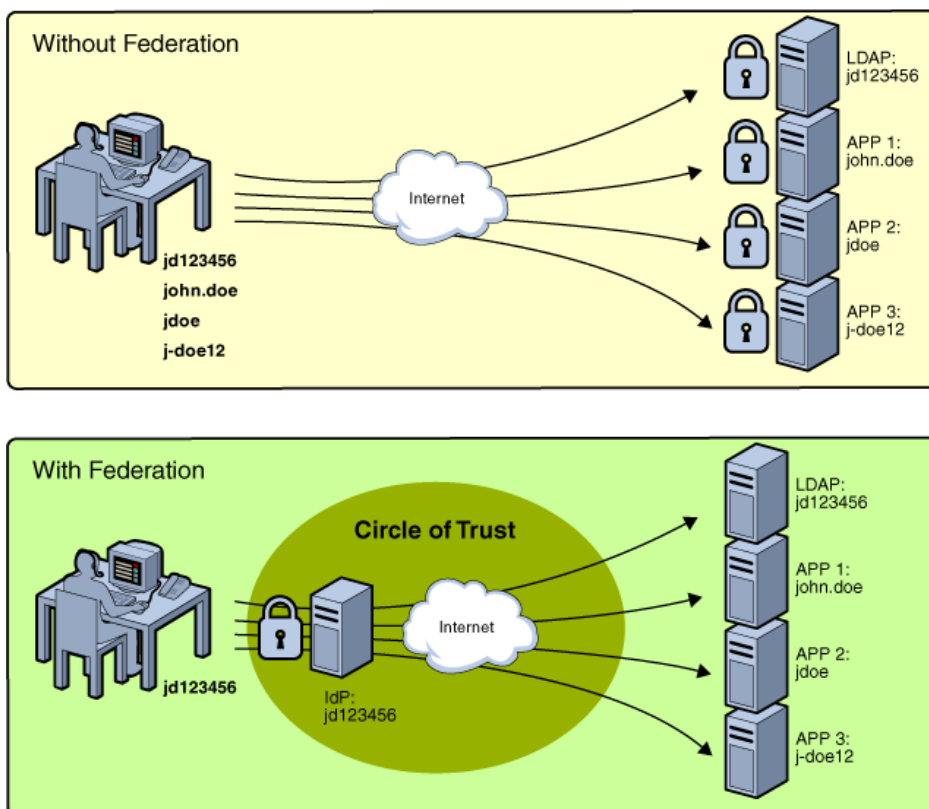
A cette date, les services par internet sont encore peu personnalisés. D'autre part, la navigation d'un site à un autre manque de fluidité, car l'utilisateur doit indiquer pour chaque fournisseur de service un identifiant et un mot de passe spécifiques.

L'objectif de la gestion de l'identité est d'offrir un meilleur confort d'utilisation des services internet. Ceci passe par la réalisation de deux phases :

1. **La fédération d'identité (dite « SSO » pour « Single Sign On »)**

La fédération d'identité offre à l'utilisateur la possibilité de naviguer d'un site à un autre sans avoir à saisir un identifiant et un mot de passe spécifiques à chaque prestataire de service. L'utilisateur n'a donc plus besoin de mémoriser un nombre important d'identifiants et de mots de passe. Par ailleurs, il n'a besoin d'indiquer ces données qu'une seule fois en début de session, et peut ensuite naviguer de façon sécurisée entre les différents sites.

Figure 7.1 : Principe de la fédération d'identité



Source : <http://blogs.sun.com/hubertsblog>, 21/11/2006

Exemple d'application :

Après avoir réservé son billet d'avion sur le site d'une compagnie aérienne, l'utilisateur pourra être redirigé vers le site d'un loueur de voiture, et réserver un véhicule sans avoir à s'identifier de nouveau.

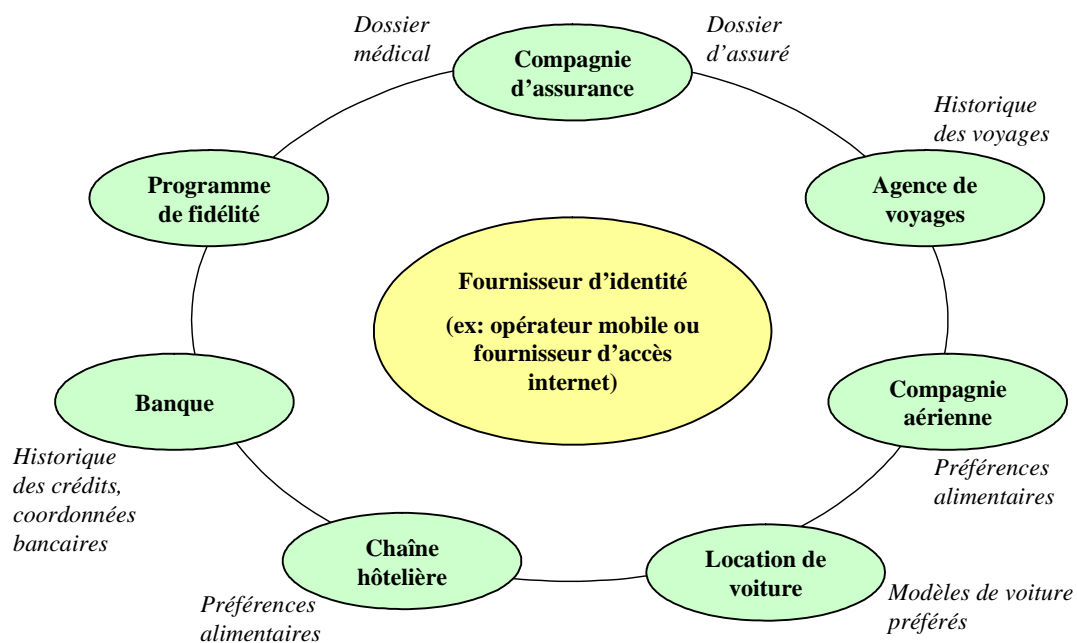
2. Le partage d'attributs

Le partage d'attributs permet aux fournisseurs d'offrir des services personnalisés, c'est-à-dire adaptés aux caractéristiques du consommateur, tout en garantissant l'anonymat de celui-ci.

Ces caractéristiques ou « attributs » peuvent notamment porter sur :

- Les données personnelles de l'utilisateur : adresse / code postal, sexe, date de naissance, situation familiale, nombre d'enfants, etc.
- Les antécédents du consommateur : historique bancaire, dossier médical, dossier d'assurance, etc.
- Les préférences de consommation : voyages, loisirs (musique, cinéma, sport), régime alimentaire ;
- Les caractéristiques techniques du terminal utilisé par le consommateur.
- La présence et l'emplacement géographique de l'utilisateur (d'un terminal mobile, par exemple téléphone ou PDA).
- Les détails bancaires (numéro de carte de crédit notamment), permettant d'effectuer des achats sur internet.

Figure 7.2 : Principe du partage d'attributs



Source : d'après « Liberty Alliance Project : Digital Identity Defined », Cannes, 16 février 2005

Exemples d'application :

- Les préférences de repas indiquées par le consommateur sur le site d'une chaîne de restauration peuvent ensuite être communiquées (avec son accord bien sûr) à une compagnie aérienne ou à une chaîne d'hôtels.
- La connaissance des caractéristiques techniques du terminal permet au fournisseur de services d'adapter ses messages aux capacités du terminal. Par exemple, il ne joindra pas de vidéo s'il s'agit d'un terminal qui peut lire seulement du texte.
- Rob utilise le même opérateur de télécommunications pour son accès ADSL et pour ses télécommunications mobiles. Lorsqu'il est à la maison, il écoute souvent la radio sur son ordinateur. Il a enregistré dans les « favoris » ses stations de radio préférées sur son téléphone mobile. Grâce à la gestion d'identité, il peut écouter la radio en utilisant les mêmes codes d'accès sur son ordinateur et sur son téléphone mobile.
- Janet et Joe sont allés se promener en ville. Ils souhaitent maintenant aller au cinéma. Grâce au partage de l'attribut « géo-localisation », ils peuvent en quelques clics obtenir la liste des cinémas les plus proches de l'endroit où ils se trouvent, et consulter les programmes – sans avoir besoin de donner des détails sur leur identité réelle.

Pour les utilisateurs, le partage d'attributs permet de bénéficier de services personnalisés, tout en ayant l'assurance que leurs données personnelles seront sécurisées. Le fait de trouver une offre adaptée à leur profil de consommation leur permet de gagner beaucoup de temps, et en particulier lorsque la consommation de services internet se fait par l'intermédiaire d'un téléphone mobile, d'éviter beaucoup de frustrations.

Pour les fournisseurs de service, c'est l'occasion de générer plus de revenus. Les fournisseurs peuvent mettre en avant l'offre correspondant le mieux au profil de l'utilisateur ; de plus, l'offre de services personnalisée plus rapide permet de générer des ventes avec des utilisateurs qui n'auraient sans cela pas la patience d'aller jusqu'au bout de l'acte d'achat, en particulier lorsqu'ils accèdent au service par l'intermédiaire d'un téléphone mobile.

1.1.2. Des enjeux économiques majeurs, conduisant à des rivalités technologiques

Microsoft, pionnier de la fédération d'identité avec « Passport »¹²⁵

La première initiative d'envergure en matière de gestion d'identité a été menée par l'entreprise Microsoft, avec son produit « Passport ».

Passport a été lancé de façon assez discrète en 1999. En 2001, lorsque Microsoft a annoncé le lancement de son initiative .NET de services sur internet, le rôle clé de Passport dans la stratégie de l'entreprise est apparu plus clairement. La logique sous-jacente était la suivante : le plus d'utilisateurs s'étaient inscrits sur Passport, le plus Passport apparaissait attractif aux yeux des entreprises vendant des produits et des services sur internet, et qui souhaitaient ajouter ces clients « Passport » à leur clientèle existante.

En 2002, Passport revendiquait 200 millions de comptes actifs dans le monde entier, avec une moyenne de 3,5 milliards d'actes d'authentification par mois. Passport comptait une centaine de sites internet partenaires, avec de nombreux autres sites en cours de mise en place. Les revenus générés directement par Passport correspondaient à un abonnement forfaitaire annuel payé par les sites partenaires, auquel s'ajoutaient des commissions calculées sur le volume d'actes d'authentification.¹²⁶ Considéré de façon isolée, Passport n'était pas un produit rentable pour Microsoft. En revanche, l'entreprise considérait Passport comme un formidable catalyseur pour générer des revenus provenant de services internet supplémentaires.

A terme, Microsoft a l'ambition d'aller au-delà de la simple identification de l'utilisateur, et de former des « cercles de confiance », permettant à l'utilisateur de consommer des services de façon totalement sécurisée sur de vastes zones d'internet. A cette fin, Microsoft a notamment formé une alliance avec IBM : l'objectif est développer une norme, WS-* (Web Services-*), notamment composée des standards WS-Security et WS-Federation, permettant de gérer le partage d'attributs.

La formation de l'Alliance Liberty, et les autres initiatives de SSO

Sous la houlette de Sun Microsystems, un consortium d'entreprises nommé « Liberty Alliance » s'est formé en septembre 2001, afin de concevoir un produit concurrent de celui de Microsoft.

Progressivement, l'Alliance Liberty a réussi à fédérer sous sa bannière un grand nombre d'organisations,¹²⁷ représentant tous les types d'acteurs de l'univers d'internet : des éditeurs de logiciel, des fabricants de terminaux téléphoniques, des opérateurs de télécommunications, des consommateurs (ex : administrations), des fournisseurs de services, notamment dans le secteur bancaire et aéronautique.

La feuille de route de l'Alliance Liberty prévoit l'établissement de trois principaux standards :

- La norme ID-FF, permettant de gérer la fédération d'identité ;
- Les normes ID-WSF et ID-SIS permettant de gérer le partage d'attributs.

Son objectif initial de concurrence frontale avec Microsoft s'est modifié en cours de route. En 2005, le principal objectif poursuivi par l'Alliance Liberty est de développer des spécifications, qui garantiront une interopérabilité entre différentes applications de SSO.

¹²⁵ Principale source sur le « Passport » de Microsoft : « The Role of Web Single Sign-On Services as Revenue and ROI Drivers », The Yankee Group, 18 mars 2002.

¹²⁶ C'est-à-dire qu'au-delà d'un certain volume, les sites partenaires devaient payer une commission à Microsoft chaque fois qu'un utilisateur de « Passport » vient visiter leur site.

¹²⁷ Environ 150 en 2005 (Source : « Liberty Alliance Project : Digital Identity Defined », <http://www.projectliberty.org>).

En marge de l'Alliance Liberty se sont développées plusieurs autres initiatives d'applications SSO. En particulier, le fournisseur d'accès AOL, membre de l'Alliance Liberty, a travaillé de son côté sur son propre système de gestion de l'identité. Dans le cadre de son projet « Magic Carpet », AOL a déployé en janvier 2002 une application SSO assez similaire à « Passport », nommée « ScreenName », permettant de naviguer de façon sécurisée entre des sites internet affiliés à AOL. AOL mesure toute l'importance de figurer comme l'un des principaux points d'entrée sur internet. Dans cette perspective, le déploiement d'un système de gestion d'identité est essentiel, afin de conquérir de nouveaux clients qui seront intéressés par l'accès aux fournisseurs de services et de contenu partenaires d'AOL.

Il faut également noter le développement de deux autres applications « open source » : PingID et XNS (Extensible Name Service). Néanmoins, leur impact semble limité, dans la mesure où aucun acteur important de l'internet ne leur a apporté son soutien.

Enfin, le groupe OASIS a développé un autre standard, SAML (Security Assertion Markup Language). SAML ne fournit pas un protocole de fédération d'identité en soi. Plutôt, il fournit les outils à partir desquels on peut construire un système de fédération d'identité.¹²⁸ Ainsi, SAML a des liens avec l'Alliance Liberty d'une part, et Microsoft d'autre part (à travers WS-Security). Néanmoins, SAML suit son propre agenda, et le périmètre qu'il couvre n'est pas le même que celui couvert par l'Alliance Liberty d'une part, et WS-Security d'autre part.

Quelle technologie future pour la gestion de l'identité ?

Ainsi, le domaine de la gestion d'identité apparaît comme un véritable patchwork, faisant intervenir de nombreux acteurs provenant d'univers différents, et ayant pour la plupart des liens d'interdépendance entre eux. Ceux-ci offrent des solutions techniques qui pour certaines se complètent, et pour d'autres se recoupent.¹²⁹

Dans la mesure où la gestion de l'identité nécessite la coordination des différents acteurs de l'univers d'internet (opérateurs de télécommunications, fournisseurs de services, équipementiers, éditeurs de logiciels, consommateurs), il paraîtrait logique que l'industrie cherche à mettre au point un standard unique, et vise à la convergence des différents systèmes existants.

Le principal obstacle à cette convergence n'est pas tant d'ordre technique que d'ordre économique. En effet, le « business model » de la gestion d'identité n'apparaît pas encore clairement. Bien que la gestion d'identité fasse sens pour les trois grands types d'acteurs impliqués – le consommateur, le site internet fournisseur de service et le « fournisseur d'identité » – il existe de nombreuses façons de partager la rente économique.

En particulier, il serait logique de parvenir à une fusion des systèmes proposés par l'Alliance Liberty et Microsoft. Mais, pour des raisons liées aux droits de propriété, un tel rapprochement n'est pas du tout assuré.¹³⁰

Une interview de M. Chanliau, directeur de la sécurité des services internet chez Computer Associates, témoigne de la concurrence persistante entre les deux standards : « *Le problème était et reste qu'il y a des normes concurrentes. D'un côté Liberty, de l'autre WS-Federation. Liberty est constituée des*

¹²⁸ Cf. Giga Group, 9/10/2002, „*Federated Identity and Internet Single Sign-On (I-SSO): Standards Progressing, but the End Game is Unclear*“ by Randy Heffne, page 3

¹²⁹ Cf. par exemple l'article de 01Net Informatique : « *En 2005, des attributs de localisation, de présence et de carnet de contacts seront disponibles* », ajoute Simon Nicholson. Mais, pour Mike Neuenschwander, directeur de recherche associé au Burton Group, Liberty Alliance n'a pas une idée claire quant à la direction à emprunter. « *En étendant ID-WSF, elle risque de se heurter aux travaux d'IBM et de Microsoft sur WS-Security* », affirme-t-il. Le Meta Group souligne d'ailleurs que le chevauchement entre WS-Federation (brique venant se greffer sur WS-Security) et les modules de Liberty Alliance sème toujours la confusion, et n'anticipe pas la convergence de l'ensemble avant 2006 » (<http://www.01net.com/article/256958.html>)

¹³⁰ Pour plus de détails sur ce point, cf. « *Microsoft and Liberty Alliance : Both Have Half an Answer for Internet Identity* », Giga Information Group, 1^{er} octobre 2001.

normes ID-FF, ID-WSF et ID-SIS. ID-WSF est en concurrence directe avec WS-Federation. On peut parler d'une guerre des protocoles »¹³¹ (interview de Marc Chanliau par Dietmar Müller, ZDNet, 2 février 2005).

A terme, le scénario le plus probable est qu'il existera une certaine interopérabilité entre les différentes technologies. Néanmoins, lorsque cette étude est réalisée en 2005, nul ne peut dire quand, ni selon quel processus et sur quel périmètre¹³² cette interopérabilité sera réalisée.

1.2. Description de la décision d'investissement

L'étude de cas a été réalisée en 2005 pour un opérateur de télécommunications, le Groupe Théta Télécom, qui regroupe des activités de téléphonie fixe, de téléphonie mobile et d'accès internet. Les activités de téléphonie mobile sont gérées par la filiale Théta.mobile, tandis que la filiale Théta.net est dédiée à l'activité de fournisseur d'accès internet.

La décision d'investissement analysée dans cette étude de cas porte sur l'achat et le développement par Théta.net d'un kit, lui permettant de pratiquer la fédération d'identité avec des prestataires de services internet partenaires. Par la suite, nous dénommerons celui-ci par « kit SSO ».

Le projet de déploiement du kit SSO a été à l'origine lancé par la filiale de télécommunications mobiles du Groupe, Théta.mobile.

Dans le domaine des télécommunications mobiles, la gestion de l'identité constitue une condition nécessaire pour que les utilisateurs consultent des sites internet et utilisent des services internet sur leur téléphone mobile. La gestion de l'identité permet ainsi d'augmenter le revenu moyen généré par l'abonné (ARPU), et mettre en place une fonctionnalité de Single Sign On avec ses prestataires de services partenaires revêt à ce titre une importance stratégique.

Tout comme d'autres opérateurs de télécommunications, le Groupe Théta poursuit une stratégie d'opérateur complet, offrant à ses clients des solutions de téléphonie fixe, mobile et accès à internet. Pour les clients, l'attrait d'une telle offre est de pouvoir naviguer de façon fluide entre les différentes applications télécoms.

La poursuite d'une stratégie de convergence par le Groupe Théta passe naturellement par une interopérabilité des systèmes de gestion d'identité de ses différentes filiales. Il paraîtrait donc logique que la filiale Théta.net déploie le kit SSO à la suite de la filiale Théta.mobile.

Néanmoins, la question de l'investissement dans le kit SSO se pose en termes de *timing*.¹³³ Ceci s'explique notamment par les trois raisons suivantes.

¹³¹ Texte original en Allemand : „Das Problem war und ist, dass es konkurrierende Spezifikationen gibt. Liberty auf der einen Seite, WS-Federation auf der anderen. Liberty besteht aus den Spezifikationen ID-FF, ID-WSF und ID-SIS. ID-WSF steht in direktem Wettbewerb zu WS-Federation. Man kann von einem Krieg der Protokolle sprechen.“

¹³² Par exemple, l'interopérabilité ne pourrait exister que sur la fonction de fédération d'identité (et non pas sur le partage d'attributs)

¹³³ Cf. Extrait d'un rapport du Giga Group, oct 2002: "The critical question for an enterprise to answer is whether, given current immaturity of standards and technology, federation is viable for a pressing business need, particularly since implementation at this early stage means greater upfront costs and greater risk of future changes as standards evolve. Thus, the potential for value must be high." (p.6)

1. En 2005, l'évolution de l'industrie des télécommunications vers une logique de convergence fixe-mobile n'a pas encore commencé.

D'après un rapport de la société d'étude Heavy Reading,¹³⁴ les premiers débuts de la convergence auraient lieu vers 2006-2007, et celle-ci serait complètement opérationnelle vers 2010-2012.

Cette évolution reste une perspective encore lointaine, et il subsiste de nombreuses incertitudes à la fois sur l'ampleur et sur le timing de la convergence fixe-mobile :

"FMC [Fixed-Mobile Convergence] will eliminate the barriers that now exist between wireline and wireless networks over the next decade, although there's no consensus on the timing for this convergence"

(...)

« FMC poses technological, organizational, and even marketing challenges that make it difficult to predict timing. As with other paradigm-changing initiatives, FMC will require more than technology to take root. While many service providers are positioning themselves to take advantage of FMC by playing in both the wireless and wireline markets now, others have declined to make that move, with some – most recently AT&T – actually having abandoned heterogeneous portfolios. In short, service providers have yet to prove that they can make the organizational and marketing transition to FMC".

En conséquence, la nécessité pour la société Théta.net d'utiliser le même kit SSO que sa filiale sœur Théta.mobile n'apparaît pas urgente.

2. En 2005, l'intérêt économique pour la société Théta.net d'une fonctionnalité de fédération d'identité est difficile à estimer.

Dans le domaine de la téléphonie mobile, la gestion d'identité apparaît comme indispensable pour faciliter la pratique de l'internet, en raison de l'absence de clavier et de la petite dimension de l'écran. On comprend donc l'intérêt de la filiale Théta.mobile pour le kit SSO, d'autant plus que l'intensité concurrentielle dans ce secteur est forte.

Dans le domaine de l'internet fixe, la gestion d'identité permet un confort accru de l'utilisation d'internet, mais sans être aussi indispensable que pour l'internet mobile. Il est donc difficile d'anticiper dans quelle mesure les utilisateurs valoriseront cette fonctionnalité.

De plus, la société Théta.net subit une pression concurrentielle moins intense que sa filiale sœur dans la téléphonie mobile. Le besoin de se distinguer des concurrents par des fonctionnalités nouvelles est donc moins aigu.

3. A contrario, le déploiement du kit SSO présente des risques importants pour la filiale Théta.net

En premier lieu, le déploiement du kit SSO génère un risque de cannibalisation pour les activités de contenu de Théta.net.

En effet, la société Théta.net possède différentes filiales qui offrent des services internet (par exemple : vente de livres et de disques par internet), et pratique déjà la fédération d'identité avec ces filiales. Ceci signifie que les clients de Théta.net qui utilisent les services de ces filiales n'ont pas besoin de saisir à nouveau leur identifiant et leur mot de passe.

Les filiales de Théta.net disposent donc d'un avantage concurrentiel par rapport à des fournisseurs de service extérieurs au Groupe. Cet avantage disparaîtrait si les fournisseurs extérieurs pouvaient eux aussi pratiquer la fédération d'identité grâce au kit SSO.

Surtout, nous avons indiqué précédemment l'incertitude très forte sur la norme qui dominera la gestion de l'identité dans les années à venir.

C'est un enjeu de taille car les mécanismes de gestion de l'identité ne peuvent fonctionner que si l'opérateur de télécommunications et le prestataire de service internet utilisent la même norme.

¹³⁴ Graham Finnie, « Fixed-Mobile Convergence Reality Check », Heavy Reading, Vol 2 n° 26, December 2004

En conséquence, le risque pour Théta.net est de déployer le kit SSO qui est fondé sur ID-FF, la norme de l'alliance Liberty, tandis que la majorité des fournisseurs de service internet utiliserait une autre norme, par exemple la norme de Microsoft WS-*

On peut également imaginer un cas de figure où la phase de « fédération d'identité » serait dominée par la norme Liberty, mais où la norme WS-* s'imposerait pour la phase de partage d'attributs. En effet, les analystes estiment que l'alliance Liberty est plus performante que Microsoft en matière de fédération d'identité, tandis que Microsoft est en avance en matière de partage d'attributs. 135

En ce cas, le potentiel d'extension du kit SSO pour ID-FF vers un kit de partage d'attributs reposant sur ID-WSF n'aurait plus de valeur.

Les sociétés d'études mettent en garde les entreprises qui envisageraient un déploiement à grande échelle d'un système de gestion d'identité. En raison à la fois de la disparité des solutions techniques, et du manque de visibilité sur la valeur économique de la gestion de l'identité, les analystes recommandent une approche incrémentale dans les déploiements (cf. Encadré 7.2).

Encadré 7.2 : Identity Management : “When it comes to deployment, think small”

A titre d'illustration, voici les extraits de deux études incitant les entreprises à adopter une approche incrémentale, avec des paybacks rapides, dans le déploiement de systèmes de gestion d'identité.

Etude de Giga, octobre 2002

“The vision is that via ‘networks of trust » established across the Internet, consumers and business users will be able to « travel » securely and with appropriate privacy protection across wide swaths of the Internet. As with most new technology directions, the vision is not wrong per se, but the reality of how to get there is a complex mix of development of technology standards, creation of business models and resolution of business issues. (page 1)

(...)

The critical question for an enterprise to answer is whether, given current immaturity of standards and technology, federation is viable for a pressing business need, particularly since implementation at this early stage means greater upfront costs and greater risk of future changes as standards evolve. Thus, the potential for value must be high.” (page 6).

Source: Giga Group, 9/10/2002, „Federated Identity and Internet Single Sign-On (I-SSO): Standards Progressing, but the End Game is Unclear“ by Randy Heffne

Etude de Forrester, décembre 2004

« Focus on short project cycles with quick returns. Identity management remains a scattered, though sometimes overlapping, set of technologies and functions. And because its value comes in many forms (...) too many organizations struggle over how to start and how far to go.

(...)

Broadly scoped projects will only get mired in application integration efforts, data and process ownership conflicts, and failed attempts at building an enterprise rolebased access model. But prioritising projects according to demand and complexity, incrementally rolling out and enhancing features, and slowly expanding the user population served can create quick value and prove the worth of further investment ».

Source: Forrester, 13/12/2004, „Trends 2005: Identity Management“ by Jonathan Penn, page 5

¹³⁵ Cf. GigaGroup, 2002, *ibid.*, page 5

Dans ce contexte, il s'agit pour Théta.net de déterminer s'il faut acheter et développer le kit SSO choisi par sa filiale sœur Théta.mobile, ou s'il est préférable d'attendre que les incertitudes économiques et technologiques soient levées avant d'investir dans un système de fédération d'identité avec les sites partenaires.

II. Analyse de la rentabilité du kit SSO

L'analyse de la rentabilité révèle que le kit SSO par lui-même n'est sans doute pas un investissement rentable. En revanche, il faut prendre en compte le fait que le kit SSO peut aussi constituer une première étape, permettant ensuite de déployer un kit de partage d'attributs. Si l'on prend en compte la valeur de ce potentiel d'extension, alors la VAN totale du kit SSO n'est plus que légèrement négative (Tableau 7.1).

Tableau 7.1. : Détail de la VAN du kit SSO
(en UM, actualisées au 01/01/2005)

Bénéfices directs du kit SSO	110
Réduction des coûts de déploiement	104
Réduction du taux d'attrition permise par la fédération d'identité	55
Pertes liées à la cannibalisation des activités de contenu	-50
Coût d'investissement dans le kit SSO	-239
VAN du kit SSO seul	-129
Potentiel de développement vers un kit de partage d'attributs	117
Réduction du taux d'attrition permise par le partage d'attributs	141
Revente d'attributs à des tiers	170
Coûts d'investissement dans l'extension du kit	-194
Valeur totale du kit SSO	-12

Pour la société Théta.net, on peut distinguer deux principaux leviers de création de valeur économique du kit SSO :

1. La réduction du coût et du temps de déploiement de nouveaux services

En 2005, les fournisseurs de services internet externes au Groupe Théta ont intégré leur mécanisme d'authentification dans leur propre système. A chaque déploiement d'un nouveau service, il faut donc s'assurer que le système d'authentification élaboré par le fournisseur de services est compatible avec celui de Théta.net. Ceci nécessite notamment la conduite de tests, et la correction des bugs. Toutes ces actions pourraient être évitées si Théta.net fournissait à ses fournisseurs de services partenaires un module standard d'authentification.

2. La réduction du taux d'attrition

Pour Théta.net, cela constituerait un avantage concurrentiel intéressant de proposer à ses abonnés de ne saisir qu'une seule fois leur identifiant et leur mot de passe lorsqu'ils naviguent sur le site de fournisseurs de services partenaires.

On peut donc estimer que ce plus grand confort d'utilisation d'internet viendrait réduire le taux d'attrition (« churn ») de Théta.net, et donc les dépenses consacrées à la conquête de nouveaux clients.

Toutefois, ces bénéfices associés au kit SSO doivent être minorés par les pertes liées à la cannibalisation des activités de contenu de la société Théta.net.¹³⁶

Pour générer ces bénéfices, il faut engager un coût d'investissement de l'ordre de 239 UM, qui regroupe le coût d'achat de la licence, les coûts de développement par la R&D et les coûts de déploiement du kit.

Considéré de façon isolée, le kit SSO génère donc pour la société Théta.net une VAN nettement négative, de -129 UM. Pour parvenir à la valeur totale du projet, il faut prendre en compte la possibilité d'extension du kit SSO vers un kit de partage d'attributs avec les fournisseurs de services partenaires. Comme nous l'avons indiqué précédemment, la norme ID-FF sur laquelle est fondé le kit SSO, peut être complétée par la norme ID-WSF, gérant le partage d'attributs.

Le « business model » du partage d'attributs n'est pas encore clairement défini. Néanmoins, on peut d'ores et déjà anticiper deux leviers de création de valeur d'un kit de partage d'attributs.

En premier lieu, l'introduction d'une fonctionnalité de partage d'attributs permettrait un confort d'utilisation de services internet supplémentaire. L'impact économique de cette fonctionnalité se traduirait par une réduction supplémentaire du taux d'attrition.

Par ailleurs, la mise en place d'un système de partage d'attributs pourrait générer des gains importants, provenant de la vente d'attributs par Théta.net à des tiers. En particulier, la vente d'attributs de présence¹³⁷ ou de géo-localisation, par exemple sous forme d'une commission lorsqu'une transaction est réalisée, peuvent représenter une valeur très importante.

Lorsque l'on prend en compte le potentiel d'extension vers un kit de partage d'attributs, la valeur totale du projet ne devient que légèrement négative (-12 UM).

Etant donné à la fois l'incertitude sur le modèle économique de la gestion d'identité, et sur le(s) futur(s) standard(s) technologique(s), cette valeur de -12 UM ne représente qu'une moyenne entre des scénarios optimistes et pessimistes. La réalisation d'une analyse de risque permet de mieux cerner les amplitudes possibles de cette valeur, et d'identifier les facteurs de risque les plus importants.

III. Analyse de risque du projet d'investissement

III.1. Analyses de sensibilité de la VAN

L'incertitude porte à la fois sur la valeur économique représentée par les bénéfices directs du kit SSO, et sur la valeur économique générée par une éventuelle extension du kit vers le partage d'attributs.

Plus précisément, on peut distinguer cinq principales sources d'incertitude, dont l'impact sur la VAN est testé dans la Figure 7.3.¹³⁸

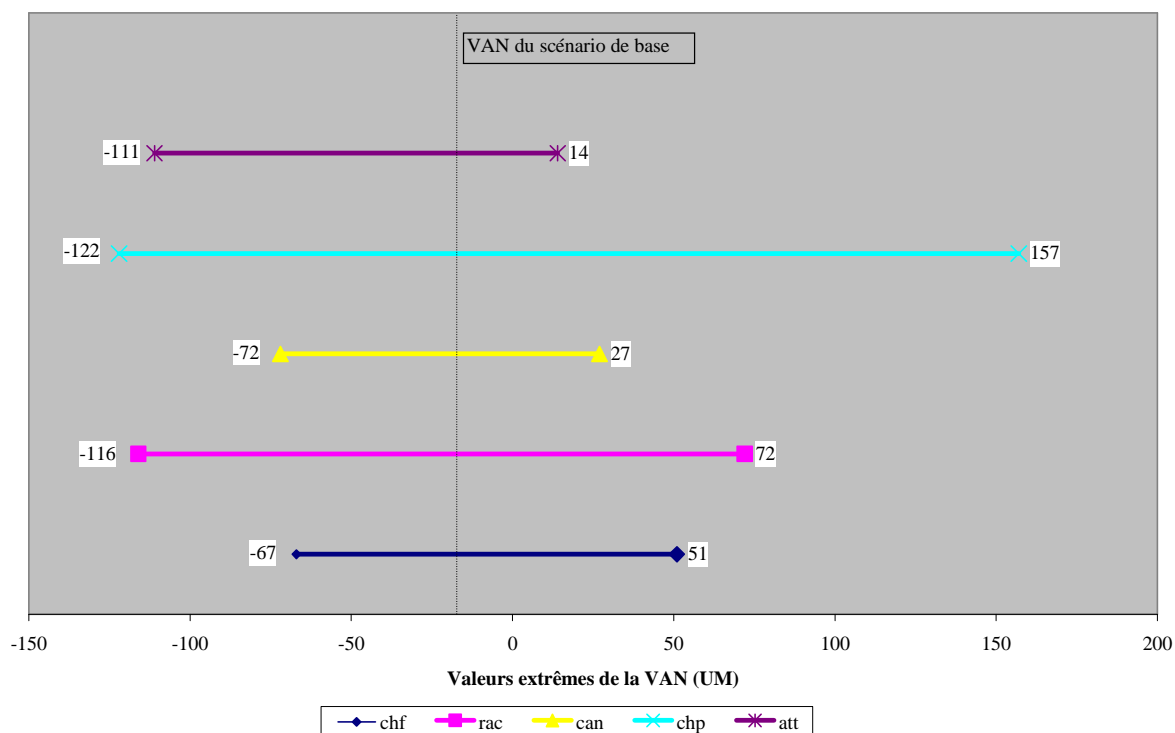
¹³⁶ Cf. Section 1, § 1.2. *Description de la décision d'investissement*

¹³⁷ L'attribut de "présence" décrit l'interaction de l'utilisateur avec un système informatique: quel ordinateur la personne utilise, quel est le statut d'utilisation (active ou en veille), et éventuellement quel est le type d'utilisation en cours (lecture d'un document, rédaction d'un courriel, etc.)

¹³⁸ Voir en Annexe 7 les valeurs minimales et maximales prises par chacune de ces variables pour les analyses de sensibilité de la VAN

1. Variable « rac » (nombre de nouveaux fournisseurs raccordés dans l'année)
La réduction totale du coût de déploiement de nouveaux services permise par le kit SSO dépendra du nombre de nouveaux fournisseurs de services désirant établir un partenariat avec Théta.net.
2. Variable « chf » (baisse du taux d'attrition permise par la fédération d'identité)
La réduction du taux d'attrition permise par le kit SSO est aussi très incertaine, car on ignore :
 - dans quelle mesure les utilisateurs valoriseront le confort accru de l'utilisation d'internet permis par le kit SSO ;
 - Combien de fournisseurs de service partenaires actuels accepteront d'utiliser le kit ;
 - Quelle est la stratégie de SSO menée par les opérateurs concurrents.
3. Variable « can » (impact de la cannibalisation)
Les pertes liées à la cannibalisation sont incertaines, car on ignore à quelle réduction du chiffre d'affaires des activités de contenu de Théta.net peut conduire un déploiement du kit SSO.
4. La valeur économique du potentiel d'extension du kit vers le partage d'attribut dépend de deux principales sources d'incertitude :
 - L'ampleur de la réduction du taux d'attrition permise par la fonctionnalité de partage d'attribut (variable « chp »)
 - Le volume et le prix de vente des attributs achetés par les fournisseurs de services auprès de Théta.net (variable « att »).
 Ces deux sources d'incertitude dépendent, entre autres, de la norme qui sera dominante lorsque se mettront en place les mécanismes de partage d'attributs. Si c'est la norme WS-* qui devient dominante, alors les fournisseurs de services seront beaucoup moins intéressés par le kit pour ID-WSF. Ceci viendrait significativement réduire à la fois la baisse du taux d'attrition permise par le kit, et les ventes d'attributs à des tiers via le kit.

Figure 7.3. : Analyse de sensibilité de la VAN



La Figure 7.3 montre que la VAN moyenne de -12 UM n'est pas très significative. En effet, lorsque les sources d'incertitude prennent des valeurs extrêmes, la VAN du projet peut varier entre -122 UM et 157 UM. C'est dire l'incertitude qui pèse sur la valeur du kit SSO.

III.2. Simulations de Monte Carlo sur la VAN

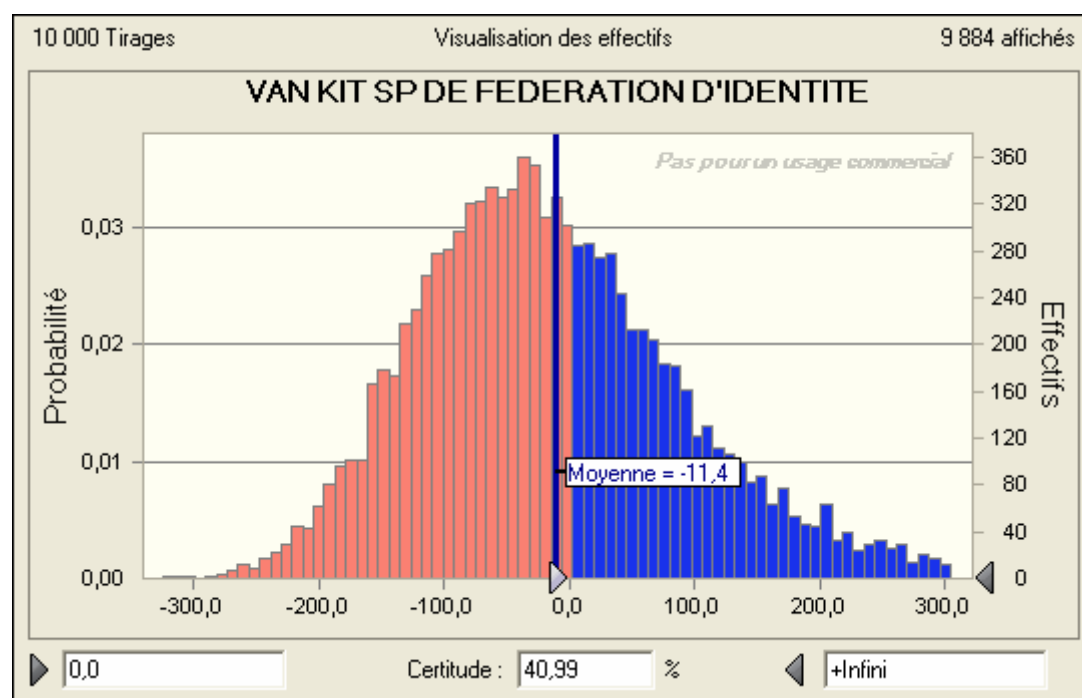
La réalisation de simulations de Monte Carlo sur la VAN (Figure 7.4) permet d'obtenir une analyse de risque plus fine qu'une simple analyse de sensibilité de la VAN aux variables incertaines.

En effet, les simulations de Monte Carlo permettent de faire varier toutes les sources d'incertitude en même temps. Par ailleurs, elles prennent en compte les corrélations entre les sources d'incertitude.

Les hypothèses concernant les lois de distribution des variables incertaines, ainsi que les corrélations entre ces variables, sont précisées en Annexe 7.

Figure 7.4 : Résultats des simulations de Monte Carlo sur la VAN, et du calcul de VaR du projet (UM)

VaR à 95%	-172
VaR à 90%	-142
VaR à 85%	-121



La conduite des simulations de Monte Carlo révèle une dispersion des valeurs possibles du projet encore plus importante que celle suggérée par la simple analyse de sensibilité.

La Value-at-Risk (VaR) s'élève à -172 UM avec un seuil de confiance de 95%, et à -142 MU avec un seuil de confiance de 90%.

Inversement, le projet de kit SSO génère dans certaines simulations une valeur très attractive, pouvant aller au-delà de 250 UM. Bien que la VAN moyenne soit négative, il n'est donc pas du tout assuré que l'abandon du kit SSO soit la bonne décision d'investissement.

IV. Analyse optionnelle de la décision d'investissement

Comme dans les études de cas précédentes, on constate ici qu'un calcul de VAN simple n'est pas pertinent, car il est issu d'une vision statique de la décision d'investissement, dans laquelle seuls le lancement du kit SSO, puis du kit de partage d'attributs sont envisagés.

En réalité, Théta.net a la possibilité de reporter sa décision de lancement d'un kit SSO jusqu'à la fin de l'année 2006. Pendant cette période d'attente, la société aura la possibilité de rassembler des informations lui donnant une vision plus claire de la rentabilité potentielle du kit SSO. Les trois principaux leviers de réduction de l'incertitude sont :

- L'analyse de l'impact du kit SSO mis en place par la filiale sœur Théta.mobile ;
- Les résultats du projet « *Intelligence IM* ». Le Groupe Théta a lancé en 2005 un projet baptisé « *Intelligence IM* », dont l'un des objectifs est de mieux cerner la valeur associée par les utilisateurs à la fonctionnalité de gestion d'identité ;
- La maturité croissante des technologies de gestion de l'identité et du business model associé. Au fur et à mesure que le temps passe, on peut s'attendre d'une part à ce qu'un standard technologique dominant s'impose, et d'autre part à ce que les différents acteurs du secteur établissent progressivement un « business model » de la gestion d'identité.

L'impact de ces leviers sur les cinq principales sources d'incertitude du projet est résumé dans le Tableau 7.2.

Tableau 7.2 : Evolution du niveau d'incertitude

Source d'incertitude	Moyen de réduction de l'incertitude	Niveau d'incertitude en juin 2005	Niveau d'incertitude fin 2006
Réduction du taux d'attrition permise par le kit de fédération d'identité	- Observation de la baisse du taux d'attrition obtenue grâce au Kit SSO chez Théta.mobile - Projet <i>Intelligence IM</i> : meilleure compréhension de l'intérêt économique de la fédération d'identité	Fort	Faible
Baisse des coûts de déploiement	Observation des économies réalisées par Théta.mobile grâce au kit SSO	Moyen à Faible	Faible
Impact de la cannibalisation		Fort	Fort
Réduction du taux d'attrition permise par le kit de partage d'attributs	- Projet <i>Intelligence IM</i> : meilleure compréhension de l'intérêt économique du partage d'attributs	Fort	Moyen
Cash-flows issus de la vente d'attributs à des tiers	- Maturité croissante des technologies de gestion de l'identité	Fort	Moyen

Par ailleurs, des modifications de l'environnement économique pourront affecter la décision de lancement du kit. Si par exemple, d'ici fin 2006, des concurrents ont entrepris de lancer des mécanismes de fédération d'identité, alors l'intérêt économique du kit SSO pourrait devenir nettement plus clair pour Théta.net.

Suivant d'une part l'évolution de la pression concurrentielle, et d'autre part les informations collectées sur la rentabilité économique de la gestion d'identité, alors Théta.net pourra choisir entre deux alternatives à la fin de l'année 2006 :

- Déployer le kit SSO pour ID-FF ;
- Abandonner le déploiement de ce kit. En ce cas, Théta.net pourra ultérieurement déployer un autre kit de fédération d'identité pour les fournisseurs de services. Il pourrait par exemple s'agir de la version pour SAML V2. Ou encore, Théta.net pourrait déployer un kit utilisant la norme WS-* si celle-ci s'impose comme la norme dominante pour la phase ultérieure de partage d'attributs.

Théta.net dispose donc d'une option d'attente, notée « option 1 », dont les caractéristiques sont les suivantes :

- *Exercice de l'option* : lancement du kit SSO ;
- *Actif sous-jacent* : cash-flows générés par le lancement du kit SSO;
- *Prix d'exercice* : coût d'achat et de mise en place du kit SSO ;
- *Temps restant jusqu'à l'échéance* : un an et demi
Au-delà de fin 2006, la technologie sur laquelle s'appuie le kit SSO sera devenue obsolète.
- *Type d'option* : option européenne
La révélation d'information s'effectuera de façon progressive, et en particulier les éléments fournis par l'expérience de Théta.mobile et par les résultats du projet *Intelligence IM* ne seront pas connus avant environ 12 mois.

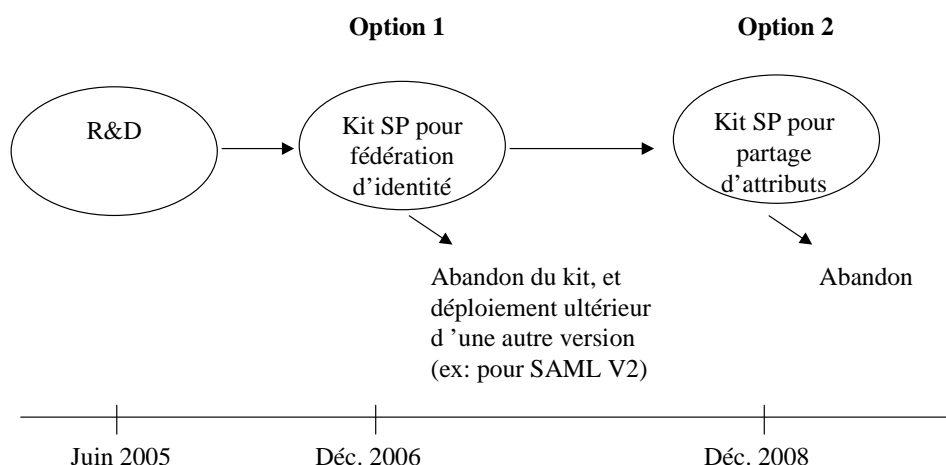
De façon similaire, si le kit SSO est mis en place, Théta.net ne déploiera l'extension vers un kit de partage d'attributs fondé sur la norme ID-WSF que si les conditions économiques sont favorables.

Théta.net dispose donc d'une autre option, notée « option 2 », dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Exercice de l'option : lancement du kit de partage d'attributs ;
- Option européenne, d'échéance décembre 2008 ;
- Actif sous-jacent : cash-flows générés par le lancement du kit de partage d'attributs ;
- Prix d'exercice : coût d'achat et de mise en place du kit de partage d'attributs.

L'option 2 n'est créée qu'à partir du moment où l'option 1 est exercée. Nous nous trouvons donc en présence d'une option composée séquentielle, qui est représentée schématiquement dans la Figure 7.5.

Figure 7.5 : Description de la valeur du kit SSO comme une option composée



La section suivante est consacrée à la valorisation de l'option. Nous verrons alors que cette option présente des caractéristiques particulières, qui nécessitent des adaptations des méthodes classiques de valorisation de l'option composée.

SECTION 2 : VALORISATION DE L'OPTION

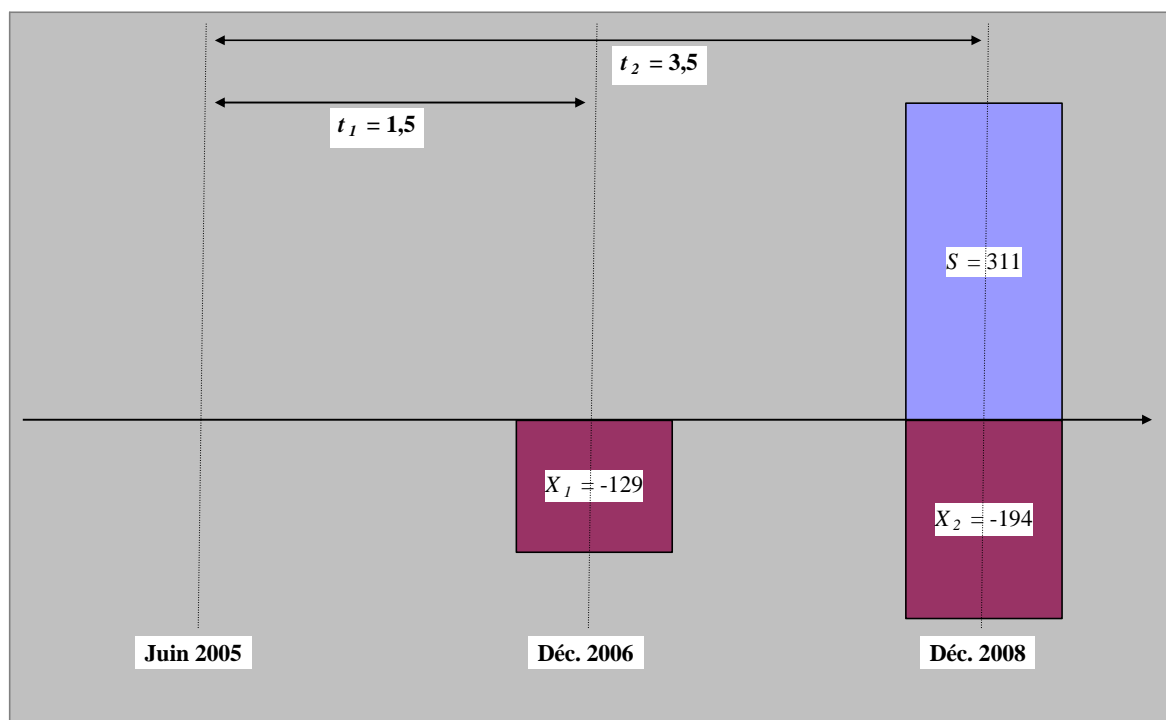
Dans cette section, nous valorisons l'option d'attente détenue par Théta.net par trois méthodes différentes :

- Un modèle déterminant la valeur d'option de façon analytique : le modèle de Geske, qui est le modèle analytique de référence pour la valorisation d'une option composée séquentielle.¹³⁹
- Le modèle des arbres binomiaux ;
- La méthode présentée en Chapitre 4 par les simulations de Monte Carlo.

I. Valorisation de l'option par la formule de Geske

La Figure 7.6 récapitule la valeur des paramètres utilisés pour l'application du modèle de Geske.

**Figure 7.6 : Rappel de la valeur des paramètres pour le modèle de Geske
(en UM, valeurs actualisées en 2005)**



L'option composée étudiée est constituée de deux options imbriquées :

L'exercice de l'option 2, à fin 2008, correspond au déploiement d'un kit de partage d'attributs.

- Le sous-jacent de l'option 2, noté S , correspond aux cash-flows générés par le déploiement du kit de partage d'attributs. Ceux-ci proviennent à la fois de la réduction du taux d'attrition permise par la fonctionnalité de partage d'attributs (141 UM), et de la revente d'attributs à des tiers (270 UM), soit une valeur totale de S de 311 UM.

¹³⁹ Cf. Chapitre 3, section 1, § II.3. Valorisation de l'option composée : le modèle de Geske.

- Le prix d'exercice de l'option 2, noté X_2 , correspond au coût d'investissement nécessaire pour ce déploiement. Il se monte à 194 UM.

L'exercice de l'option 1 correspond au déploiement du kit SSO. C'est une étape indispensable pour pouvoir exercer l'option 2.

- Il s'agit d'une option européenne, dont la date d'échéance est fin 2006.
- L'actif sous-jacent de l'option 1 correspond à la valeur de l'option 2 fin 2006.
- Le prix d'exercice de l'option 1, noté X_1 , peut être interprété comme le coût de déploiement du kit SSO, minoré par les bénéfices immédiats générés par ce kit.

On a ainsi :

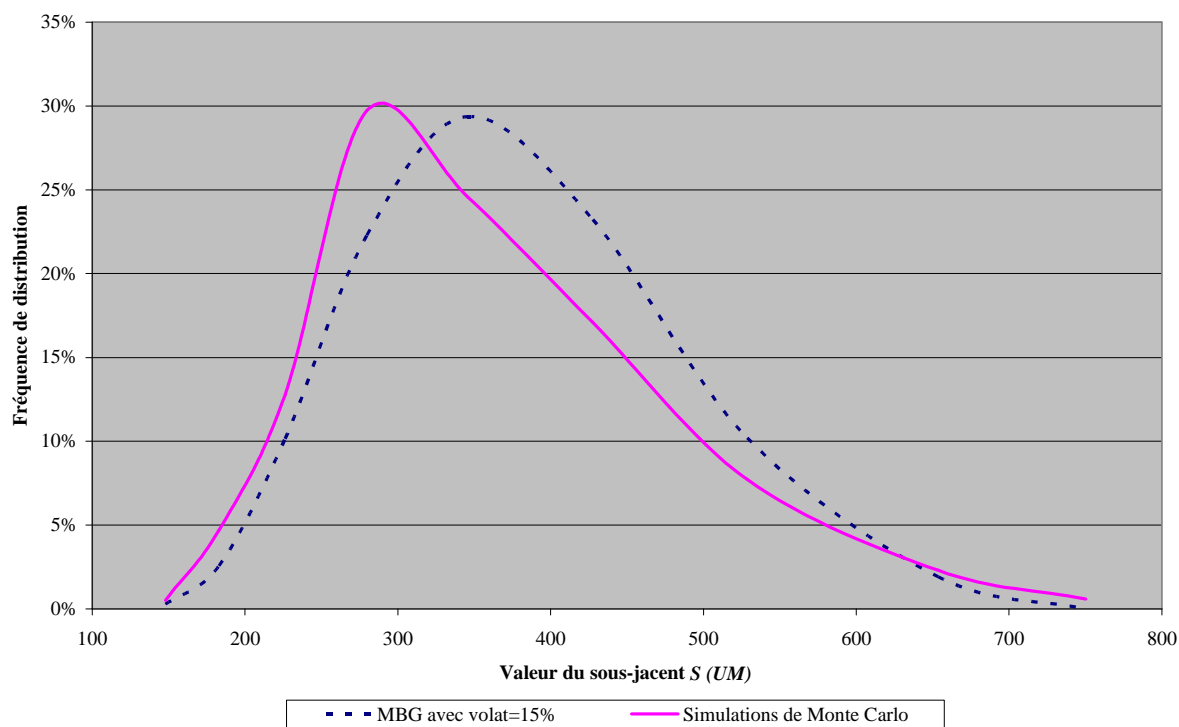
- Coût de déploiement du kit SSO :	239 UM
- <u>Bénéfices générés par le kit SSO:</u>	<u>110 UM</u>
Valeur du prix d'exercice X_1	129 UM

Les autres paramètres nécessaires pour le modèle de Geske sont le taux sans risque, et la volatilité du sous-jacent S .

Le taux sans risque est estimé à 4% par an.

La volatilité du sous-jacent S est estimée en effectuant des simulations de Monte Carlo (Figure 7.7). Les simulations sont effectuées en faisant varier les deux sources d'incertitude affectant le sous-jacent S , qui correspond à la valeur de l'extension du kit SSO vers une fonctionnalité de partage d'attribut. Ces sources d'incertitude correspondent aux variables « *att* » et « *chp* ». La distribution de ces deux variables est la même que celle détaillée lors de l'analyse de risque du projet.¹⁴⁰

Figure 7.7 : Analyse de la volatilité du sous-jacent par les simulations de Monte Carlo



La Figure 7.7 révèle que la distribution du sous-jacent à l'échéance est proche d'une distribution log-normale. Elle correspond à une volatilité annuelle du sous-jacent de l'ordre de 15%.

¹⁴⁰ Cf. Section 1, § III.2. Simulations de Monte Carlo sur la VAN

La valeur de tous les paramètres ayant été déterminée, nous pouvons maintenant procéder au calcul de la valeur d'option (Tableau 7.3).

Tableau 7.3 : Valorisation de l'option composée par la formule de Geske

Paramètre	Notation	Valeur						
Sous-jacent	S	311						
Prix d'exercice de l'option 1	X_1	129						
Prix d'exercice de l'option 2	X_2	194						
Taux d'actualisation	r	4%						
Durée jusqu'à l'échéance de l'option 1	t_1	1.5						
Durée jusqu'à l'échéance de l'option 2	t_2	3.5						
Volatilité	σ	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
Valeur seuil d'exercice de l'option 2	Fc	315	315	315	315	314	313	311
Valeur de l'option		27	34	41	48	56	63	71

Sur la base d'une volatilité annuelle de 15%, le modèle de Geske conduit à une valeur d'option du kit SSO de 34 UM. L'analyse de sensibilité montre l'impact fort de la volatilité sur la valeur d'option, qui peut s'élever à 71 UM pour une volatilité de 40% par an.

II. Valorisation de l'option par la méthode des arbres binomiaux

Les paramètres nécessaires pour la valorisation de l'option composée par les arbres binomiaux sont les mêmes que ceux utilisés pour le modèle de Geske. La Figure 7.8 illustre la valorisation de l'option pour une volatilité annuelle de 15%.¹⁴¹

¹⁴¹ Le pas de temps utilisé est ici de 6 mois. La volatilité pour 6 mois est donc de $15\% / \text{racine}(12/6) = 10,6\%$.

Figure 7.8 : Valorisation de l'option composée par la méthode des arbres binomiaux

Variables				
Cours du sous-jacent aujourd'hui	S	311		
Prix d'exercice de l'option 2	X_2	194		
Prix d'exercice de l'option 1	X_1	129	u	1.1119
Volatilité (pour 6 mois)	σ	10.6%	d	0.8994
Taux sans risque (pour 6 mois)	r	2%	p	0.57

Valeur du sous-jacent

juin-05	déc-05	juin-06	déc-06	juin-07	déc-07	juin-08	déc-08
0	1	2	3	4	5	6	7
311	346	384	428	475	529	588	653
	280	311	346	384	428	475	529
		252	280	311	346	384	428
			226	252	280	311	346
				203	226	252	280
					183	203	226
						165	183
							148

Valeur de la 2ème option

0	1	2	3	4	5	6	7
			248	293	342	398	459
			167	202	241	285	335
			101	128	159	194	234
			50	70	93	121	152
				28	42	61	86
					10	18	32
						0	0
							0

Valeur de la 1ère option

0	1	2	3
36	55	83	119
	12	21	38
		0	0
			0

Par ailleurs, le tableau ci-dessous indique la sensibilité de la valeur d'option au taux de volatilité retenu pour le sous-jacent.

Tableau 7.4 : Impact de la volatilité sur la valeur de l'option calculée avec les arbres binomiaux

Volatilité annuelle (σ)	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
Arbres binomiaux	28	36	43	51	59	67	75
Geske	27	34	41	48	56	63	71

Le Tableau 7.4 révèle que la valeur d'option obtenue par les arbres binomiaux est très proche de celle obtenue par la modèle de Geske. Ce résultat est logique, puisque ces deux modèles sont élaborés à partir d'hypothèses très similaires.

III. Valorisation de l'option par les simulations de Monte Carlo

IV.1. Détermination de la valeur des paramètres

La valorisation du projet par les simulations de Monte Carlo reprend la méthodologie exposée dans le Chapitre 4. Pour rappel, nous avons retenu cinq principales sources d'incertitude (Tableau 7.5).

Tableau 7.5 : Variables incertaines retenues pour valoriser l'option composée

	Source d'incertitude	Notation
Sources d'incertitude affectant la valeur du prix d'exercice X_1	Réduction du taux d'attrition permise par le kit de fédération d'identité	<i>chf</i>
	Nb. de nouveaux fournisseurs partenaires de Théta.net	<i>rac</i>
	Impact de la cannibalisation	<i>can</i>
Sources d'incertitude affectant la valeur du sous-jacent S	Réduction du taux d'attrition permise par le kit de partage d'attributs	<i>chp</i>
	Gains issus de la vente d'attributs à des tiers	<i>att</i>

Les hypothèses concernant le profil de risque des sources d'incertitude, ainsi que les corrélations entre ces sources d'incertitude, ont déjà été exposées lors des calculs de simulation de la VAN (cf. Annexe 7).

Par ailleurs, pour les sources d'incertitude affectant la valeur du sous-jacent S , il faut déterminer le coefficient d'auto-corrélation ρ entre 2006 et 2008.

Intuitivement, ce coefficient d'auto-corrélation peut être assimilé à la qualité de la révélation d'information concernant la variable étudiée, au moment de la décision d'exercice de la première option. Si, on estime qu'à ce moment là, les managers seront en mesure de fournir une bonne estimation de la valeur de la variable incertaine, alors le coefficient de corrélation ρ sera élevé, c'est-à-dire proche de 1. Inversement, la valeur du coefficient de corrélation ρ sera d'autant plus faible que les managers auront une idée imprécise de la valeur de la variable incertaine à la date d'exercice de l'option 1.

Dans cette étude de cas, ces sources d'incertitude correspondent aux variables « *chp* » (réduction du taux d'attrition permise par le kit de partage d'attributs) et « *att* » (gains issus de la vente d'attributs à des tiers).

Nous avons indiqué plus haut qu'en décembre 2006, date d'exercice de l'option 1, le niveau d'incertitude concernant ces deux variables serait « moyen », alors qu'il est « fort » aujourd'hui (Tableau 7.2). Pour chacune de ces variables, une valeur de ρ de 0,7 paraît donc raisonnable.

IV.2. Résultats

La méthode par les simulations de Monte Carlo conduit à une valeur d'option comprise entre 31 et 44 UM (Tableau 7.6).

Tableau 7.6 : Valorisation de l'option composée par la méthode des simulations de Monte Carlo (UM)

	Niveau d'incertitude au moment de l'exercice de l'option 1		
	Assez fort $\rho = 0.5$	Moyen $\rho = 0.7$	Faible $\rho = 0.9$
Estimateur haut Θ	36	41	47
Estimateur bas ϑ	26	32	40
Moyenne	31	37	44

A titre indicatif, nous avons par ailleurs effectué dans le Tableau 7.6 des analyses de sensibilité de la valeur de l'option composée à l'amplitude de la révélation d'information concernant la valeur du sous-jacent S .

Nous avons ici fait l'hypothèse que le degré d'incertitude concernant les variables « chp » et « att » passerait d'un niveau « fort » en 2005 à un niveau « moyen » fin 2006, à la date d'exercice de l'option 1.

Si l'incertitude sur ces variables passait à un niveau faible fin 2006 ($\rho = 0.9$), alors la valeur d'option serait plus élevée. Intuitivement, cela s'explique de la façon suivante : plus le niveau d'incertitude au moment de l'exercice de l'option 1 est faible, plus celle-ci est exercée de façon appropriée, c'est-à-dire en ayant une bonne visibilité sur la valeur de l'option 2. En conséquence, plus le taux d'auto-corrélation ρ est élevé, plus la valeur de l'option composée est élevée.

IV. Comparaison des méthodes de valorisation d'option utilisées

Tableau 7.7 : Comparaison des valeurs d'option obtenues pour le kit SSO en fonction de la méthode utilisée

Méthode utilisée	Valeur d'option (UM)
Modèle de Geske (pour $\sigma = 15\%$)	34
Modèle des arbres binomiaux (pour $\sigma = 15\%$)	36
Modèle par les simulations de Monte Carlo	37

IV.1. Intérêt et limites des modèles « classiques » de valorisation de l'option composée

La valorisation de l'option composée par le modèle des arbres binomiaux présente l'avantage d'une grande simplicité.

Le modèle de Geske est un peu plus complexe à mettre en œuvre. En effet, il fait intervenir la loi normale bivariée, ce qui nécessite l'utilisation d'un logiciel de mathématiques.¹⁴² Par ailleurs, il faut calculer la valeur seuil F_c à partir de laquelle l'option 1 doit être exercée. Ces difficultés d'utilisation peuvent toutefois être résolues par le recours à des logiciels spécialisés, calculant automatiquement la valeur de l'option composée par le modèle de Geske dès lors que l'on spécifie la valeur des paramètres d'entrée.

¹⁴² Cf. Chapitre 3, Section 2 - § II.2. Une trop grande complexité pour être utilisés dans le monde de l'entreprise

Nous avons indiqué dans le Chapitre 3 que le modèle de Geske semble peu utilisé par les entreprises, au profit du modèle de Black et Scholes, plus largement connu et plus simple d'utilisation. La conduite de cette étude de cas montre qu'une telle approche peut avoir des conséquences importantes sur la valorisation de l'option (Tableau 7.8).

Tableau 7.8 : comparaison de la valeur de l'option européenne simple et de l'option composée

	Volatilité annuelle (σ)						
	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
Valeur de l'option composée (Geske)	27	34	41	48	56	63	71
Valeur de l'option simple (Black & Scholes)	40	50	61	71	82	92	102

Le Tableau 7.8 montre que si, dans cette étude de cas, on avait valorisé le kit SSO comme une option simple (par le modèle de Black & Scholes), et non pas comme une option composée (par le modèle de Geske) on aurait significativement surestimé sa valeur. Taudes (1998 :178), qui a procédé à un exercice identique dans le domaine des systèmes d'information, parvient à une conclusion similaire, dans des proportions toutefois moins importantes.

Par rapport aux études de cas réalisées précédemment, ce chapitre illustre les limites des modèles « classiques » propres à la valorisation de l'option composée.

En effet, le modèle de Geske et le modèle des arbres binomiaux ne permettent de valoriser une option composée que selon des caractéristiques bien précises, sans adaptation possible au contexte de la décision d'investissement.

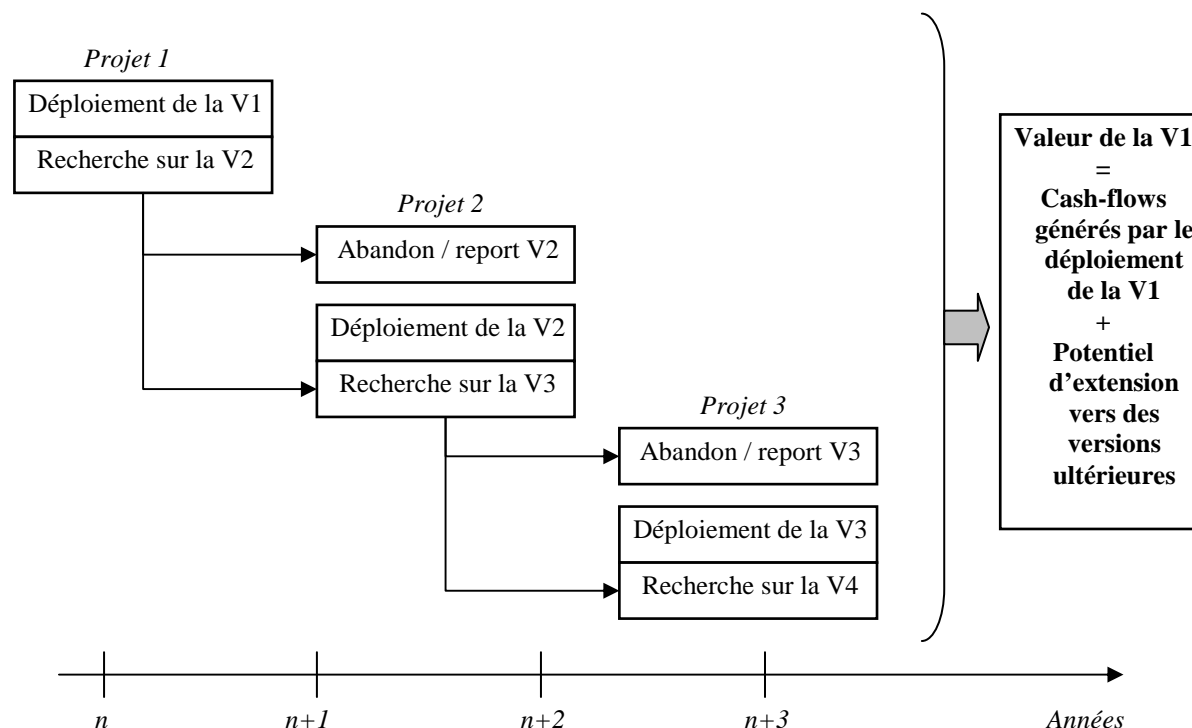
En l'espèce, les deux caractéristiques qui ne sont pas prises en compte dans ces modèles sont :

- Le fait que le prix d'exercice de l'option 1, X_1 , est incertain ; en effet, nous avons vu que ce prix d'exercice est calculé en retranchant les bénéfices directs du kit SSO, qui ne sont pas connus.
- Le fait que le prix d'exercice de l'option 1, X_1 , est corrélé à la valeur du sous-jacent de l'option 2 ; en effet, nous avons vu que les cash-flows générés par le kit de partage d'attributs sont corrélés aux cash-flows générés par le kit SSO.

Ce problème ne se pose généralement pas pour la valorisation des options composées que l'on rencontre dans la littérature. Il s'agit le plus souvent d'options générées par un programme de R&D dans la pharmacie (ex: Cassimon *et al.*, 2004), par un projet d'exploration pétrolière ou encore par la réalisation de grands programmes d'infrastructures. L'option composée est la résultante d'une succession de phases, dont seule la dernière conduit à la réalisation de cash-flows.

Dans la R&D appliquée au secteur des télécommunications, nous nous trouvons dans une configuration différente, car l'innovation est réalisée de façon progressive. Le plus souvent, les projets de R&D donnent lieu d'une part à la mise en place de déploiements à court terme, et d'autre part à des travaux de d'anticipation pour le déploiement de versions ultérieures (Figure 7.9).

Figure 7.9 : Représentation simplifiée de l'enchaînement des projets sur une thématique de recherche



Un projet de recherche peut ainsi être assimilé à une option composée, dont chacune des phases correspond au déploiement des versions successives. Cette option présente la particularité de générer des cash-flows au cours des étapes intermédiaires, et non pas uniquement lors de la dernière phase. Dans cette étude de cas par exemple, des cash-flows seront générés par le déploiement du kit SSO (option 1), et par le déploiement ultérieur d'un kit de partage d'attributs (option 2).

IV.2. Intérêt et limites de la méthode de valorisation de l'option composée par les simulations de Monte Carlo

Tout comme dans les études de cas précédentes, l'intérêt des simulations de Monte Carlo réside ici dans le fait qu'elles permettent de modéliser les différentes sources d'incertitude (par exemple ici la réduction du taux d'attrition, le nombre de nouveaux sites partenaires de Théta.net, etc.), plutôt que d'imposer l'estimation d'une volatilité globale de la valeur du projet.

Plus spécifiquement dans le cadre de l'option composée, la méthode par les simulations de Monte Carlo permet de prendre en compte l'incertitude affectant les flux intermédiaires. Techniquement, cela se traduit ici par la prise en compte :

- de l'incertitude dans le prix d'exercice X_1 ;¹⁴³
- des corrélations entre les sources d'incertitude affectant X_1 et les sources d'incertitude affectant le sous-jacent S .

¹⁴³ On aurait également pu introduire de l'incertitude dans le prix d'exercice X_2

La méthode par les simulations de Monte Carlo fait donc preuve d'une grande souplesse d'utilisation, ce qui permet d'adapter le modèle aux caractéristiques de l'investissement étudié.

Cependant, cette méthode se révèle moins facile d'utilisation que dans le cas de l'option européenne simple, et ce pour deux principales raisons.

1. Le coefficient d'auto-corrélation ρ exprimant la réduction d'incertitude sur une variable entre l'année d'exercice de l'option 1 et l'année d'exercice de l'option 2 est difficile à estimer pour le chef de projet.

Pour que cette estimation soit facilitée, il faudrait que l'entreprise effectue un travail d'étalonnage à partir de l'expérience de projets passés pour aboutir à des valeurs type.¹⁴⁴

2. La construction d'un arbre avec de nombreuses branches, sur lequel sont réalisées les simulations, est fastidieuse.

Pour obtenir une bonne estimation de la valeur de l'option, il est nécessaire de simuler des arbres se subdivisant au minimum en 20 branches à chaque date étudiée.

Pour une source d'incertitude, un arbre se subdivisant en n branches à chaque date étudiée nécessite de simuler n valeurs à la date t_1 (ici : fin 2006), et n^2 valeurs à la date t_2 (ici : fin 2008).

Le nombre de valeurs simulées est ensuite multiplié par le nombre de variables incertaines. Si par exemple, l'option 2 dépend de trois principales sources d'incertitude, et que l'on souhaite construire un arbre se subdivisant en 20 branches, alors il faut simuler $3 * (20 + 20^2) = 1\ 260$ valeurs à chaque tirage.

La conduite des simulations de Monte Carlo est rapide,¹⁴⁵ mais c'est la construction et le paramétrage de l'arbre sur lequel sont réalisées les simulations qui est fastidieuse.

Une construction manuelle de l'arbre deviendrait assez rébarbative si l'option composée étudiée comportait plus de deux phases. Chaque phase du projet correspond alors à une option supplémentaire qui vient s'emboîter dans l'option composée. Ceci crée pour chaque option une opportunité d'exercice supplémentaire, et l'arbre se subdivise à nouveau en n branches, ce qui conduit à une augmentation très rapide du nombre de variables simulées à chaque tirage.

Dans un tel cas de figure, il faudrait recourir à la programmation dynamique, comme le font d'ailleurs Broadie et Glasserman (1997), ainsi que de nombreuses autres publications utilisant les simulations de Monte Carlo pour valoriser les options. Reste alors à déterminer si un tel procédé, qui se justifie aisément pour valoriser les options *financières*, resterait suffisamment simple et transparent pour être utilisé par les chefs de projet afin de valoriser des options *réelles*.

¹⁴⁴ Exemples : $\rho = 0,9$ en cas de forte réduction de l'incertitude, $\rho = 0,7$ en cas de réduction assez forte, $\rho = 0$ s'il n'y a pas de réduction d'incertitude du tout, etc.

¹⁴⁵ La réalisation de 1 000 tirages, avec 1 260 valeurs simulées à chaque tirage, prend quelques minutes

SECTION 3 : DISCUSSION : APPORT DES OPTIONS REELLES A LA DECISION D'INVESTISSEMENT DANS LA R&D

Dans le Chapitre 2, nous avons souligné la diversité des apports de l'analyse optionnelle. Cette étude de cas constitue une bonne illustration des différents niveaux d'analyse possibles des options réelles. Plus spécifiquement, nous montrons dans cette section que les options réelles peuvent contribuer à améliorer le processus de décision d'investissement à la fois à l'échelle du projet considéré individuellement, et à l'échelle d'un portefeuille de projets.

I. Décision d'investissement à l'échelle du projet

A l'échelle du projet, les principaux apports de l'analyse optionnelle pour cette étude de cas sont :

- Une meilleure analyse de la décision d'abandon ;
- En cas de report de la décision, la constitution d'un cadre d'analyse qui permettra par la suite de prendre la décision appropriée.

1.1. Une analyse plus adéquate de la décision d'abandon

Le calcul de la VAN a abouti à une valorisation négative du kit SSO, qui militerait donc pour son abandon. Pourtant, nous avons constaté lors de notre contrat de recherche que la filiale Théta.net était réticente à abandonner purement et simplement le kit SSO.

Cette déconnexion entre d'une part les résultats de la VAN et d'autre part la stratégie effectivement menée par Théta.net peut s'expliquer par les insuffisances de la VAN dans ce type de contexte.

Le calcul de VAN revêt un caractère trop statique. En effet, la VAN ne prend pas en compte le fait qu'il est possible de repousser la décision d'investissement. Par ailleurs, elle suppose que dans tous les cas de figure, la phase 2 du projet sera réalisée. La valeur moyenne de -12 UM inclut donc des scénarii qui ne sont pas réalistes (Figure 7.10).

Figure 7.10 : Intérêt de la démarche optionnelle par rapport à d'autres outils d'aide à la décision

	VAN	Simulations de Monte Carlo sur la VAN	Options réelles
Indicateur	<ul style="list-style-type: none"> • VAN = - 12 UM • Analyses de sensibilité contrastée (min: -122 UM; max: 157 UM) 	<ul style="list-style-type: none"> • VaR (à 95%): -172 UM • Dans certaines simulations, projet très rentable (VAN > 250 UM) 	<ul style="list-style-type: none"> • Valeur d'option = 26 - 47 UM (suivant la valeur des paramètres de calcul)
Décision	Abandon du kit SP, puisque VAN < 0	Difficile de trancher, entre un risque de pertes, et un potentiel de gains tous deux importants	Report de la décision d'investissement
Pertinence	<ul style="list-style-type: none"> • Analyses de sensibilité peu adéquates, car un seul paramètre testé à la fois • Le calcul inclut des scénarii peu réalistes 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse du risque plus élaborée: simulation de plusieurs sources d'incertitude en même temps, et prise en compte des corrélations entre les sources d'incertitude • Le calcul inclut des scénarii peu réalistes 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse du risque élaborée • Prise en compte de la flexibilité dans la décision d'investissement

L'analyse optionnelle permet de comprendre pourquoi, même si la VAN est négative, il n'est pas nécessairement approprié d'abandonner le projet d'investissement.

Face au choix entre lancement et abandon étudié par la VAN, les options réelles introduisent une alternative supplémentaire : le report de la décision d'investissement.

Dans cette étude de cas, ce report a de la valeur. En effet, la filiale Théta.net a la possibilité de collecter de l'information, qui lui permettra de ne lancer le kit SSO, puis son éventuellement l'extension de partage d'attributs, que si les conditions économiques sont favorables.

L'obtention d'une valeur d'option d'attente strictement positive montre ainsi que le report de la décision d'investissement est plus approprié que l'abandon immédiat du kit SSO.

1.2. Une meilleure préparation de la décision future

Dans les cas où la décision de lancement du projet est reportée, les options réelles peuvent également être utiles pour préparer les futures décisions.

En premier lieu, comme nous l'avons déjà vu dans le chapitre 5,¹⁴⁶ les options réelles constituent un cadre d'analyse, qui aidera le chef de projet à identifier les actions nécessaires pour que la décision future soit optimisée.

Pour rappel, deux types d'actions doivent être entreprises :

- Des actions visant à collecter des informations sur la rentabilité du projet.
Pour cibler les actions prioritaires, on pourra notamment utiliser une fonctionnalité du logiciel de simulations de Monte Carlo, qui permet de déterminer les sources d'incertitude ayant le plus d'impact sur la valeur d'option.
- Des actions visant à préserver l'existence de plusieurs alternatives à l'échéance de l'option.

¹⁴⁶ Cf. Chapitre 5, section 3, § IV. *Des lignes directrices pour améliorer le processus de décision si l'investissement est repoussé*

Dans cette étude de cas, la possibilité de disposer de plusieurs scénarii possibles nécessitait notamment de poursuivre la recherche dans des technologies alternatives, et de conserver une liberté de choix vis-à-vis des autres filiales du groupe Théta.

La valorisation de l'option d'attente permet aussi de déterminer quel montant maximal peut être consacré à ces actions. Dans cette étude de cas, la valorisation de l'option permet notamment de déterminer les montants qui peuvent être affectés au projet « *Intelligence IM* », dont l'objectif est de mieux cerner la valeur économique de la gestion d'identité.

Deuxièmement, la conduite d'une analyse optionnelle permet de gagner en réactivité pour les décisions d'investissement futures.

Lorsque l'option est valorisée par les simulations de Monte Carlo, on peut estimer les probabilités de réalisation des différents scénarii à l'issue de la période d'attente (abandon du kit, lancement du kit SSO seul, lancement du kit SSO, puis du kit de partage d'attributs).

Cette plus grande visibilité permet au chef de projet d'anticiper plus facilement les ressources qui seront nécessaires à l'avenir. L'un des apports des options réelles est donc de permettre une plus grande réactivité de l'organisation.

Par ailleurs, les options réelles permettent d'élaborer des indicateurs, qui accéléreront la prise de décision une fois la période de report terminée.

Ces indicateurs peuvent être utilisés pour prendre des décisions rapides concernant le déploiement du kit SSO, sans avoir à remettre à jour l'ensemble du business plan.

De plus, ils permettent à la filiale Théta.net de communiquer de façon plus transparente avec les autres entités du Groupe sur ses intentions de déploiement du kit SSO.

Les indicateurs retenus doivent correspondre aux sources d'incertitude qui d'une part exercent un impact fort sur la valeur du projet, et d'autre part sur lesquelles il est possible de collecter de l'information.

La Figure 7.11 donne un exemple d'indicateurs facilitant la décision de déploiement du kit SSO.

Figure 7.11 : Exemple d'indicateurs permettant de faciliter la prise de décision

		Réduction du CA des activités de contenu de Théta.net					
		> 5%	4% - 5%	3% - 4%	2% - 3%	1% - 2%	< 1%
Baisse du churn	< 0.05%	0%	13%	9%	8%	13%	21%
	0.05% - 0.1%	29%	25%	30%	39%	41%	57%
	0.1% - 0.15%	20%	63%	58%	66%	75%	90%
	0.15% - 0.2%	73%	89%	93%	69%	91%	100%
	> 0.2%	100%	100%	100%	100%	100%	83%

% de probabilité de lancement du kit SSO

0 - 30%	
31-70%	
71-100%	

Les indicateurs retenus correspondent aux variables « *chf* » (baisse du taux d'attrition permise par la fédération d'identité) et « *can* » (risque de cannibalisation des activités de contenu de Théta.net).

Si par exemple l'expérience de la filiale Théta.mobile montre que la mise en place d'un kit SSO conduit à une réduction du taux d'attrition supérieure à 0.15%, alors Théta.net pourra procéder au lancement du kit SSO.

II. Décision d'investissement à l'échelle d'un portefeuille de projets

La question de la gestion d'identité étudiée dans cette étude de cas constitue l'exemple typique d'une problématique dont le niveau d'analyse se situe à l'échelle d'un portefeuille de projets.

Pour le Groupe Théta Telecom, la mise en place d'un système de gestion d'identité commun à l'ensemble du groupe revêt une importance stratégique, et ce pour deux principales raisons.

En premier lieu, nous avons indiqué plus haut qu'un système de gestion d'identité commun à l'ensemble du groupe est important dans la cadre de la stratégie « d'opérateur complet » poursuivie par le groupe Théta Telecom.

Par ailleurs, l'attractivité des portails internet du Groupe Théta passe par la création d'une large et dynamique communauté de fournisseurs de services partenaires de Théta. Or, pour ces fournisseurs, le fait de pouvoir utiliser les mêmes identifiants et profils utilisateurs sur différents réseaux, constitue un élément de différenciation important.¹⁴⁷ En conséquence, la mise en place d'un système de gestion d'identité commun à ses filiales mobiles et internet constituerait pour Théta un argument important pour attirer des fournisseurs de services partenaires.

Toutefois, Bower (1970 :17) indique que dans les grandes entreprises, la décision d'investissement ne peut pas être analysée comme le produit d'une entité économique unique, avec un ensemble d'intérêts uniques. Il faut prendre en compte le fait que chaque unité d'affaires au sein de la grande entreprise poursuit des intérêts qui ne sont pas nécessairement en ligne avec ceux de l'organisation prise dans son ensemble.

La présente étude de cas est une bonne illustration de ce phénomène. Nous avons vu que le déploiement d'un kit SSO commun aux différentes filiales a du sens à l'échelle du Groupe. Cependant, ce choix n'est pas nécessairement avantageux pour la filiale Théta.net, qui pourrait préférer l'achat d'une version ultérieure.

Le département R&D du Groupe Théta télécom se trouve ainsi face à deux alternatives :

- lancer un appel d'offre et déployer un kit SSO pour la filiale Théta.mobile seulement,
- ou
- lancer un appel d'offre et acheter un kit SSO pour l'ensemble du Groupe.

L'achat d'un kit SSO Groupe a plus de valeur économique que l'achat de plusieurs kits SSO séparés. Néanmoins, il s'agit d'une stratégie risquée, car le kit Groupe n'a de sens que s'il est utilisé par plusieurs unités d'affaires, et non pas seulement par la filiale Théta.mobile.

Or, la décision du département R&D est rendue très difficile par le flou qu'entretient la filiale Théta.net à l'égard de sa stratégie de gestion d'identité. En effet, Théta.net indique son souhait de déployer un kit SSO, mais d'un autre côté ne donne pas de signal clair d'engagement d'achat du kit SSO Groupe. Nous avons vu précédemment que cette ambiguïté est due à la forte incertitude portant sur la valeur économique du kit SSO pour Théta.net.

Dans ce contexte, l'intérêt de la démarche optionnelle est de créer une grille d'analyse qui permettrait à Théta.net de communiquer de façon plus transparente avec le reste du groupe sur sa stratégie de déploiement d'un système de gestion d'identité.

Grâce aux options réelles, le département R&D du Groupe Théta Telecom pourrait mieux apprécier les probabilités pour la filiale Théta.net d'adopter le kit SSO Groupe, et les conditions économiques nécessaires pour cela. L'analyse de ces données permettrait alors au département R&D d'évaluer si l'achat d'un kit SSO pour l'ensemble du Groupe se justifie.

¹⁴⁷ Cf. Bjorn Wigforss, "Identity federation provides greater mobility for Internet users", <http://wireless.iop.org/articles/news/5/9/3>

Conclusion du chapitre

Ce chapitre illustre l'utilisation des options réelles comme support d'aide à la décision d'investissement dans le domaine de la R&D. Comme le plus souvent dans ce domaine d'activité, l'option générée par le projet d'investissement est une option composée.

La première contribution de ce chapitre est l'analyse détaillée de ce en quoi consiste, sur un cas d'investissement réel, une option réelle dans le domaine de l'innovation. En effet, la littérature donne généralement une description théorique très simplifiée des options dans ce secteur. Un exemple typique est le lancement d'un nouveau produit pharmaceutique. Le projet est assimilé à une option composée, soumise à une incertitude technique sur l'efficacité du médicament, et qui ne générera des cash-flows que si la phase finale du projet est atteinte.

Cette étude de cas montre que la physionomie d'une option réelle dans le domaine de l'innovation peut être fort éloignée de cette description. Premièrement, **elle illustre le fait que même si l'incertitude technique est forte, les options réelles dans le domaine de l'innovation peuvent être en grande partie générées par une incertitude économique.** Dans le cas de la gestion d'identité que nous avons étudié ici, la principale incertitude qui était à l'origine de l'option portait d'une part sur la valeur de la fonction d'identité, et d'autre part sur le partage de cette rente entre les différents acteurs de l'industrie.

Deuxièmement, **cette étude de cas montre que l'innovation peut être incrémentale. Ceci se traduit sur le plan optionnel par l'existence de cash-flows intermédiaires au cours de la vie de l'option composée, ainsi que par l'existence d'une corrélation entre le sous-jacent de l'option 2 et le prix d'exercice de l'option 1.**

La deuxième contribution de ce chapitre porte sur l'intérêt des options réelles comme outil de valorisation de projet.

Cette étude illustre l'intérêt de valoriser un projet par l'approche optionnelle dans le cas de la décision d'abandon. **Elle montre pourquoi, même si la VAN du projet est négative, l'abandon du projet n'est pas nécessairement souhaitable.**

Ce chapitre a également permis de comparer les différentes méthodes de valorisation des options réelles dans le cas spécifique de l'option composée. Comme dans les autres études de cas, nous avons comparé la méthode par les simulations de Monte Carlo avec les modèles « traditionnels » que sont les arbres binomiaux et les modèles en temps continu. Dans le cas de l'option composée, le modèle de référence en temps continu est celui de Geske.

L'étude de cas confirme l'intérêt de la méthode par les simulations de Monte Carlo par rapport aux méthodes classiques de valorisation d'option. En particulier, l'estimation du paramètre « volatilité » est facilitée. Les résultats des simulations peuvent également être analysés, et donner lieu à l'élaboration d'indicateurs facilitant les décisions ultérieures.

Plus spécifiquement dans le cadre de l'option composée, cette étude de cas confirme la souplesse de la méthode par les simulations de Monte Carlo : celle-ci a notamment permis de prendre en compte l'existence de cash-flows intermédiaires incertains, ce qui n'était pas possible avec les modèles de valorisation traditionnels. Ainsi, la méthode par les simulations de Monte Carlo permet de prendre en compte les particularités de l'investissement étudié, et donc de parvenir à une valorisation d'option plus juste.

Toutefois, nous avons pu constater que la valorisation de l'option par les simulations de Monte Carlo était beaucoup plus fastidieuse dans le cas de l'option composée que dans le cas de l'option simple. En effet, dans la mesure où il existe plusieurs points de décision, il est nécessaire de modéliser la distribution du sous-jacent à chacun de ces points de décision. Le modèle est donc plus lourd, et nécessiterait idéalement le recours à la programmation dynamique pour être plus rapide à mettre en place. Le risque est alors de restreindre l'accessibilité de l'outil aux managers.

La troisième contribution de ce chapitre concerne le rôle plus large des options réelles dans le processus de décision d'investissement.

Il confirme qu'au-delà de l'aide à la décision entre l'attente et l'abandon à un instant t , l'approche optionnelle permet de guider l'organisation dans ses décisions futures, lorsque c'est l'alternative du report qui est choisie.

L'analyse optionnelle permet d'identifier les actions prioritaires à entreprendre pour réduire l'incertitude ; la valorisation de l'option permet de chiffrer le budget maximal à allouer à ces actions de collecte d'information.

Comme dans le chapitre 5, nous montrons aussi que **lorsque l'option est valorisée par les simulations de Monte Carlo, les résultats des simulations peuvent être exploités pour élaborer des indicateurs**. Ces indicateurs sont particulièrement utiles dans le domaine de la R&D. En effet, c'est un domaine dans lequel l'accent est d'avantage mis sur l'innovation technique que sur l'élaboration et la révision de business plans. Les managers ont donc besoin d'outils de gestion simples. L'élaboration de règles de décisions fondées sur ces indicateurs permettrait ainsi de prendre la décision de lancer ou non le projet, sans avoir à réactualiser toute l'analyse économique de la valeur du projet.

Enfin, cette étude de cas illustre l'intérêt des options réelles à l'échelle d'un portefeuille de projets. La décision d'investissement de la filiale Théta.net étudiée dans ce chapitre avait des répercussions sur les décisions d'investissement des autres entités du Groupe Théta Télécom. Dans ce contexte de forte incertitude, **les options réelles peuvent être utilisées comme un outil de communication entre différentes entités d'une grande entreprise**. Elles permettaient en effet d'articuler plus clairement la stratégie possible de Théta.net en matière de gestion de l'identité, et ainsi d'optimiser la décision d'investissement à l'échelle du Groupe.

Ce chapitre présente plusieurs limites.

Tout d'abord, la décision d'investissement a été présentée d'une façon simplifiée, dans laquelle l'option 2 ne peut être exercée que si l'option 1 a précédemment été exercée. Dans la pratique, le lien de dépendance entre les deux phases est moins clair. On pourrait par exemple considérer que le déploiement du kit SSO pour ID-FF n'est pas indispensable pour lancer un kit SSO de partage d'attributs, mais qu'il contribue significativement à la rentabilité de ce dernier.

Dans le même esprit, Bardhan *et al.* (2004) distinguent entre des liens de dépendance forts ou faibles entre différents modules d'un projet dans le système d'information. Ainsi, **il serait intéressant de plus explicitement modéliser le lien entre les deux phases de l'option composée**.

Deuxièmement, la recherche sur la valorisation de l'option composée par les simulations de Monte Carlo doit être approfondie. Il serait intéressant d'analyser plus finement les différences de valorisation entre d'une part la méthode par les simulations de Monte Carlo, et d'autre part les méthodes « classiques » de valorisation des options réelles. Par ailleurs, il faudrait tester l'intérêt d'utiliser la programmation dynamique pour rendre plus aisée la valorisation de l'option composée par les simulations de Monte Carlo.

Enfin, **ce chapitre a ouvert une voie intéressante sur l'intérêt des options réelles pour le pilotage d'un portefeuille de projets interdépendants**. Plus précisément, il s'agit d'utiliser les options réelles pour arbitrer entre le lancement d'un projet pour l'ensemble d'un groupe ou pour une filiale seulement.

Cette problématique se rencontre fréquemment dans le domaine des systèmes d'information. Par exemple, plutôt que de développer un logiciel de facturation spécifique à une filiale, on pourrait envisager d'investir dans un logiciel certes plus onéreux, mais qui serait utilisable par d'autres filiales. C'est une décision difficile à prendre, car les besoins des autres filiales sont difficiles à anticiper.

Dans le même esprit que Taudès (1998), on pourrait assimiler l'achat de la plateforme « groupe » initiale à une option, dont l'exercice correspond à l'utilisation par les différentes filiales du logiciel. Le recours aux options réelles permettrait de déterminer sur le surcoût initial généré par un achat pour l'ensemble du Groupe est justifié par la valeur d'option qu'il génère.

CONCLUSION DE LA PARTIE III

Nous avons abordé cette troisième partie de la thèse en ayant l'objectif, à travers des études de cas réelles, d'investiguer deux grandes problématiques :

- L'identification et la valorisation des options réelles ;
- Le rôle de l'analyse optionnelle dans le processus de décision d'investissement stratégique.

La première contribution de cette partie de la thèse est d'avoir appliqué la théorie à des études de cas réelles, et d'avoir ainsi constitué une méthodologie plus opérationnelle de l'identification et de la valorisation des options réelles.

En premier lieu, les études de cas ont révélé l'importance de réaliser une étude minutieuse de la décision d'investissement, afin (1) de valider que celle-ci suit une logique optionnelle ; (2) d'établir les caractéristiques précises de l'option étudiée.

Une telle analyse a révélé que **les options rencontrées dans des décisions d'investissement réelles pouvaient différer de façon substantielle des descriptions d'option souvent très simplifiées que l'on trouve dans la littérature.**

Voici les principaux exemples de différences que nous avons pu relever entre la théorie et la pratique.

- L'option de report ne consiste pas à attendre sans rien faire que l'incertitude se réduise, mais plutôt à se positionner dans une attente « active » en mettant en place une solution alternative : déploiement de la technologie EDGE dans le Chapitre 5, recours à la norme SAML V2 dans le Chapitre 7.
- A l'échéance de l'option, il ne s'agit pas nécessairement de choisir entre l'exercice et l'abandon de l'option. Il peut y avoir plusieurs modalités d'exercice de l'option. Par exemple dans le Chapitre 5, Mobitel peut à l'échéance exercer l'option soit en déployant la technologie UMTS, soit en déployant la technologie EDGE.
- La littérature indique qu'une option est de type « américain » dès lors que la décision d'investissement peut être prise à tout moment. Le Chapitre 5 (« cas UMTS ») a montré qu'en réalité les possibilités d'exercice anticipé (qui caractérisent l'option américaine) n'ont pas de sens si la révélation d'information n'intervient qu'à la fin de la vie de l'option.
- Dans la littérature, l'option composée est représentée comme une séquence de décisions dont seule la dernière conduit à la génération de cash-flows. Une telle description contraste avec celle de l'option rencontrée dans le Chapitre 7 (« cas R&D »), qui donnait lieu à des cash-flows intermédiaires en raison de la nature incrémentale de l'innovation.

Les implications de ces spécificités sont doubles : d'une part, elles rendent l'identification des options réelles difficiles, car il n'existe pas de « description type ». D'autre part, elles nécessitent l'élaboration de modèles de valorisation sur-mesure.

Deuxièmement, **les études de cas ont permis de clarifier les différences entre les diverses méthodes de valorisation des options réelles.**

Plusieurs chercheurs ont fait état de la confusion qui règne actuellement en raison de la multiplicité des modèles de valorisation d'options réelles (ex: Triantis, 2005; Hartmann & Hassan, 2006). En conséquence, les managers utilisent généralement des méthodes *ad hoc*, et une approche plus scientifique de la valorisation des options réelles est souhaitable (Shockley Jr. *et al.*, 2003 : 44).

Dans ce contexte, nous avons entrepris dans ces trois études de cas de comparer différentes méthodes de valorisation d'option.

Les résultats montrent que les modèles de valorisation « classiques » – modèles en temps continu et arbre binomiaux – reposent sur des hypothèses qui ne sont pas toujours appropriées. Plus précisément, le Chapitre 5 (cas « UMTS ») révèle que l'hypothèse d'un MBG suivi par le sous-jacent

n'est pas adéquate lorsque l'on est en présence d'une option complexe. Dans l'étude de cas « UMTS », la complexité provenait en particulier de l'incertitude sur la stratégie suivie par la concurrence, ainsi que de l'incertitude sur les cash-flows dégagés si le projet d'investissement était abandonné. En revanche, dans les deux autres études de cas, l'option étudiée était plus simple, et l'hypothèse du MBG s'est révélée acceptable.

Selon les études de cas, nous avons ainsi pu observer des différences plus ou moins grandes dans la valorisation d'option obtenue, d'un côté par les modèles « classiques » et d'un autre côté par l'approche alternative proposée dans le Chapitre 4 et fondée sur les simulations de Monte Carlo.

Au final, ces différences de valorisation sont-elles importantes pour la décision d'investissement stratégique ?

Après tout, plusieurs chercheurs (ex : Bowman & Moskowitz, 2001) soulignent le fait que, contrairement aux options financières où la plus grande précision dans la valorisation est exigée, il ne s'agit dans le cas des options réelles que d'obtenir un ordre de grandeur de la valeur d'option. De fait, dans les trois études de cas réalisées, l'analyse optionnelle a conduit à des recommandations d'investissement identiques, quelle que soit la méthode de valorisation utilisée.

Mais en réalité, il serait réducteur de comparer les différentes méthodes de valorisation uniquement sur la base des résultats numériques obtenus. Il faut bien reconnaître que, face à la complexité d'une décision d'investissement stratégique, il est illusoire d'espérer calculer une valeur de projet exacte.

En revanche, **ce qui est déterminant pour qu'un modèle constitue un bon outil d'aide à la décision d'investissement, c'est la façon dont les managers se l'approprient, et l'utilisent pour identifier les principaux enjeux du projet.**

Sur ce plan là, on peut considérer que l'approche alternative fondée sur les simulations de Monte Carlo (SMC) présente des avantages par rapport aux modèles en temps continu ou au modèle des arbres binomiaux.

- Au lieu de modéliser la volatilité comme un paramètre global sans signification économique pour les managers, l'approche par les SMC repose sur hypothèses décrivant la variabilité des différentes sources d'incertitude (prix de vente, nombre de clients, etc.) ;
- L'approche par les SMC permet d'intégrer les particularités de la décision d'investissement (ex : la possibilité de EDGE dans le Chapitre 5 ; le versement de cash-flows intermédiaires dans le Chapitre 7). Cela lui permet d'être perçue par le management comme un outil d'aide à la décision crédible, et non pas comme une modélisation très simplifiée du problème ;
- La valorisation de l'option par les SMC est effectuée sur Excel, en exploitant toutes les données du business plan. Les options réelles ne sont donc pas perçues comme un outil antinomique à la VAN, mais comme un moyen de raffiner le calcul de VAN.
- L'approche par les SMC permet d'élaborer des indicateurs permettant de mieux préparer les décisions futures. Il peut s'agir d'indicateurs sur la probabilité d'exercice anticipé de l'option (Chapitre 6) ou sur la valeur de l'option (Chapitres 5 et 7).

Pour revenir sur notre question de recherche initiale concernant la valorisation, nous pouvons ainsi considérer que, dans le cas de l'option européenne, l'approche proposée reposant sur les simulations de Monte Carlo permet de valoriser les options réelles de façon simple, tout en prenant en compte la complexité de la décision d'investissement stratégique.

Dans le cas de l'option américaine et de l'option composée, le bilan est plus mitigé, car la méthode proposée est plus complexe que dans le cas de l'option européenne. Il faut en effet estimer la valeur d'un paramètre intermédiaire, et le modèle présente une complexité croissante au fur et à mesure que l'on augmente le nombre de points de décision intermédiaires.

La deuxième contribution de ces études de cas réside dans le travail exploratoire qui a été effectué sur le rôle de l'analyse optionnelle dans le processus de décision d'investissement.

Au-delà du résultat numérique obtenu, nous avons cherché à comprendre en quoi les options réelles permettaient d'améliorer le processus de décision d'investissement stratégique. Les principaux résultats sont récapitulés dans le Tableau C3.

Tableau C3 : Principaux apports de l'analyse optionnelle à la décision stratégique identifiés dans les études de cas

Chapitre 5 <i>Cas UMTS</i>	Chapitre 6 <i>Cas ADSL</i>	Chapitre 7 <i>Cas R&D</i>
Détermination de la date optimale de déploiement d'un réseau basé sur une nouvelle technologie → Arbitrage entre le coût et la valeur de l'attente.	Détermination de la date optimale de déploiement d'un réseau basé sur une nouvelle technologie → Estimation de la subvention à négocier avec les collectivités territoriales pour un déploiement immédiat.	Valorisation d'un projet de R&D : Faut-il abandonner le « kit » et se repositionner sur une autre version, ou bien est-il préférable de repousser cette décision ?
Amélioration du dialogue entre des entités de l'entreprise ayant des intérêts divergents (département Finance V. « business unit »).	Facilitation des discussions / négociations avec des tierces parties (collectivités territoriales).	Meilleure communication entre différents départements, dont les décisions d'investissement sont interdépendantes.
Préparation à la décision future en cas de report : a) Meilleure acceptabilité de la possibilité d'abandon ; b) Elaboration d'indicateurs permettant d'accélérer la décision à l'échéance de l'option ; c) Identification des actions à entreprendre pour maintenir l'option en vie, et réduire le niveau d'incertitude.	Préparation à l'élaboration d'un plan de déploiement → Pour chaque NRA (nœuds de raccordement d'abonnés) étudié, estimation de la probabilité d'exercice de l'option dans les deux années qui suivent.	Préparation à la décision future en cas de report : a) Elaboration d'indicateurs permettant d'accélérer la décision à l'échéance de l'option ; b) Identification des actions à entreprendre pour maintenir l'option en vie, et réduire le niveau d'incertitude.

Le Tableau C3 montre que, **suivant les décisions d'investissement étudiées, les apports de l'analyse optionnelle sont très divers**. Il apparaît toutefois que ceux-ci peuvent être regroupés en **trois grandes catégories** :

- **Un rôle de valorisation du projet / détermination de la date optimale d'investissement ;**
- **Un rôle de communication, interne ou externe ;**
- **Un rôle de préparation des décisions futures.**

Ainsi, les études de cas ont permis de répondre de façon empirique à notre question de recherche : « Comment les options réelles peuvent-elles jouer un rôle dans le processus d'investissement stratégique des entreprises ? ».

Conclusion générale

I. RAPPEL DU CHEMINEMENT DE LA THESE

Le point de départ de cette thèse a été constitué par le contraste entre d'une part, l'intérêt des académiques pour les options réelles comme outil d'aide à la décision d'investissement, et d'autre part la faible diffusion de cette approche dans la pratique des entreprises. La principale question de recherche qui a guidé la thèse a donc été de déterminer dans quelle mesure les options réelles peuvent jouer un rôle dans le processus de décision d'investissement stratégique.

Nous avons structuré notre recherche en trois grandes parties.

La première partie a permis de poser le cadre général d'analyse.

La revue de littérature du Chapitre 1 a établi que la faible utilisation des options réelles par les entreprises pouvait en grande partie s'expliquer par des difficultés de mise-en-œuvre de la théorie. La littérature sur les options réelles est largement dominée par des contributions théoriques ; elle s'est concentrée sur des problématiques de valorisation de l'option, et n'a pas réalisé de façon satisfaisante la transposition du raisonnement optionnel de l'univers financier vers celui des investissements réels.

Dans le Chapitre 2, nous avons exploré l'ensemble des contributions possibles de l'analyse optionnelle au processus de décision d'investissement, ainsi que les limites de cette approche.

La deuxième partie a été consacrée à la valorisation des options réelles, qui constitue l'une des principales difficultés dans l'application de la théorie des options réelles.

Le Chapitre 3 a révélé que les modèles actuellement utilisés pour valoriser les options réelles sont le plus souvent des modèles standards de valorisation d'options financières. Ils reposent sur des hypothèses trop contraignantes pour refléter la complexité d'une décision d'investissement réelles, et sont peu accessibles pour les managers, en raison des connaissances mathématiques requises et de la difficulté à estimer la valeur des paramètres d'entrée.

En conséquence, nous avons proposé dans le Chapitre 4 une méthode alternative de valorisation fondée sur les simulations de Monte Carlo. Celle-ci a été élaborée dans le souci de prendre en compte les particularités de la décision d'investissement, tout en étant simple d'utilisation.

La troisième partie de la thèse est constituée de trois études de cas, permettant de valider de façon empirique les éléments développés dans les deux premières parties.

II. PRINCIPALES CONTRIBUTIONS DE LA THESE

La réalisation de ce travail a permis de dégager trois principales contributions.

La première contribution de cette thèse est d'avoir réalisé une revue exhaustive de la littérature sur l'application des options réelles à la décision d'investissement stratégique. Elle nous a permis d'asseoir le constat d'une faible diffusion en stratégie et d'un caractère appliqué très limité. Ayant identifié quelques 700 articles sur les options réelles publiés dans les revues anglo-saxonnes d'économie et de gestion, nous avons concentré notre analyse détaillée sur 154 articles.

Cette analyse a révélé que la littérature sur les options réelles est hétérogène : elle recouvre des domaines des sciences économiques et de gestion très divers, généralement disjoints ; on observe une très nette domination de la sphère « financière », qui a produit de nombreux modèles de valorisation d'option.

Nous avons constaté qu'en définitive, seule une petite partie de la littérature s'intéresse à l'applicabilité et aux apports des options réelles à la décision d'investissement stratégique. De nombreux articles utilisent les options réelles seulement comme une grille de lecture, pour expliquer des phénomènes économiques et le comportement des entreprises. D'autres, en très grande majorité, se concentrent sur la valorisation de décisions d'investissement types, pour lesquelles la logique

optionnelle fonctionne particulièrement bien. Mais peu d'articles cherchent à déterminer si l'analyse optionnelle est pertinente pour tous les cas de figure, et en quoi elle permet d'améliorer le processus de décision stratégique.

D'une manière générale, le champ du management stratégique est assez faiblement représenté dans la littérature sur les options réelles. Celle-ci est centrée sur la problématique de la valorisation de l'option. Elle fait largement l'impasse sur les limites cognitives et organisationnelles à l'utilisation des options réelles. Elle restreint généralement l'intérêt des options réelles à la seule valorisation du projet, alors que ceci ne représente qu'une petite partie du processus de décision stratégique.

Finalement, cette analyse nous permet de souligner le caractère très théorique de la littérature sur les options réelles. Il existe un fort potentiel pour des recherches empiriques, qui permettraient d'une part d'opérationnaliser la théorie des options réelles, et d'autre part de valider sur le terrain les apports et les limites des options réelles à la prise de décision stratégique.

La deuxième et l'une des principales contributions théoriques de la thèse réside dans l'élaboration d'une nouvelle approche de valorisation des options réelles, fondées sur les simulations de Monte Carlo. Nous proposons ainsi une méthode pour valoriser l'option européenne, l'option américaine et l'option composée.

Cette approche a été élaborée à la suite d'une analyse des insuffisances des modèles de valorisation actuels. Il est notamment apparu que les modèles de valorisation « classiques » sont inadéquats pour prendre en compte la complexité d'une décision d'investissement. Nous avons donc eu recours aux simulations de Monte Carlo, qui sont utilisées en finance de marché pour valoriser les options « exotiques », et permettent une grande souplesse d'utilisation.

Au-delà de la justesse de la valorisation, il nous a paru capital de mettre au point une méthode qui puisse être un support de discussion sur le projet d'investissement. Pour Myers (1996 : 100), ceci est une condition *sine qua non* à la diffusion des options réelles dans la pratique des entreprises :

“DCF is not just a tool for valuing projects, it is a way of talking about projects, that is, a framework for assembling information and debating projects' prospects. Unless real options can be talked about, calculations of real options values will not be trusted.”

Nous nous sommes donc efforcés de développer une approche qui (1) soit intuitive et facile d'accès ; (2) nécessite comme variables d'entrée des paramètres ayant un sens économique. De plus, l'approche proposée permet d'élaborer des indicateurs, qui faciliteront les décisions futures.

Enfin, **la troisième et principale contribution de la thèse provient des résultats de la recherche empirique que nous avons réalisée à travers trois études de cas réelles.** Cette contribution comporte deux volets : l'un sur l'identification et la valorisation des options ; un deuxième, plus exploratoire, sur l'apport de l'analyse optionnelle au processus de décision stratégique.

Contribution à l'identification et à la valorisation des options réelles

L'étude de décisions d'investissement réelles a permis de mettre en évidence que les options réelles présentent des caractéristiques beaucoup plus complexes que celles évoquées dans les manuels de finance. Outre le fait que l'option dépend de sources d'incertitude multiples et interdépendantes, différentes spécificités sont apparues dans les études de cas.

Voici les exemples les plus notables que nous avons rencontrés :

- L'option de report ne consiste généralement pas à attendre et ne rien faire, mais à mettre en place une solution d'attente ;
- Une option peut présenter différentes modalités d'exercice à l'échéance
- Une option peut être de type « européen », même si en principe la décision d'investir peut être prise à tout moment ;
- Un projet analysé comme une option composée peut donner lieu au versement de cash-flows intermédiaires.

L'implication de ces « particularités » est double. D'une part, l'identification des options réelles est difficile, car elles ne peuvent pas être décrites dans des situations types. D'autre part, la valorisation des options réelles nécessite le développement de modèles sur-mesure.

Concernant la valorisation de l'option proprement dite, l'une des contributions de cette thèse a été de comparer, sur des cas réels, plusieurs méthodes de valorisation d'option. Une telle approche contraste avec la littérature existante, dans laquelle les études de cas se basent sur un seul modèle de valorisation. Nous avons comparé les méthodes de valorisation sur le plan de la pertinence des résultats numériques, mais aussi sur leur facilité d'utilisation.

Les résultats montrent que le modèle proposé fondé sur les simulations de Monte Carlo produit une valorisation d'option plus pertinente que les modèles « classiques » (modèles en temps continu et modèle binomial) lorsque l'option étudiée est complexe, et que l'hypothèse du MBG (Mouvement Brownien Géométrique) n'est donc pas réaliste.

Par ailleurs, nous avons montré que le principal intérêt de l'approche par les simulations de Monte Carlo réside dans sa souplesse et sa facilité d'utilisation. Grâce à ces propriétés, la méthode par les simulations de Monte Carlo est mieux acceptée par les dirigeants, et permet aux différentes parties prenantes de dialoguer autour des hypothèses économiques du modèle. Ceci confère à l'analyse optionnelle un véritable rôle d'aide à la décision d'investissement.

Contribution à la réflexion sur le rôle des options réelles dans le processus de décision d'investissement stratégique

Dans le Chapitre 2, nous avons détaillé la diversité des applications possibles des options réelles, et conclu qu'il n'existe pas d'analyse optionnelle « standard ». De même, les trois études de cas ont révélé des contributions de l'analyse optionnelle à la décision d'investissement variables suivant le type de projet étudié.

Néanmoins, lorsque l'on analyse avec recul les trois études de cas réalisées, il ressort que le débat rôle qualitatif / rôle quantitatif des options réelles doit être dépassé, et que l'analyse optionnelle peut apporter trois grands types de contributions au processus de décision d'investissement stratégique.

- **Un rôle de valorisation du projet.** En contexte d'incertitude et de flexibilité, les options réelles se sont révélées un meilleur outil que la VAN pour valoriser le projet et/ou déterminer la date optimale de lancement du projet. Il convient toutefois de noter que l'objectif d'un tel exercice n'est pas d'aboutir à une valorisation aussi précise que possible du projet, mais plutôt d'inciter le management à se poser les bonnes questions, notamment sur l'amplitude des sources d'incertitudes, et sur les réponses possibles face à celles-ci.
- **Un rôle de communication**, soit en interne entre différentes entités d'un groupe ayant des intérêts divergents, soit avec des parties tierces ;
- **Un rôle de préparation des décisions futures**, par le biais de plusieurs leviers : (1) élaboration d'indicateurs qui permettront d'accélérer les décisions futures ; (2) incitation des managers à réfléchir sur les actions à mener pour maintenir la flexibilité de choix face à l'incertitude ; (3) identification et chiffrage des moyens à mettre en œuvre pour réduire l'incertitude.

III. PISTES DE RECHERCHE FUTURE

Le travail effectué dans le cadre de cette thèse comporte des limites, et appelle à la réalisation de recherches futures, que nous pouvons regrouper en trois grandes thématiques : la valorisation, la validation empirique des bénéfices des options réelles et l'étude des mécanismes organisationnels favorisant l'application de la logique optionnelle.

Limites et pistes de recherche future sur la valorisation des options réelles

Contrairement aux options financières, les options réelles se situent dans un contexte de marché incomplet. En conséquence, l'utilisation d'un taux d'intérêt sans risque comme pour les options financières n'est pas justifiée.¹⁴⁸ Nous n'avons pas abordé ce problème dans la présente thèse, et la recherche future devra produire des indications méthodologiques sur le calcul du taux d'actualisation approprié.

Deuxièmement, il faudrait affiner la méthode alternative par les simulations de Monte Carlo proposée dans cette thèse.

En particulier, il faudrait tester empiriquement l'impact du choix des lois de distribution sur la valorisation de l'option.

Il s'agit également d'améliorer la méthode de valorisation de l'option américaine et de l'option composée par les simulations de Monte Carlo. Ceci passe par :

- (1) une meilleure compréhension des différences de résultats obtenus entre les arbres binomiaux et la méthode des simulations de Monte Carlo ;
- (2) une simplification de la méthode par les simulations de Monte Carlo, en particulier lorsqu'il existe plusieurs points de décision intermédiaires.

Troisièmement, une piste de recherche intéressante concerne la prise en compte d'une révélation d'information partielle et progressive.

Nous avons montré que les options réelles se distinguent des options financières par le fait que, au moment de la décision d'exercer l'option, la connaissance du montant du *pay-off* réalisé est imparfaite. La recherche future devra prendre en compte ce phénomène dans la valorisation des options réelles. Plus spécifiquement, dans le cas de l'option européenne, il faudra déterminer en quoi l'erreur (avec ou sans biais) sur l'estimation du *pay-off* à l'échéance vient minorer la valeur de l'option. De même, dans le cas de l'option américaine et de l'option composée, il faudra déterminer dans quelle mesure la révélation seulement progressive de l'information vient affecter la décision d'exercice anticipé / d'exercice de l'option sur option, et *in fine* la valeur de l'option.

Enfin, il reste un champ de recherche important pour améliorer la valorisation des options réelles en contexte concurrentiel. Là encore, les simulations de Monte Carlo pourraient constituer une piste de recherche intéressante pour rendre plus accessibles les modèles théoriques combinant options réelles et théorie des jeux.

Limites et pistes de recherche future sur le rôle des options réelles dans le processus de décision d'investissement stratégique

Les études de cas présentées dans cette thèse ont été réalisées à titre de « projet pilote », visant à identifier l'intérêt de l'analyse optionnelle pour la décision d'investissement. La recherche future devra s'efforcer de valider les différents apports possibles – ainsi que les limites – des options réelles sur des décisions d'investissement où cette approche a effectivement été mobilisée par le management. Il serait particulièrement intéressant d'étudier d'une part la capacité des managers à réaliser une analyse optionnelle – et l'intérêt éventuel de mettre en place un support « d'experts » – et d'autre part l'acceptabilité de cette approche par les dirigeants.

L'étude empirique de l'apport des options réelles à la décision d'investissement stratégique sera d'autant plus fructueuse qu'elle couvrira l'ensemble du processus de décision, depuis la phase de « définition » du projet, jusqu'à celle du suivi.

¹⁴⁸ Cf. Chapitre 3, section 2, § II.2.4. Une grande difficulté à estimer la valeur des paramètres utilisés par les modèles

Limites et pistes de recherche future sur les mécanismes organisationnels favorisant l'application de la logique optionnelle

L'analyse optionnelle n'a de sens que si l'entreprise est capable d'exploiter l'incertitude. A l'heure actuelle, les systèmes de rémunération et d'allocation des droits de décision n'incitent pas les managers à créer les options réelles, ni à les exercer de façon optimale.

Une piste de recherche future est donc d'analyser les mécanismes organisationnels qui sont nécessaires pour récolter tous les bénéfices d'une analyse optionnelle.

D'une manière générale, cette thèse a souligné que la mise en œuvre de la logique optionnelle au sein de l'entreprise est une tâche difficile. En ce sens, la capacité à gérer les options réelles peut être considérée comme une source d'avantage compétitif (Coff, 2007). Ainsi, les conditions de réussite du raisonnement optionnel ouvrent un large champ de recherche dans le domaine du management stratégique.

* * *

Annexes

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 :** Description des outils complémentaires d'aide à la décision d'investissement étudiés dans l'enquête de Ryan & Ryan (2003)
- Annexe 2 :** Liste des entreprises interrogées par Triantis et Borison (2001) sur leur expérience dans la pratique des options réelles
- Annexe 3 :** Liste des revues ayant publié trois articles ou plus sur le thème des options réelles
- Annexe 4 :** Modélisation des sources d'incertitude dans l'étude de cas du Chapitre 5
- Annexe 5 :** Modélisation des sources d'incertitude dans l'étude de cas du Chapitre 6
- Annexe 6 :** Prévision d'évolution des prix de vente dans l'étude de cas du Chapitre 6
- Annexe 7 :** Modélisation des sources d'incertitude dans l'étude de cas du Chapitre 7

ANNEXE 1 : DESCRIPTION DES OUTILS COMPLEMENTAIRES D'AIDE A LA DECISION D'INVESTISSEMENT ETUDIES DANS L'ENQUETE DE RYAN & RYAN (2003)

L'analyse de sensibilité étudie l'impact sur la VAN des variations d'un paramètre d'entrée à la fois, par exemple le chiffre d'affaires ou le coût du capital.

L'analyse de scénario étudie l'impact sur la VAN des variations de plusieurs paramètres d'entrée à la fois, et prend en compte la probabilité de telles variations.

Les cash-flows corrigés par l'inflation ajustent les cash-flows futurs espérés par un facteur d'inflation estimé.

« *L'Economic Value Added* » (EVA) mesure l'efficacité managériale sur une année ou une période donnée (bénéfice net après impôts – coût du capital après impôts pour financer les opérations).

Le taux de rendement interne incrémental (TIR incrémental) est le taux de rendement interne de la différence des cash-flows entre deux projets concurrents ; il est généralement employé pour les décisions de remplacement.

La simulation est une méthode permettant d'établir la distribution de probabilité des issues possibles.

La "Market Value Added" (MVA) est la valeur de marché du capital social fourni par les actionnaires.

Le « *PERT/CPM* » est l'analyse et la représentation de la décision financière la plus efficiente.

Les arbres de décision sont une représentation graphique d'un enchaînement d'issues séquentielles, et des probabilités associées.

Les modèles mathématiques complexes est un terme général incluant diverses techniques de valorisation d'option, analyses d'options réelles complexes et toutes les méthodes / modèles développés par une entreprise pour ses besoins spécifiques.

La programmation linéaire identifie un ensemble de projets qui maximisent la VAN sous contraintes (telles qu'un montant maximal de ressources disponibles).

Source : Ryan & Ryan (2002 : 360, Table 3)

ANNEXE 2 : LISTE DES ENTREPRISES INTERROGÉES PAR TRIANTIS ET BORISON (2001) SUR LEUR EXPERIENCE DANS LA PRATIQUE DES OPTIONS REELLES

Secteur d'activité	Entreprises
Produits industriels et de grande consommation	DuPont, LLBean, Procter&Gamble
Services financiers	Crédit Suisse First Boston, Morgan Stanley
Technologies de pointe et informatique / communications	Hewlett Packard, Intel, Rockwell, Sprint, Ultratech
Sciences de la vie	Amgen, Genentech, Genzyme
Energie	Anarkado, Chevron, Cinergy, ConEdison, Conoco, Constellation Energy Group, Dynegy, El Paso, Enron, Lakeland Electric, Ontario Power Generation, Texaco, Wisconsin Public Service Corporation, Xcel Energy
Immobilier et construction	Beazer Homes
Transports	Airbus, Boeing, British Airways, Canadian Pacific, General Motors

Source: Triantis & Borison, 2001

ANNEXE 3 : LISTE DES REVUES AYANT PUBLIE TROIS ARTICLES OU PLUS SUR LE THEME DES OPTIONS REELLES

Domaines	Revues	Nb. d'articles
Economie	Engineering Economist	30
	Journal of Economic Dynamics and Control	15
	Applied Economics Letters	6
	Applied Economics	5
	Economics Letters	5
	Journal of Economics and Business	4
	International Journal of Industrial Organization	4
	American Economic Review	4
	Journal of Economic Theory	3
	International Review of Economics and Finance	3
	International Economic Review	3
	Autres revues	56
Total Economie		138
Finance	Journal of Applied Corporate Finance	36
	Quarterly Review of Economics and Finance	15
	Journal of Financial Economics	15
	Review of Financial Economics	13
	Journal of Finance	10
	Financial Management	10
	Journal of Financial and Quantitative Analysis	8
	Journal of Business Finance and Accounting	7
	Strategic Finance	6
	Review of Financial Studies	5
	Journal of Business	5
	Financial Practice and Education	4
	Journal of Banking and Finance	4
	Journal of Private Equity	3
	Financial Analysts Journal	3
	International Journal of Theoretical and Applied Finance	3
	Journal of Applied Finance	3
Autres revues	33	
Total Finance		183
Stratégie & Management	Strategic Management Journal	16
	Harvard Business Review	11
	Academy of Management Review	10
	McKinsey Quarterly	6
	Long Range Planning	6
	Sloan Management Review	4
	Journal of American Academy of Business	4
	Journal of Management	3
	European Management Journal	3
	Autres revues	41
Total Stratégie & Management		104

Domaines	Revues	Nb. d'articles
Fonctions autres que la finance et la stratégie	R&D Management	15
	Research Technology Management	9
	Journal of Management Information Systems	6
	Journal of the American Taxation Association	4
	International Journal of Technology Management	4
	MIS Quarterly	3
	Autres revues	53
Total Autres fonctions		94
Applications sectorielles	Energy Policy	8
	Construction Management and Economics	8
	Real Estate Economics	7
	Journal of Real Estate Finance and Economics	4
	Journal of Environmental Economics and Management	4
	Energy Economics	4
	Agricultural Economics	4
	Resources Policy	3
	Resource and Energy Economics	3
	American Journal of Agricultural Economics	3
	Briefings in Real Estate Finance	3
	Journal of Commercial Biotechnology	3
	Energy Journal	3
	Forest Policy and Economics	3
Autres revues	34	
Total Applications sectorielles		94
Recherche opérationnelle	Management Science	20
	European Journal of Operational Research	12
	Operations Research	9
	IEEE Transactions on Engineering Management	6
	International Journal of Production Economics	5
	Annals of Operations Research	5
	Decision Analysis	4
	Decision Support Systems	4
	Omega	3
	International Journal of Production Research	3
	Interfaces	3
Autres revues	29	
Total Recherche opérationnelle		103

ANNEXE 4 : MODELISATION DES SOURCES D'INCERTITUDE DANS L'ETUDE DE CAS DU CHAPITRE 5

Pour rappel, les quatre sources d'incertitude principales que nous avons retenues dans le cadre de cette étude de cas sont les suivantes : l'ARPU, la stratégie de Comptel, la vitesse de pénétration de l'UMTS et la date d'émergence d'une nouvelle technologie (« 3,5 / 4G »).

Nous détaillons ci-après les hypothèses retenues concernant le profil de risque de chacune de ces variables.

ARPU

L'ARPU (Average Revenue Per Unit) est structuré en deux grandes composantes : l'ARPU « voix » et l'ARPU « données ». Pour chacune des technologies étudiées (GSM, EDGE et UMTS), il a fallu déterminer un ARPU « voix » et un ARPU « données » (Tableau A4.1).

Tableau A4.1. : Modélisation de la distribution des ARPU par technologie

	Voix	Données
GSM (2G)	Rv2G	Rd2G
EDGE (2,75G)	= Rv2G	= Rd3G * 0,7
UMTS (3G)	= Rv2G * 1,05	Rd3G

Parmi les six variables d'ARPU présentées dans le Tableau A4.1, seules trois d'entre elles (sur fond grisé dans le Tableau) ont été modélisées comme des sources d'incertitude. Les autres ARPU se déduisent directement de l'une de ces trois données de base. Par exemple, nous avons considéré que l'ARPU données pour EDGE vaut en moyenne 70% de l'ARPU données 3G.

Pour chacune de ces trois variables (*Rv2G*, *Rd2G* et *Rd3G*), nous avons fait l'hypothèse d'une loi normale, dont les extrémités ont été déterminées en estimant quelle était la valeur minimale et la valeur maximale possibles avec une probabilité de 99%.

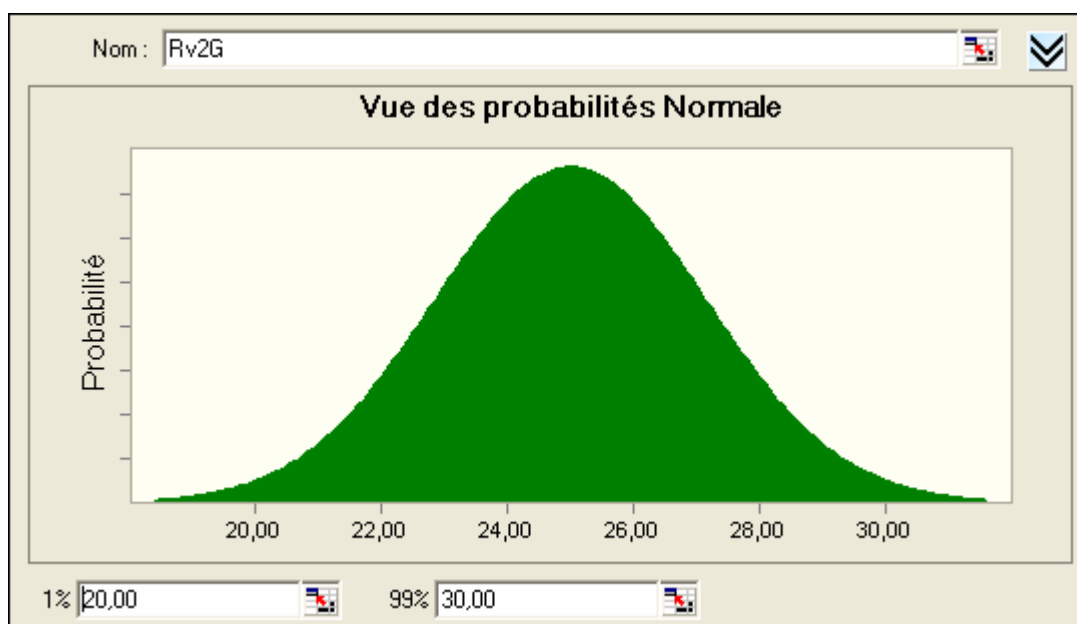
Les valeurs minimales et maximales retenues pour chacune de ces variables sont récapitulées dans le Tableau A4.2.

Tableau A4.2 : Modélisation de la distribution des ARPU

	GSM		UMTS
	Voix	Données	Données
<i>Nom de la variable</i>	<i>Rv2G</i>	<i>Rd2G</i>	<i>Rd3G</i>
Min @ 1%	20	4	7
Max @ 99%	30	8	18

La Figure A4.1 donne l'exemple d'une représentation graphique de l'ARPU (ARPU voix 2G).

Figure A4.1 : Modélisation de la distribution de l'ARPU voix 2G



Enfin, le modèle suppose que ces trois variables évoluent de façon corrélée, comme l'indique le Tableau A4.3 :

Tableau A4.3 : Coefficients de corrélation entre les différents ARPU

	Rv2G	Rd2G	Rd3G
Rv2G	1	0,5	
Rd2G		1	
Rd3G		0,7	1

Vitesse de pénétration de l'UMTS (v)

La vitesse de pénétration de l'UMTS a été modélisée suivant une loi triangulaire, dont les paramètres sont précisés dans le Tableau A4.4.

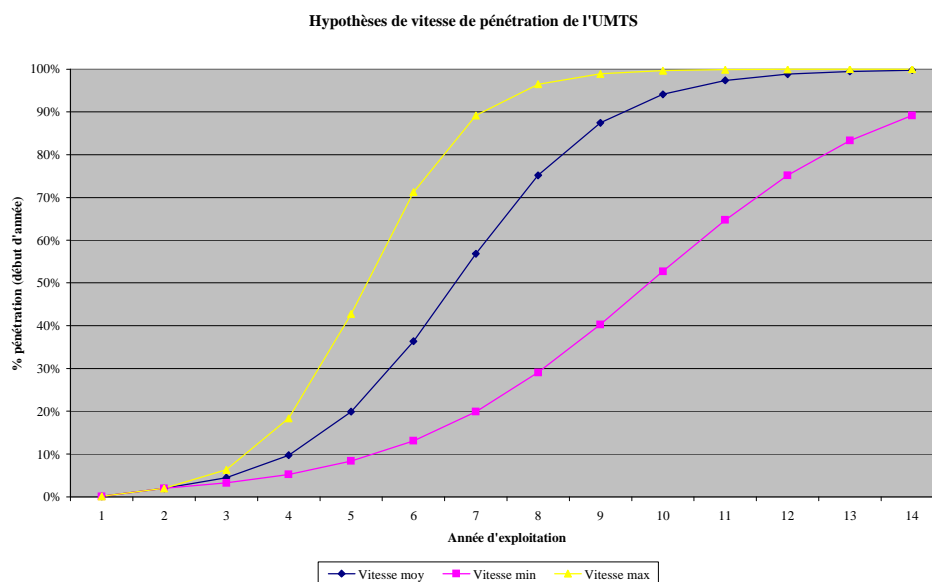
Tableau A4.4 : Hypothèses concernant la vitesse de pénétration de l'UMTS (v)

Paramètre	Valeur
Vitesse de pénétration la plus probable	0,8
Vitesse de pénétration minimale	0,5
Vitesse de pénétration maximale	1,2

Une telle distribution correspond à une vitesse moyenne de 0,83.

Pour une représentation plus concrète, nous avons tracé sur la Figure A4.2 les courbes de pénétration de l'UMTS correspondant aux vitesses de pénétration minimale, moyenne et maximale.

Figure A4.2 : Représentation graphique des vitesses de pénétration retenues



Stratégie suivie par Comptel

Le contexte dans lequel est effectuée cette étude de cas est celui d'un quasi-duopole. En conséquence, les stratégies de Mobitel et Comptel sont intimement liées. Les deux opérateurs se connaissent bien, et un mouvement stratégique de l'un est généralement suivi quelque temps plus tard par l'autre.

Nous faisons donc l'hypothèse que la stratégie suivie par Comptel est contingente à celle suivie par Mobitel.

Le Tableau A4.5 récapitule les différentes stratégies possibles en fonction du scénario adopté par Mobitel. Ces stratégies varient de la plus agressive (stratégie 1) à la moins agressive (stratégie 3).

Tableau A4.5 : Hypothèses relatives aux stratégies possibles de Comptel

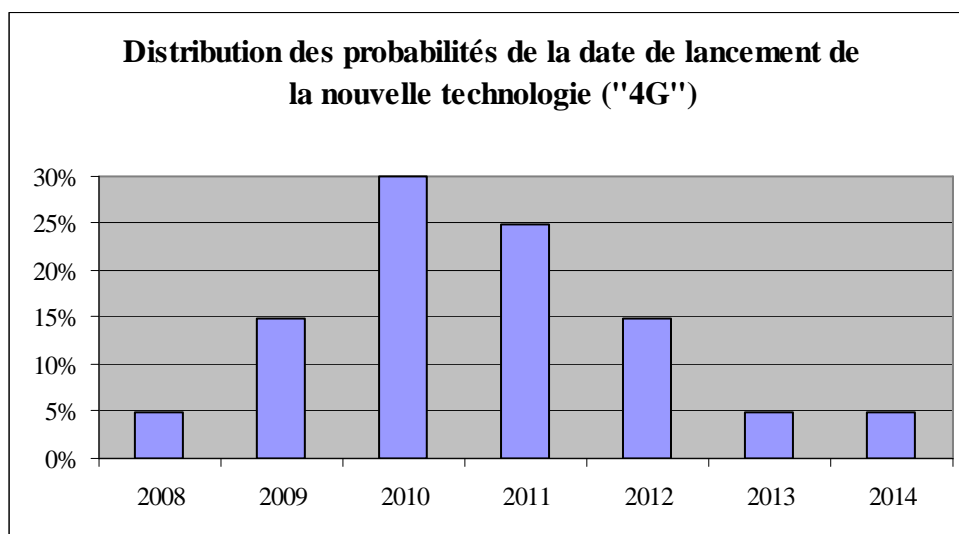
		Stratégie Comptel		
		Stratégie 1 20% proba	Stratégie 2 50% proba	Stratégie 3 30% proba
Stratégie Mobitel	S0 : UMTS en déc. 2004	UMTS en juin 2005		
	S1 : UMTS en déc. 2005	UMTS en juin 2005	UMTS en déc. 2005	UMTS en juin 2006
	S2 : EDGE en déc. 2005	UMTS en déc. 2005	EDGE en déc. 2005	
	S3 : GSM, puis « 3,5 / 4G »	UMTS en déc. 2005 (50%) ou déc. 2006 (50%)	EDGE en déc. 2005 (50%) ou déc. 2006 (50%)	GSM, puis « 3,5 / 4G »

Date d'émergence de la « nouvelle technologie » (« 3,5 / 4G »)

La loi de distribution que nous avons retenue pour la date d'émergence de la « 3,5 / 4G » est détaillée dans la Figure A4.3.

Figure A4.3 : Hypothèses concernant la date d'émergence de la « 4G »

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
5%	15%	30%	25%	15%	5%	5%



ANNEXE 5 : MODELISATION DES SOURCES D'INCERTITUDE DANS L'ETUDE DE CAS DU CHAPITRE 6

Pour rappel, les trois grandes sources d'incertitude que nous avons retenues pour cette étude de cas portent sur : (1) le nombre de clients ; (2) les prix de ventes en 2003 ; (3) la baisse annuelle des prix de vente sur la période 2003 - 2005.

Nombre de clients

Nombre de variables modélisées : 5 lignes de produits * 3 années (2003, 2004 et 2005) = 15

Loi de distribution choisie : Loi log-normale

La loi log-normale permet de s'assurer du fait que le nombre de clients ne peut pas être négatif.

Paramètres : Moyenne = nombre de clients prévus dans le business plan ;
Ecart-type = 30% de la moyenne.

Prix de ventes pour l'année 2003

Nombre de variables modélisées : 5 lignes de produits + 1 tarif de gros = 6

Loi de distribution choisie : Loi triangulaire

Paramètres : Valeur la plus probable = % de baisse annuelle prévu dans le business plan ;
Valeur minimale = baisse de 15% par rapport au prix prévu dans le business plan ;
Valeur maximale = hausse de 5% par rapport au prix prévu dans le business plan.

Baisse annuelle des prix de ventes sur la période 2003 - 2005

Nombre de variables modélisées : 5 lignes de produits + 1 tarif de gros = 6

Loi de distribution choisie : Loi triangulaire

Paramètres : Valeur la plus probable = baisse annuelle des prix prévue dans le business plan ;
Valeur minimale = baisse annuelle de 5% inférieure à celle du business plan ;
Valeur maximale = baisse annuelle de 15% supérieure à celle du business plan.

Coefficients de corrélation

Entre le nombre de clients pour différentes lignes de produits sur une année donnée : 0,8.

Pour une même ligne de produits

- Entre le nombre de clients, d'une année sur l'autre : 0,8.
- Entre le nombre de clients en 2003 et le prix de vente en 2003 : -0,5.
- Entre le nombre de clients et la baisse annuelle des prix sur la période 2003-2005 : 0,5.

ANNEXE 6 : PREVISION D'EVOLUTION DES PRIX DE VENTE DANS L'ETUDE DE CAS DU CHAPITRE 6

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Ligne de produit n°1	100	94	87	82	77	72
Ligne de produit n°2	100	90	81	73	66	59
Ligne de produit n°3	100	93	85	80	76	71
Ligne de produit n°4	100	90	81	73	65	59
Ligne de produit n°5	100	95	90	86	n.d.	n.d.
Tarif de gros	100	90	81	73	73	73

Evolution des prix présentée par rapport à une base 100 en 2003

ANNEXE 7 : MODELISATION DES SOURCES D'INCERTITUDE DANS L'ETUDE DE CAS DU CHAPITRE 7

Loi de distribution des variables incertaines

Le Tableau A7.1 indique les hypothèses formulées concernant la distribution des variables incertaines.

Le nombre de nouveaux fournisseurs de services (noté « rac ») est un nombre entier, et a été modélisé suivant une loi triangulaire, qui est particulièrement facile à appréhender.

Les autres sources d'incertitude sont des variables continues, pour lesquelles une distribution triangulaire est moins adaptée. Pour ce type de données, Copeland et Antikarov (2001) utilisent essentiellement la loi normale ou bien la loi log-normale s'il s'agit d'une donnée positive (exemple : prix ou volume de vente).

Comme il s'agit ici de variables prenant des valeurs positives seulement, nous avons choisi la loi log-normale.

Tableau A7.1 : Distribution des variables incertaines

Source d'incertitude	Notation	Loi de probabilité	Paramètres
Réduction du taux d'attrition (« churn ») permise par le kit de fédération d'identité	<i>chf</i>	Log-normale	Moyenne : 10% Ecart-type : 2%
Nb. de nouveaux fournisseurs de services partenaires de Théta.net	<i>rac</i>	Triangulaire	Minimum = 0 Le plus probable = 10 Maximum = 15
Risque de réduction de CA	<i>can</i>	Log-normale	Moyenne : 2,3% Ecart-type : 0,6%
Réduction du taux d'attrition (« churn ») permise par le kit de partage d'attributs	<i>chp</i>	Log-normale	Moyenne : 0,23% Ecart-type : 0,06%
Cash-flows issus de la vente d'attributs à des tiers	<i>att</i>	Log-normale	Moyenne : 170 Ecart-type : 85

Corrélations entre les variables incertaines

Nous avons établi des corrélations entre certaines sources d'incertitude pesant sur le kit SSO d'une part, et les sources d'incertitude affectant le kit de partage d'attributs d'autre part.

En particulier, on peut s'attendre à ce que si le gain de confort d'utilisation permis par la fédération d'identité conduit à une réduction du taux d'attrition, alors les avantages supplémentaires permis par le partage d'attributs conduiront eux aussi à une réduction du taux d'attrition. D'où une corrélation positive entre les variables « *chf* » et « *chp* ».

D'un autre côté, un succès économique au cours de la phase de fédération d'identité ne sera pas nécessairement suivi d'un succès économique au cours de la phase de partage d'attributs : en particulier, nous avons indiqué dans la première partie de cette étude de cas que la meilleure gestion de l'identité par Théta.net ne peut conduire à une réduction du taux d'attrition que si les fournisseurs partenaires coopèrent au processus de gestion de l'identité.

Or, on peut imaginer des cas de figure où les fournisseurs de service partenaires ne seraient pas – ou moins – intéressés par le kit de partage d'attributs proposé par le Groupe Théta Telecom. Comme indiqué dans la première partie, ceci pourrait par exemple s'expliquer pour des raisons technologiques, si la norme WS* vient à l'emporter sur la norme de l'alliance Liberty.

En conséquence, un taux de corrélation de 0,4 entre les variables *chf* (réduction du taux d'attrition permise par le kit SSO) et *chp* (réduction du taux d'attrition permise par le kit de partage d'attributs) paraît raisonnable.

Pour des raisons similaires, on peut faire l'hypothèse d'une corrélation positive entre la réduction du taux d'attrition permise par le kit SSO, et la vente d'attributs permise par le kit de partage d'attributs : si la première étape de la gestion d'identité (la fédération) a du succès auprès des consommateurs, alors les fournisseurs de services seront sans doute prêts à acheter des attributs auprès de Théta.net pour offrir aux consommateurs une rapidité d'utilisation encore accrue (grâce à des services personnalisés).

Toutefois, le taux de corrélation choisi ici est plus faible (0,2), car la réduction du taux d'attrition et la vente d'attributs n'impliquent pas les différents acteurs économiques (le consommateur final et le fournisseur de service) de la même façon.

Le Tableau A7.2 résume les hypothèses concernant les corrélations entre les sources d'incertitude de la phase de fédération d'identité, et les sources d'incertitude de la phase de partage d'attributs.

Tableau A7.2 : Hypothèses de corrélations entre les sources d'incertitude du kit SSO et du kit de partage d'attributs

		Sources d'incertitude affectant le kit SSO de fédération d'identité		
		<i>chf</i>	<i>rac</i>	<i>can</i>
Sources d'incertitude affectant le kit SSO de partage d'attributs	<i>chp</i>	0,4	0,1	-
	<i>att</i>	0,2	0,1	-

Table des matières

PLAN DETAILLE

Introduction générale 7

- I. Contexte et intérêt de la recherche 8
- II. Question de recherche 10
- III. Déroulement de la recherche 11
 - III.1. Démarche de recherche 11
 - III.2. Niveau d'analyse et périmètre de la recherche 14
 - III.3. Choix du terrain 15
- IV. Plan de la thèse 16

Partie I 17

Chapitre 1 – Les options réelles : Une transposition difficile de la théorie à la pratique 19

- Introduction 20
- Section 1 : Les options réelles : une idée séduisante, mais peu utilisée dans le monde de l'entreprise 21
 - I. Les options réelles : une idée séduisante 21
 - I.1. La genèse des options réelles 21
 - I.2. Le principe de l'option réelle 21
 - I.3. Présentation des principaux types d'options réelles 25
 - I.4. Un succès grandissant dans le monde académique 27
 - II. Une faible utilisation des options réelles par les entreprises 28
 - II.1. Résultats d'enquêtes sur l'utilisation des options réelles par les entreprises 28
 - II.2. Une utilisation des options réelles qui semble pour l'instant concentrée sur certains secteurs d'activité 33
 - II.3. Les raisons possibles de la faible utilisation des options réelles par les entreprises 36
- Section 2 : Les modalités concrètes d'utilisation des options réelles pour assister les décisions d'investissement : un domaine encore peu exploité par la littérature académique 39
 - I. Panorama général de la littérature sur les options réelles 39
 - II. Analyse de la littérature sur l'application des options réelles à la décision d'investissement stratégique 43
 - II.1. Détermination du panel d'articles 43
 - II.2. Analyse des articles publiés dans les revues de stratégie et management 44
 - II.3. Analyse des articles publiés dans les revues d'économie, de finance, de recherche opérationnelle et sciences du management 48
 - II.4. Analyse des articles publiés dans les revues sectorielles ou spécialisées dans certaines fonctions de l'entreprise 55
 - III. Bilan : Apports et limites de la littérature sur l'utilisation concrète des options réelles pour la décision d'investissement 58
- Conclusion du chapitre 63

Chapitre 2 – Apports possibles des options réelles à la décision d'investissement stratégique 65

- Introduction 66
- Section 1 : Pour quels types de projets les options réelles sont-elles utiles ? 67
 - I. Condition d'existence des options réelles au sein des projets d'investissement 67
 - I.1. Irréversibilité 67
 - I.2. Risque 68
 - I.3. Flexibilité 70
 - I.4. Mécanismes de révélation d'information 73
 - II. Conditions pour que les options réelles apportent un éclairage supplémentaire à la VAN 74
 - II.1. Cas dans lesquels la valeur totale d'un projet est égale à la somme de la VAN et de la valeur d'option 74
 - II.2. Cas dans lesquels la valeur de projet est égale à la valeur d'option 75
- Section 2 : Apports et limites des options réelles à la décision d'investissement stratégique 78

- I. Des contributions à la décision d'investissement très diverses 78
 - I.1. Des contributions variant suivant le type d'option réelle mise en cause 78
 - I.2. Des contributions intervenant à différents stades et à différents niveaux d'analyse de la décision d'investissement 80
 - I.3. Les options réelles : outil de valorisation ou cadre conceptuel ? 82
- II. Les limites des options réelles 85
 - II.1. Les limites de nature méthodologique 85
 - II.2. Limites de nature comportementale et organisationnelle 87
- Section 3 : Validation empirique : contributions et limites des options réelles à la prise de décision d'investissement dans la R&D 92
 - I. La R&D : un terrain privilégié pour appliquer les options réelles ? 92
 - II. Présence d'options réelles dans les projets de R&D d'un opérateur de télécommunications 95
 - II.1. Présence d'incertitude 96
 - II.2. Présence de flexibilité 96
 - II.3. Présence de mécanismes de révélation d'information 98
 - III. Apport concret des options réelles pour le pilotage des projets R&D d'un opérateur de télécommunications 99
 - III.1. Apport des options réelles pour le pilotage d'un projet 99
 - III.2. Apport des options réelles pour le pilotage d'un portefeuille de projets 101
 - III.3. Type d'analyse optionnelle à réaliser 105
- Conclusion du chapitre 108

Partie II 112

Chapitre 3 – Présentation des méthodes actuelles de valorisation d'options réelles 115

- Introduction 116
- Section 1 : Présentation des modèles actuels de valorisation d'options réelles 117
 - I. Panorama des modèles actuels de valorisation d'options 117
 - I.1. Les modèles en temps continu 118
 - I.2. Les modèles en temps discret 119
 - I.3. Modèles les plus utilisés pour la valorisation des options réelles 120
 - II. Les modèles en temps continu 125
 - II.1. Valorisation de l'option européenne : le modèle de Black & Scholes 125
 - II.2. Valorisation de l'option américaine : le modèle de McDonald et Siegel 125
 - II.3. Valorisation de l'option composée: le modèle de Geske 127
 - III. Un modèle en temps discret : le modèle binomial 130
 - III.1. Valorisation de l'option européenne par le modèle binomial 130
 - III.2. Valorisation de l'option américaine par le modèle binomial 133
 - III.3. Valorisation de l'option composée par le modèle binomial 134
- Section 2 : Les limites des modèles actuels de valorisation des options réelles 136
 - I. Principaux obstacles à la valorisation des options réelles 136
 - II. Limites des modèles actuels de valorisation d'options réelles 141
 - II.1. Une simplification excessive des hypothèses de calcul 141
 - II.2. Une trop grande complexité pour être utilisés dans le monde de l'entreprise 145
- Conclusion du chapitre 150

Chapitre 4 – Présentation des méthodes de valorisation basées sur les simulations de Monte-Carlo 151

- Introduction 152
- Section 1 : Utilisation des simulations de Monte Carlo par les modèles actuels 153
 - I. Simulations de Monte Carlo et valorisation des options financières 153
 - I.1. Valorisation de l'option européenne 153
 - I.2. Valorisation des options de type américain 153
 - II. Simulations de Monte Carlo et valorisation des options réelles 160
 - II.1. La place des simulations de Monte Carlo dans la littérature sur les options réelles 160

- II.2. Intérêt des simulations de Monte Carlo pour valoriser les options réelles 161
- II.3. Une approche plus flexible, mais encore peu facile d'accès 163
- Section 2 : Proposition d'un modèle simplifié basé sur les simulations de Monte Carlo 165
 - I. Valorisation de l'option européenne par les simulations de Monte Carlo 165
 - Etape 1 : Modélisation des sources d'incertitude 166
 - Etape 2 : Simulations des valeurs possibles du projet à l'échéance de l'option 169
 - Etape 3 : Choix de la stratégie optimale à l'échéance, et calcul du pay-off 169
 - Etape 4 : Calcul de la valeur d'option 169
 - II. Valorisation de l'option américaine par les simulations de Monte Carlo 171
 - II.1. Simulation de l'évolution du sous-jacent dans le temps 171
 - II.2. Calcul de la valeur de l'option américaine 173
 - III. Valorisation de l'option composée par les simulations de Monte Carlo 173
 - III.1. Présentation de la méthode de valorisation de l'option composée 174
 - III.2. Application numérique 177
 - IV. Une piste de recherche future : la prise en compte d'une révélation de l'information progressive et partielle 178
 - Conclusion du chapitre 181

Partie III 186

Chapitre 5 – Etude de Cas « UMTS » 191

- Introduction 192
- Section 1 : Analyse stratégique de la décision d'investissement 194
 - I. La décision de lancement d'une nouvelle technologie : un arbitrage difficile entre engagement et flexibilité 194
 - I.1. Avantages et inconvénients du lancement rapide d'une nouvelle technologie 194
 - I.2. Les options réelles : un outil prometteur pour déterminer la date optimale d'investissement 195
 - II. Application : le cas du déploiement d'un réseau de téléphonie mobile 196
 - II.1. Contexte de la décision d'investissement étudiée 196
 - II.2. Analyse des alternatives possibles, et de leur rentabilité 197
 - II.3. Un investissement risqué : présentation des principales sources d'incertitude 198
 - III. Analyse optionnelle de la décision d'investissement 201
 - III.1. Principe de la démarche optionnelle 201
 - III.2. Caractéristiques de l'option étudiée dans le cadre du projet d'investissement « UMTS » 202
- Section 2 : Valorisation de l'option 204
 - I. Valorisation par le modèle de Black & Scholes 204
 - I.1. Détermination de la valeur des paramètres 204
 - I.2. Résultats numériques 205
 - II. Valorisation par le modèle binomial 206
 - III. Valorisation par les simulations de Monte Carlo 207
 - IV. Comparaison des résultats obtenus par les différentes méthodes de valorisation 209
 - IV.1. Qualité des résultats numériques obtenus 209
 - IV.2. Facilité d'utilisation et acceptabilité par les dirigeants 211
- Section 3 : Discussion : Apport des options réelles à la décision de lancement d'une nouvelle technologie 214
 - I. Une meilleure compréhension de la date optimale d'investissement 214
 - II. Un outil de dialogue entre les décisionnaires 215
 - III. Une réactivité accrue en cas d'évolution défavorable 216
 - III.1. Le biais « anti-échec » ou la difficulté à abandonner un projet 216
 - III.2. Une autre perspective du risque que les outils traditionnels d'aide à la décision 216
 - III.3. Des indicateurs pour accélérer la prise de décision 217
 - IV. Des lignes directrices pour améliorer le processus de décision si l'investissement est repoussé 218

Conclusion du chapitre 220	
Chapitre 6 – Etude de Cas « ADSL » 223	
Introduction 224	
Section 1: Analyse stratégique de la décision d'investissement 225	
I. Contexte 225	
II. Analyse de rentabilité et de risque du projet d'investissement 226	
III. Analyse optionnelle de la décision d'investissement 227	
III.1. Principe de la démarche optionnelle 227	
III.1. Caractéristiques de l'option étudiée 228	
Section 2 : Valorisation de l'option 230	
I. Valorisation de l'option par le modèle de Black et Scholes 230	
I.1. Détermination de la valeur des paramètres 230	
I.2. Résultats numériques 232	
II. Valorisation de l'option par le modèle binomial 234	
III. Valorisation de l'option par les simulations de Monte Carlo 236	
IV. Comparaison des méthodes de valorisation utilisées 237	
IV. 1. Facilité de mise en œuvre 237	
IV.2. Qualité des résultats numériques obtenus 238	
Section 3 : Discussion : Apport des options réelles à la décision d'investissement dans un réseau de télécommunications 240	
I. Une meilleure appréciation de la valeur du projet et de la date optimale d'investissement 240	
II. Un outil de communication, grâce à une compréhension plus claire de l'impact du risque sur la valeur du projet 242	
III. Anticipation du plan de charge des déploiements sur l'ensemble du territoire 243	
Conclusion du chapitre 246	
Chapitre 7 – Etude de Cas « R&D » 251	
Introduction 252	
Section 1: Présentation du contexte, et analyse optionnelle de la décision d'investissement 254	
I. Description du contexte et de la décision d'investissement 254	
I.1. La problématique de la gestion de l'identité 254	
I.2. Description de la décision d'investissement 259	
II. Analyse de la rentabilité du kit SSO 262	
III. Analyse de risque du projet d'investissement 263	
III.1. Analyses de sensibilité de la VAN 263	
III.2. Simulations de Monte Carlo sur la VAN 265	
IV. Analyse optionnelle de la décision d'investissement 266	
Section 2 : Valorisation de l'option 269	
I. Valorisation de l'option par la formule de Geske 269	
II. Valorisation de l'option par la méthode des arbres binomiaux 271	
III. Valorisation de l'option par les simulations de Monte Carlo 273	
IV.1. Détermination de la valeur des paramètres 273	
IV.2. Résultats 273	
IV. Comparaison des méthodes de valorisation d'option utilisées 274	
IV.1. Intérêt et limites des modèles « classiques » de valorisation de l'option composée 274	
IV.2. Intérêt et limites de la méthode de valorisation de l'option composée par les simulations de Monte Carlo 276	
Section 3 : Discussion : Apport des options réelles à la décision d'investissement dans la R&D 278	
I. Décision d'investissement à l'échelle du projet 278	
I.1. Une analyse plus adéquate de la décision d'abandon 278	
I.2. Une meilleure préparation de la décision future 279	
II. Décision d'investissement à l'échelle d'un portefeuille de projets 281	
Conclusion du chapitre 282	

Conclusion générale 289

- I. Rappel du cheminement de la thèse 290
- II. principales contributions de la thèse 290
- III. Pistes de recherche future 292

Annexes 295

- Annexe 1 : Description des outils complémentaires d'aide à la décision d'investissement étudiés dans l'enquête de Ryan & Ryan (2003) 297
- Annexe 2 : Liste des entreprises interrogées par Triantis et Borison (2001) sur leur expérience dans la pratique des options réelles 298
- Annexe 3 : Liste des revues ayant publié trois articles ou plus sur le thème des options réelles 299
- Annexe 4 : Modélisation des sources d'incertitude dans l'étude de cas du Chapitre 5 301
- Annexe 5 : Modélisation des sources d'incertitude dans l'étude de cas du Chapitre 6 305
- Annexe 6 : Prévision d'évolution des prix de vente dans l'étude de cas du Chapitre 6 306
- Annexe 7 : Modélisation des sources d'incertitude dans l'étude de cas du Chapitre 7 306

Table des matières 309

- Plan détaillé 310
- Liste des Tableaux 315
- Liste des Figures 317
- Liste des Encadrés 319

Références bibliographiques 321

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Analogie entre les options financières et les options réelles	23
Tableau 1.2 : Principales options d'investissement (et de désinvestissement).....	26
Tableau 1.3 : Principales options d'exploitation	26
Tableau 1.4 : Détail du taux d'utilisation des options réelles par les entreprises	30
Tableau 1.5. : Taux d'utilisation d'outils de management par les entreprises (Bain & Co.)	31
Tableau 1.6 : Outils utilisés par les entreprises françaises pour la sélection de projets d'investissement	32
Tableau 1.7. : Exemples d'entreprises ayant utilisé les options réelles.....	34
Tableau 1.8 : Classification par thème des articles publiés dans les revues de finance, économie et recherche opérationnelle / sciences du management.....	51
Tableau 1.9 : Principales problématiques optionnelles traitées dans les revues sectorielles.....	56
Tableau 1.10 : Principales problématiques optionnelles traitées dans les revues spécialisées dans certaines fonctions de l'entreprise	57
Tableau 2.1 : Fréquence des types de flexibilité dans les décisions d'investissement (en %)	71
Tableau 2.2 : Décision d'investissement étudiée suivant le type d'option réelle généré	78
Tableau 2.3 : Contributions possibles des options réelles suivant la phase dans le cycle de vie du projet	80
Tableau 2.4 : Principaux apports des options réelles comme philosophie d'investissement	83
Tableau 2.5 : Principales différences dans la gestion du risque des projets <i>R</i> et des projets <i>D</i>	94
Tableau 2.6 : Récapitulatif des options analysées dans l'étude des projets de déploiement	104
Tableau 2.7 : Récapitulatif des options analysées dans l'étude des projets « infrastructures ».....	105
Tableau 3.1 : Types d'option valorisés par les modèles en temps continu.....	118
Tableau 3.2 : Modèles de valorisation utilisés dans les études de cas publiées sur les options réelles	122
Tableau 3.3 : Différences entre options financières et options réelles	136
Tableau 4.1 : Impact du type d'incertitude sur la révélation d'information.....	178
Tableau I3 : Présentation des études de cas de la Partie III.....	188
Tableau 5.1: Prix d'attribution des licences UMTS dans les principaux pays européens	196
Tableau 5.2 : Comparaison de la VAN des différents scénarii (*).....	197
Tableau 5.3 : Analyse de sensibilité de la VAN du projet UMTS (scénario S0) au niveau de la demande (en UM).....	198
Tableau 5.4 : Résultat du calcul de VaR du projet UMTS	200
Tableau 5.5 : Valorisation de l'option UMTS par la formule de Black et Scholes	206
Tableau 5.6 : Valorisation de l'option UMTS par la méthode des arbres binomiaux	207
Tableau 5.7 : Valorisation de l'option UMTS et de l'option UMTS + EDGE par la méthode des simulations de Monte Carlo	208
Tableau 5.8 : Comparaison des résultats obtenus avec différentes méthodes de valorisation d'option	209

Tableau 5.9 : Comparaison des résultats du modèle des arbres binomiaux et du modèle de Black & Scholes	210
Tableau 5.10 : Impact de la valeur du prix d'exercice sur la valeur d'option	212
Tableau 5.11: Apports potentiels de l'analyse optionnelle au processus de décision d'investissement	214
Tableau 5.12 : Comparaison des résultats de la VAN et de l'approche optionnelle	215
Tableau 5.13 : Valeur des indicateurs permettant le déploiement du réseau UMTS	218
Tableau 6.1 : Calcul de la VAN du projet ADSL	226
Tableau 6.2 : Valorisation de l'option américaine par l'approximation de Black.....	233
Tableau 6.3 : Analyse de la sensibilité de la valeur d'option au taux de volatilité	233
Tableau 6.4 : Valorisation de l'option d'attente par le modèle binomial	235
Tableau 6.5 : Valorisation de l'option par les simulations de Monte Carlo.....	236
Tableau 6.6 : Sensibilité de la valeur de l'option américaine aux coefficients d'auto-corrélation.....	237
Tableau 6.7 : Récapitulatif des résultats obtenus par différents modèles de valorisation d'option.....	238
Tableau 6.8 : Apports potentiels de l'analyse optionnelle à la décision d'investissement.....	240
Tableau 7.1. : Détail de la VAN du kit SSO	262
Tableau 7.2 : Evolution du niveau d'incertitude	266
Tableau 7.3 : Valorisation de l'option composée par la formule de Geske.....	271
Tableau 7.4 : Impact de la volatilité sur la valeur de l'option calculée avec les arbres binomiaux	272
Tableau 7.5 : Variables incertaines retenues pour valoriser l'option composée	273
Tableau 7.6 : Valorisation de l'option composée par la méthode des simulations de Monte Carlo (UM)	274
Tableau 7.7 : Comparaison des valeurs d'option obtenues pour le kit SSO en fonction de la méthode utilisée	274
Tableau 7.8 : comparaison de la valeur de l'option européenne simple et de l'option composée	275
Tableau C3 : Principaux apports de l'analyse optionnelle à la décision stratégique identifiés dans les études de cas.....	287
Tableau A4.1. : Modélisation de la distribution des ARPU par technologie	301
Tableau A4.2 : Modélisation de la distribution des ARPU	301
Tableau A4.3 : Coefficients de corrélation entre les différents ARPU	302
Tableau A4.4 : Hypothèses concernant la vitesse de pénétration de l'UMTS (v).....	302
Tableau A4.5 : Hypothèses relatives aux stratégies possibles de Comptel	303
Tableau A7.1 : Distribution des variables incertaines.....	306
Tableau A7.2 : Hypothèses de corrélations entre les sources d'incertitude du kit SSO et du kit de partage d'attributs.....	307

LISTE DES FIGURES

Figure E1.1 : Gain généré par l'option d'achat suivant la valeur de l'action à l'échéance	22
Figure 1.1 : Evolution du nombre de publications sur les options réelles	27
Figure 1.2. : Techniques utilisées par les entreprises pour sélectionner les projets d'investissement (Graham & Harvey, 2001).....	29
Figure 1.3 : Taux d'utilisation d'outils d'aide à la décision d'investissement complémentaires (Ryan & Ryan, 2002)	30
Figure 1.4 : Principaux obstacles à l'utilisation des options réelles cités par 28 grands groupes pharmaceutiques.....	37
Figure 1.5 : Répartition des publications sur les options réelles par type de revue.....	40
Figure 1.6 : Principales revues ayant publié sur le thème des options réelles.....	41
Figure 1.7 : Détail par revue des articles sélectionnés pour l'analyse détaillée (154 articles)	44
Figure 1.8 : Principaux thèmes traités par les articles publiés dans les revues de stratégie	45
Figure 1.9 : Principaux thèmes traités par les articles publiés dans les revues d'économie, de finance, de recherche opérationnelle et sciences du management	49
Figure 1.10 : Cartographie de la littérature sur le thème « application des options réelles aux décisions d'investissement stratégiques » (118 articles).....	59
Figure 2.1 : Frontières d'application des options réelles par rapport à la VAN en fonction des caractéristiques du projet.....	68
Figure 2.2 : Frontières d'utilisation des options réelles et des opportunités « de dépendance de sentier »	72
Figure 2.3 : Importance de la valeur d'option dans la valeur totale du projet.....	74
Figure 2.4 : Comparaison de la VAN et de la valeur d'option.....	76
Figure 2.5 : Structure type d'un modèle de valorisation d'option dans la R&D	92
Figure 2.6 : Principaux leviers de flexibilité observés	96
Figure 2.7 : Moyens d'acquisition d'information suivant le type d'incertitude rencontré.....	98
Figure 2.8 : Nature de l'analyse optionnelle suivant les caractéristiques du projet.....	106
Figure 3.1. Panorama des modèles de valorisation d'option.....	117
Figure 3.2 : Modèles de valorisation d'options réelles utilisés par les grands groupes pharmaceutiques	120
Figure 3.3 : Principe de l'option composée.....	124
Figure 3.4 : Exemple de valorisation de l'option européenne (sans dividende).....	131
Figure 3.5 : Exemple de valorisation de l'option européenne (avec dividende)	132
Figure 3.6 : Exemple de valorisation de l'option de vente américaine par le modèle binomial.....	133
Figure 3.7 : Calcul de la valeur d'une option composée par la méthode des arbres binomiaux	134
Figure 4.1 : Simulation d'un arbre d'évolution du sous-jacent à trois branches	154
Figure 4.2 : Exemple de calcul de la valeur d'option américaine par le modèle de Broadie et Glasserman (estimateur haut).....	155
Figure 4.3 : Principe du calcul de l'estimateur bas.....	156

Figure 4.4: Exemple de valorisation d'option par le modèle de Longstaff et Schwartz.....	158
Figure 4.5. Représentation schématique de la méthode de valorisation d'une option réelle européenne par les simulations de Monte Carlo.....	166
Figure 4.6. : Exemple de représentation d'un business plan et de ses sources d'incertitude	167
Figure 4.7 : Lois de distribution de probabilité les plus courantes.....	168
Figure 4.8 : Représentation graphique du calcul de la valeur d'option par les simulations de Monte Carlo.....	170
Figure 4.9: Principale différence entre l'approche financière et l'approche simplifiée pour la valorisation d'option par les simulations de Monte Carlo.....	171
Figure 4.10 : Exemples d'évolution possible du sous-jacent	173
Figure 4.11 : Exemples d'arbre simulant l'évolution du sous-jacent	174
Figure 4.12 : Exemple de calcul de l'estimateur haut de l'option composée	176
Figure 4.13 : Exemple de valeur d'option composée obtenue par les simulations de Monte Carlo....	177
Figure 4.14: Impact de la révélation progressive d'information sur la valorisation de l'option américaine	180
Figure 5.1 : Distribution de la VAN du projet UMTS obtenue par les simulations de Monte Carlo (UM).....	201
Figure 5.2 : Exemple de valorisation de l'option « UMTS » par la méthode des arbres binomiaux ..	206
Figure 5.3 : Exemple d'une simulation, et du calcul du « pay-off » de l'option à l'échéance	208
Figure 5.4 : Construction de l'arbre d'évolution du sous-jacent (fig. 5.4a.) et distribution du sous-jacent à l'échéance (fig. 5.4b.).....	210
Figure 5.5 : Distribution de la valeur du sous-jacent à l'échéance suivant la méthode de valorisation d'option	211
Figure 5.6 : Analyse de la stratégie optimale à l'échéance de l'option	217
Figure 6.1 : Distribution de la VAN du projet obtenue par les simulations de Monte Carlo pour une subvention de 15,9 UM	227
Figure 6.2 : Comparaison de la distribution du sous-jacent obtenue par les simulations de Monte Carlo et par l'hypothèse d'un mouvement brownien géométrique (MBG)	232
Figure 6.3 : Valorisation de l'option américaine par le modèle binomial.....	234
Figure 6.4 : Comparaison du montant de subvention recommandé par la VAN et par l'analyse optionnelle.....	241
Figure 6.5 : Impact de la volatilité sur le montant minimum de subvention à négocier	243
Figure 6.6: Probabilité d'exercice de l'option suivant le montant de la subvention	244
Figure 6.7: Plan de charge prévisionnel de déploiement de l'ADSL (illustratif).....	245
Figure 7.1 : Principe de la fédération d'identité.....	255
Figure 7.2 : Principe du partage d'attributs	256
Figure 7.3. : Analyse de sensibilité de la VAN	264
Figure 7.4 : Résultats des simulations de Monte Carlo sur la VAN, et du calcul de VaR du projet ...	265
Figure 7.5 : Description de la valeur du kit SSO comme une option composée	267
Figure 7.6 : Rappel de la valeur des paramètres pour le modèle de Geske	269

Figure 7.7 : Analyse de la volatilité du sous-jacent par les simulations de Monte Carlo.....	270
Figure 7.8 : Valorisation de l’option composée par la méthode des arbres binomiaux.....	272
Figure 7.9 : Représentation simplifiée de l’enchaînement des projets sur une thématique de recherche	276
Figure 7.10 : Intérêt de la démarche optionnelle par rapport à d’autres outils d’aide à la décision	279
Figure 7.11 : Exemple d’indicateurs permettant de faciliter la prise de décision.....	280
Figure A4.1 : Modélisation de la distribution de l’ARPU voix 2G.....	302
Figure A4.2 : Représentation graphique des vitesses de pénétration retenues	303
Figure A4.3 : Hypothèses concernant la date d’émergence de la « 4G ».....	304

LISTE DES ENCADRES

Encadré 1.1 : Définition d’une option financière	22
Encadré 1.2 : Les options réelles : Un outil permettant de valoriser la flexibilité managériale	25
Encadré 2.1 : Méthodologie : Diagnostic dans le département R&D d’un opérateur de télécommunications	95
Encadré 3.1 : Principales caractéristiques d’une option déterminant le modèle de valorisation approprié	124
Encadré 3.2 : Impact du dividende sur la valeur de l’option.....	129
Encadré 5.1 : Méthodologie suivie pour l’étude de cas du Chapitre 5	193
Encadré 6.1 : Méthodologie suivie pour l’étude de cas du Chapitre 6.....	225
Encadré 7.1 : Méthodologie suivie pour l’étude de cas du Chapitre 7	253
Encadré 7.2 : Identity Management : “When it comes to deployment, think small”	261

*Références
bibliographiques*

- Adner, R., Levinthal, D. A. 2004a. Real options and real tradeoffs. *Academy of Management Review* **29**(1): 120-126
- Adner, R., Levinthal, D. A. 2004b. What is not a real option: Considering boundaries for the application of real options to business strategy. *Academy of Management Review* **29**(1): 74-85
- Aguerrevere, F. L. 2003. Equilibrium investment strategies and output price behavior: A real-options approach. *Review of Financial Studies* **16**(4): 1239-1272
- Aharoni, Y. 1966. *The foreign investment decision process*. Harvard University Press
- Aizenman, J. 2004. Endogenous pricing to market and financing costs. *Journal of Monetary Economics* **51**(4): 691
- Alleman, J. 2002. A new view of telecommunications economics., *Telecommunications policy*, Vol. 26: 87
- Alvarez, L. H. R., Keppo, J. 2002. The impact of delivery lags on irreversible investment under uncertainty. *European Journal of Operational Research* **136**(1): 173-180
- Alvarez, L. H. R., Stenbacka, R. 2003. Optimal risk adoption: A real options approach. *Economic Theory* **23**(1): 123-147
- Amram, M., Kulatilaka, N. 1999. *Real options : Managing strategic investment in an uncertain world*. Harvard Business School Press: Cambridge, MA
- Amram, M., Kulatilaka, N. 2000. Strategy and shareholder value creation: The real options frontier. *Journal of Applied Corporate Finance* **13**(2)
- Andersen, L., Broadie, M. 2004. Primal-dual simulation algorithm for pricing multidimensional american options., *Management Science*, Vol. 50: 1222-1234. INFORMS: Institute for Operations Research
- Andreou, S. A. 1990. A capital budgeting model for product-mix flexibility. *Journal of Manufacturing and Operations Management* **3**: 5-23
- Appelbaum, E., Lim, C. 1985. Contestable markets under uncertainty. *RAND Journal of Economics* **16**(1): 28-40
- Arnold, G. C., Hatzopoulos, P. D. 2000. The theory-practice gap in capital budgeting: Evidence from the united kingdom. *Journal of Business Finance & Accounting* **27**(5/6): 603
- Astley, W. G., Axelsson, R., Butler, R. J., Hickson, D. J., Wilson, D. C. 1982. Complexity and cleavage: Dual explanations of strategic decision-making. *Journal of Management Studies* **19**(4): 357-375
- Attneave, F. 1959. *Applications of information theory to psychology*. Henry Holt: New-York
- Bar-Ilan, A., Strange, W. C. 1996. Investment lags. *American Economic Review* **86**(3): 610
- Bardhan, I., Bagchi, S., Sougstad, R. 2004. Prioritizing a portfolio of information technology investment projects. *Journal of Management Information Systems* **21**(2): 33-60
- Barraquand, J., Martineau, D. 1995. Numerical valuation of high dimensional multivariate american securities. *Journal of Financial & Quantitative Analysis* **30**(3): 383

- Bellalah, M. 2001. Irreversibility, sunk costs and investment under incomplete information. *R&D Management* **31**(2)
- Benaroch, M. 2002. Managing information technology investment risk: A real options perspective. *Journal of Management Information Systems* **19**(2): pp. 43-84
- Benaroch, M., Kauffman, R. 1999. A case for using real options pricing analysis to evaluate information technology project investments. *Information Systems Research* **10**(1): 70-86
- Benaroch, M., Kauffman, R. J. 2000. Justifying electronic banking network expansion using real options analysis. *MIS Quarterly* **24**(2): 197-225
- Benaroch, M., Shah, S., Jeffery, M. 2006. On the valuation of multistage information technology investments embedding nested real options. *Journal of Management Information Systems* **23**(1): 239-261
- Bengtsson, J., Olhager, J. 2002. Valuation of product-mix flexibility using real options. *International Journal of Production Economics* **78**(1): 13-28
- Bergemann, D., Hege, U. 1998. Venture capital financing, moral hazard, and learning. *Journal of Banking & Finance* **22**(6-8): 703-735
- Berger, P. G., Ofek, E., Swary, I. 1996. Investor valuation of the abandonment option. *Journal of Financial Economics* **42**(2): 257-287
- Bernardo, A. E., Chowdhry, B. 2002. Resources, real options, and corporate strategy. *Journal of Financial Economics* **63**(2): 211-234
- Black, F., Scholes, M. 1973. The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy* **81**(3): 637
- Bloom, N., Bond, S., Van Reenen, J. 2007. Uncertainty and investment dynamics. *Review of Economic Studies* **74**(2): 391-415
- Bloom, N., Van Reenen, J. 2002. Patents, real options and firm performance. *Economic Journal* **112**(478): C97
- Boer, F. P. 2002. Financial management of R&D 2002. *Research Technology Management* **45**(4): 23
- Boer, F. P. 2003. Risk-adjusted valuation of R&D projects. *Research Technology Management* **46**(5): 50-58
- Bollen, N. P. B. 1999. Real options and product life cycles. *Management Science* **45**(5): 670
- Borison, A. 2005. Real options analysis: Where are the emperor's clothes? *Journal of Applied Corporate Finance* **17**(2): 17-31
- Borison, A., Eapen, G., Mauboussin, M., McCormack, J. 2003. University of maryland roundtable on real options and corporate practice. *Journal of Applied Corporate Finance* **15**(2): 8
- Boudreau, M.-C., Robey, D. 2005. Enacting integrated information technology: A human agency perspective. *Organization Science* **16**(1): 3-18

- Bowe, M., Lee, D. L. 2004. Project evaluation in the presence of multiple embedded real options: Evidence from the taiwan high-speed rail project. *Journal of Asian Economics* **15**(1): 71
- Bower, J. L. 1970. *Managing the resource allocation process*. Harvard Business School Press: Boston
- Bowman, E. H., Hurry, D. 1993. Strategy through the option lens: An integrated view of resource investments and the incremental-choice process. *Academy of Management Review* **18**(4): 760
- Bowman, E. H., Moskowitz, G. T. 2001. Real options analysis and strategic decision making. *Organization Science* **12**(6): 772
- Boyarchenko, S. 2004. Irreversible decisions and record-setting news principles. *American Economic Review* **94**(3): 557-568
- Boyer, M., Lasserre, P., Mariotti, T., Moreaux, M. 2004. Preemption and rent dissipation under price competition. *International Journal of Industrial Organization* **22**(3): 309
- Boyle, P. P. 1977. Options: A monte carlo approach. *Journal of Financial Economics* **4**: pp. 323-338
- Brealey, R., Myers, S. 2000. *Principles of corporate finance* (6th Edition). Irwin McGraw-Hill: Boston, MA
- Brennan, M. J., Schwartz, E. S. 1977. Finite difference methods and jump processes arising in the pricing of contingent claims: A synthesis. *Journal of Financial & Quantitative Analysis* **12**(4)
- Brennan, M. J., Schwartz, E. S. 1985. Evaluating natural resource investments. *Journal of Business* **58**(2): 135-157
- Broadie, M., Glasserman, P. 1997. Pricing american-style securities using simulation. *Journal of Economic Dynamics & Control* **21**: pp. 1323-1352
- Brunsson, N. 1990. Deciding for responsibility and legitimation: Alternative interpretations of organizational decision-making. *Accounting, Organizations & Society* **15**(1/2): 47-59
- Busby, J. S., Pitts, C. 1997. Real options in practice: An exploratory survey of how finance officers deal with flexibility in capital appraisal. *Management Accounting Research* **8**(2): pg. 169, 118 pgs
- Butler, R., Davies, L., Pike, R., Sharp, J. 1991. Strategic investment decision-making: Complexities, politics and processes. *Journal of Management Studies* **28**(4): 395-415
- Carlsson, B. 1989. Flexibility and the theory of the firm *International Journal Of Industrial Organization* **7**(2): pp. 179-203
- Carr, C., Tomkins, C., Bayliss, B. 1994. *Strategic investment decisions: A comparison of uk and german practices in the motor components industry*. Avebury: Aldershot
- Carr, P. 1988. The valuation of sequential exchange opportunities. *Journal of Finance* **43**(5): pp. 1235-1256
- Carter, R., Edwards, D. 2001. Financial analysis extends management of r&d. (cover story). *Research Technology Management* **44**(5): 47
- Cassiman, B., Ueda, M. 2006. Optimal project rejection and new firm start-ups. *Management Science* **52**(2): 262-275

- Cassimon, D., Engelen, P. J., Thomassen, L., Van Wouwe, M. 2004. The valuation of a nda using a 6-fold compound option. *Research Policy* **33**(1): 41
- Chen, H., Hu, M. Y. 1991. The wealth effect of international joint ventures: The case of u.S. Investment in china. *Financial Management* **20**(4): 31
- Chen, P. F., Zhang, G. 2003. Heterogeneous investment opportunities in multiple-segment firms and the incremental value relevance of segment accounting data. *Accounting Review* **78**(2): 397
- Chen, P. F., Zhang, G. 2007. Segment profitability, misvaluation, and corporate divestment. *Accounting Review* **82**(1): 1-26
- Chi, T. 2000. Option to acquire or divest a joint venture. *Strategic Management Journal* **21**(6): 665
- Childs, P. D., Mauer, D. C., Ott, S. H. 2005. Interactions of corporate financing and investment decisions: The effects of agency conflicts. *Journal of Financial Economics* **76**(3): 667-690
- Childs, P. D., Ott, S. H., Triantis, A. J. 1998. Capital budgeting for interrelated projects: A real options approach. *Journal of Financial & Quantitative Analysis* **33**(3): 305
- Childs, P. D., Triantis, A. J. 1999. Dynamic r&d investment policies. *Management Science* **45**(10): 1359
- Chorn, L. G., Shokhor, S. 2006. Real options for risk management in petroleum development investments. *Energy Economics* **28**(4): 489-505
- Coff, R. 2007. Is embeddedness optional? Integrating social capital and real option theories. *Working paper*, Emory University
- Coff, R. W., Laverty, K. J. 2001. Real options on knowledge assets: Panacea or pandora's box? *Business Horizons* **44**(6): 73
- Cohendet, P., Llerena, P. 1989. Flexibilité, risque et incertitude dans la théorie de la firme: Un survey, *Flexibilité, information et décision*. Economica: Paris
- Colleau, O., Rigby, D. 2001. Tirer tout le profit des outils de gestion, *L'Expansion Management Review*: pp. 75-80
- Conrad, J. M., Kotani, K. 2005. When to drill? Trigger prices for the arctic national wildlife refuge. *Resource & Energy Economics* **27**(4): 273-286
- Cooper, I. 2006. Asset pricing implications of nonconvex adjustment costs and irreversibility of investment. *Journal of Finance* **61**(1): 139-170
- Copeland, T., Antikarov, V. 2001. *Real options - a practioner's guide*. Texere: New-York - London
- Copeland, T., Keenan, P. 1998. How much is flexibility worth ? *McKinsey Quarterly*(2): pp. 38-49
- Cornelius, P., Van de Putte, A., Romani, M. 2005. Three decades of scenario planning in shell. *California Management Review* **48**(1): 92-109
- Cortazar, G., Casassus, J. 1998. Optimal timing of a mine expansion: Implementing a real options model. *Quarterly Review of Economics & Finance* **38**(4): 755

- Cortazar, G., Schwartz, E. S. 1993. A compound option model of production and intermediate inventories. *Journal of Business* **66**(4): 517
- Cortazar, G., Schwartz, E. S. 1997. Implementing a real option model for valuing an undeveloped oil field. *International Transactions in Operational Research* **4**(2): 125
- Cortazar, G., Schwartz, E. S. 1998. Monte carlo evaluation model of an undeveloped oil field. *Journal of Energy Finance & Development* **3**(1): 73-84
- Cortazar, G., Schwartz, E. S., Salinas, M. 1998. Evaluating environmental investments: A real options approach. *Management Science* **44**(8): 1059
- Coy, P. 1999. Exploiting uncertainty : The 'real-options' revolution in decision making, *Business Week*:
- d'Halluin, Y., Forsyth, P. A., Vetzal, K. R. 2007. Wireless network capacity management: A real options approach. *European Journal of Operational Research* **176**(1): 584-609
- Damodaran, A. 2000. The promise of real options. *Journal of Applied Corporate Finance* **13**(2)
- Dangl, T. 1999. Investment and capacity choice under uncertain demand. *European Journal of Operational Research* **117**(3): 415-428
- Das, T. K., Elango, B. 1995. Managing strategic flexibility: Key to effective performance. *Journal of General Management* **20**(3): 60-75
- Datar, V., Mathews, S. 2004. European real options: An intuitive algorithm for the black- scholes formula. *Journal of Applied Finance* **14**(1): 45-51
- Davis, C. R. 2002. Calculated risk: A framework for evaluating product development. *Sloan Management Review* **43**(4): 71
- Davis, G. A. 1998. Estimating volatility and dividend yield when valuing real options to invest or abandon. *Quarterly Review of Economics & Finance* **38**(Special issue): pp. 725-754
- De Bodt, E., Bouquin, H. 2001. Le contrôle de l'investissement. In G Charreaux (Ed.), *Images de l'investissement - au-delà de l'évaluation financière: Une lecture organisationnelle et stratégique*: 115-166. Vuibert
- Décamps, J.-P., Mariotti, T. 2004. Investment timing and learning externalities. *Journal of Economic Theory* **118**(1): 80-102
- del Sol, P., Ghemawat, P. 1999. Strategic valuation of investment under competition. *Interfaces* **29**(6): 42-56
- Deng, S.-J., Xia, Z. 2006. A real options approach for pricing electricity tolling agreements. *International Journal of Information Technology & Decision Making* **5**(3): 421-436
- Deng, S., Johnson, B., Sogomonian, A. 1998. Exotic electricity options and the valuation of electricity generation and transmission, *Chicago Risk Management Conference*: Chicago, IL.
- Dias, M. A. G., Rivera, M. A. 2004. Real options valuation in energy investment projects: Modeling hedging strategies using genetic algorithm softwares. *Problems & Perspectives in Management* **2004**(1): 234-247

- Dixit, A. 1989. Entry and exit decisions under uncertainty. *Journal of Political Economy* **97**(3): 620-638
- Dixit, A. 1992. Investment and hysteresis. *Journal of Economic Perspectives* **6**(1): 107
- Dixit, A. 1995. Irreversible investment with uncertainty and scale economies. *Journal of Economic Dynamics & Control* **19**(1/2): 327
- Dixit, A., Pindyck, R. S. 1994. *Investment under uncertainty*. Princeton University Press: Princeton, NJ
- Doh, J. P., Pearce II, J. A. 2004. Corporate entrepreneurship and real options in transitional policy environments: Theory development. *Journal of Management Studies* **41**(4): 645-664
- Durand, R., Gomez, P.-Y., Monin, P. 2002. Le management stratégique face à la théorie des options. *Revue française de gestion* **160**(137): 25-40
- Fayol, H. 1916. *L'administration industrielle et générale, bulletin de la société de l'industrie minérale* (réédition, Dunod, 1976 ed.)
- Fichman, R. G. 2004. Real options and it platform adoption: Implications for theory and practice. *Information Systems Research* **15**(2): 132-154
- Fichman, R. G., Keil, M., Tiwana, A. 2005. Beyond valuation: "Options thinking" In it project management. *California Management Review* **47**(2): 74-96
- Folta, T. B. 1998. Governance and uncertainty: The tradeoff between administrative control and commitment. *Strategic Management Journal* **19**(11): 1007
- Folta, T. B., Miller, K. D. 2002. Real options in equity partnerships. *Strategic Management Journal* **23**(1): 77
- Folta, T. B., O'Brien, J. P. 2004. Entry in the presence of dueling options. *Strategic Management Journal* **25**(2): 121-138
- Fox, I., Marcus, A. 1992. The causes and consequences of leveraged management buyouts. *Academy of Management Review* **17**(1): pp. 62-85
- Garman, M. B., Kohlhagen, S. W. 1980. Inflation and foreign exchange rates under production and monetary uncertainty. *Journal of Financial & Quantitative Analysis* **15**(4)
- Garner, W. R. 1962. *Uncertainty and structure as psychological concepts*. Willey: New-York
- Garvin, M. J., Cheah, C. Y. J. 2004. Valuation techniques for infrastructure investment decisions. *Construction Management & Economics* **22**(4): 373-383
- Gertner, R., Rosenfield, A. 1999. How real options lead to better decisions, *Financial Times*:
- Geske, R., Shastri, K. 1985. Valuation by approximation: A comparison of alternative option valuation techniques. *Journal of Financial & Quantitative Analysis* **20**(1): 45
- Ghemawat, P. 1991. *Commitment: The dynamics of strategy*. Free Press: New York
- Goffin, R. 1995. Options réelles sur maximum ou minimum. *Banques & Marchés*(18-19)

- Goffin, R. 1996. Options réelles sur maximum ou minimum avec prix d'exercice risqué. *Banques & Marchés*(22)
- Goffin, R. 1999. *Principes de finance moderne* (2^{ème} édition ed.). Economica
- Graham, J., Harvey, C. 2001. The theory and practice of corporate finance: Evidence from the field. *Journal of Financial Economics* **60**: 187-243
- Grant, D., Vora, G., Weeks, D. 1997. Path-dependent options: Extending the monte carlo simulation approach. *Management Science* **43**(11): 1589
- Greden, L., Glicksman, L. 2005. A real options model for valuing flexible space. *Journal of Corporate Real Estate* **7**(1): 34-48
- Grenadier, S. R. 1995. Valuing lease contracts a real-options approach. *Journal of Financial Economics* **38**(3): 297-331
- Grenadier, S. R. 1996. The strategic exercise of options: Development cascades and overbuilding in real estate markets. *Journal of Finance* **51**(5): 1653-1679
- Grenadier, S. R. 2000. Option exercise games: The intersection of real options and game theory. *Journal of Applied Corporate Finance* **13**(2): 99-107
- Grenadier, S. R. 2002. Option exercise games: An application to the equilibrium investment strategies of firms. *Review of Financial Studies* **15**(3): 691-721
- Grenadier, S. R., Wang, N. 2005. Investment timing, agency, and information. *Journal of Financial Economics* **75**(3): 493-533
- Grenadier, S. R., Wang, N. 2007. Investment under uncertainty and time-inconsistent preferences. *Journal of Financial Economics* **84**(1): 2-39
- Grenadier, S. R., Weiss, A. M. 1997. Investment in technological innovation: An option pricing approach. *Journal of Financial Economics* **44**(3): 397-416
- Grundy, T., Johnson, G. 1993. Managers' perspectives on making major investment decisions: The problem of linking strategic and financial appraisal. *British Journal of Management* **4**(4): 253
- Guo, X., Miao, J., Morellec, E. 2005. Irreversible investment with regime shifts. *Journal of Economic Theory* **122**(1): 37-59
- Haenlein, M., Kaplan, A. 2006. Valuing the real option of abandoning unprofitable customers when calculating customer lifetime value. *Journal of Marketing* **70**(3): 5-20
- Harchaoui, T. M., Lasserre, P. 2001. Testing the option value theory of irreversible investment. *International Economic Review* **42**(1): 141
- Harmantzis, F. C., Tanguturi, V. P. 2007. Investment decisions in the wireless industry applying real options. *Telecommunications Policy* **31**(2): 107-123
- Hartmann, M., Hassan, A. 2006. Application of real options analysis for pharmaceutical r&d project valuation - empirical results from a survey. *Research Policy* **35**(3): 343-354
- Henderson, V., Hobson, D. G. 2002. Real options with constant relative risk aversion. *Journal of Economic Dynamics & Control* **27**(2): 329

- Hennessey, C. A. 2004. Tobin's q, debt overhang, and investment. *Journal of Finance* **59**(4): 1717-1742
- Hickson, D. J., Butler, R. J., Cray, D., Mallory, G. R., Wilson, D. C. 1986. *Top decisions: Strategic decision-making in organizations*. Oxford: Blackwell; San Francisco: Jossey-Bass
- Hickson, D. J., Butler, R. J., Cray, D., Mallory, G. R., Wilson, D. C. 1989. Decision and organization - processes of strategic decision making and their explanation. *Public Administration* **67**(4): 373-390
- Hilliard, J. E., Schwartz, A. 2005. Pricing european and american derivatives under a jump-diffusion process: A bivariate tree approach. *Journal of Financial & Quantitative Analysis* **40**(3): 671-691
- Holt, R. W. P. 2003. Investment and dividends under irreversibility and financial constraints. *Journal of Economic Dynamics & Control* **27**(3): 467
- Howell, S., Jäggle, A. 1997. Laboratory evidence on how managers intuitively value real growth options. *Journal of Business Finance & Accounting* **24**(7,8): pp. 915-935
- Hsu, M. 1998. Spark spread options are hot ! *Electricity Journal* **11**: 28-39
- Huchzermeier, A., Loch, C. H. 2001. Project management under risk: Using the real options approach to evaluate flexibility in r&d. *Management Science* **47**(1): 85
- Hugonnier, J., Morellec, E. 2007. Corporate control and real investment in incomplete markets. *Journal of Economic Dynamics & Control* **31**(5): 1781-1800
- Huisman, K. J. M., Kort, P. M. 2004. Strategic technology adoption taking into account future technological improvements: A real options approach. *European Journal of Operational Research* **159**(3): 705-728
- Hurry, D., Miller, A. T., Bowman, E. H. 1992. Calls on high-technology: Japanese exploration of venture capital investments in the united states. *Strategic Management Journal* **13**(2): 85-101
- Iatropoulos, A. D., Economides, A. A., Angelou, G. N. 2004. Broadband investments analysis using real options methodology - a case study for egnatia odos s.A. *Communications & Stratégies*(55): 45-75
- Ibañez, A. 2004. Valuation by simulation of contingent claims with multiple early exercise opportunities. *Mathematical Finance* **14**(2): 223-248
- Ibañez, A., Zapatero, F. 2004. Monte carlo valuation of american options through computation of the optimal exercise frontier. *Journal of Financial & Quantitative Analysis* **39**(2): 253-275
- Ingersoll Jr., J. E., Ross, S. A. 1992. Waiting to invest: Investment and uncertainty. *Journal of Business* **65**(1): 1
- Insley, M. 2002. A real options approach to the valuation of a forestry investment. *Journal of Environmental Economics & Management* **44**(3): 471
- Iyer, S., Velu, C. 2006. Real options and demographic decisions. *Journal of Development Economics* **80**(1): 39-58
- Jacquet, D. 2001. Les options réelles, une approche financière pour l'innovation, *Encyclopédie de l'innovation*: 233-253

- Jaeger, M. 1996. Le concept et les modèles d'évaluation d'options réelles : Domaine, enjeux et limites. *Economie et Société, Série S.G.* **10**(22): pp. 33-60
- Jensen, K., Warren, P. 2001. The use of options theory to value research in the service sector. *R&D Management* **31**(2)
- Joaquin, D. C., Khanna, N. 2001. Investment timing decisions under threat of potential competition: Why firm size matters. *Quarterly Review of Economics & Finance* **41**(1): 1-17
- Johnson, H. 1987. Options on the maximum or the minimum of several assets. *Journal of Financial & Quantitative Analysis* **22**(3): 277
- Kahneman, D., Slovik, P., Tversky, A. 1982. *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. Cambridge University Press: Cambridge, MA
- Kallapur, S., Eldenburg, L. 2005. Uncertainty, real options, and cost behavior: Evidence from washington state hospitals. *Journal of Accounting Research* **43**(5): 735-715
- Kamrad, B. 1995. A lattice claims model for capital budgeting. *IEEE Transactions on Engineering Management* **42**(2): pg. 140, 110 pgs
- Kasanen, E. 1993. Creating value by spawning investment opportunities. *Financial Management* **22**(3): 251-258
- Kemna, A. G. Z. 1993. Case studies on real options. *Financial Management* **22**(3): 259-270
- Keppo, J. 2005. Pricing of point-to-point bandwidth contracts. *Mathematical Methods of Operations Research* **61**(2): 191-218
- Keppo, J., Lu, H. 2003. Real options and a large producer: The case of electricity markets. *Energy Economics* **25**(5): 459
- Kester, W. 1984. Today's options for tomorrow's growth. *Harvard Business Review*: pp. 153-160
- Knight, F. 1971. *Risk, uncertainty and profit* (Edition originale: Houghton-Mifflin, Boston, MA, 1921 ed.). University of Chicago: Chicago, IL
- Kogut, B. 1985. Designing global strategies: Profiting from operational flexibility. *Sloan Management Review* **27**(1)
- Kogut, B. 1991. Joint ventures and the option to expand and acquire. *Management Science* **37**(1): 19-33
- Kogut, B., Kulatilaka, N. 2004. Real options pricing and organizations: The contingent risks of extended theoretical domains. *Academy of Management Review* **29**(1): 102-110
- Kong, J. J., Kwok, Y. K. 2007. Real options in strategic investment games between two asymmetric firms. *European Journal of Operational Research* **181**(2): 967-985
- Kulatilaka, N. 1993. The value of flexibility: The case of a dual-fuel industrial steam boiler. *Financial Management* **22**(3): 271-280
- Kulatilaka, N. 1995. The value of flexibility: A general model of real options. In L. Trigeorgis (Ed.), *Real options in capital investment: Models, strategies, and application*. Praeger: New-York

- Kulatilaka, N., Perotti, E. C. 1998. Strategic growth options. *Management Science* **44**(8): 1021
- Kumar, M. V. S. 2005. The value from acquiring and divesting a joint venture: A real options approach. *Strategic Management Journal* **26**(4): 321-331
- Lambrecht, B., Perraudin, W. 2003. Real options and preemption under incomplete information. *Journal of Economic Dynamics & Control* **27**(4): 619-643
- Lambrecht, B. M., Myers, S. C. 2007. A theory of takeovers and disinvestment. *Journal of Finance* **62**(2): 809-845
- Lander, D. M. 2000. Do foregone earnings matter when modeling and valuing real options?: A black-scholes teaching exercise. *Financial Practice & Education* **10**(2): 121-127
- Lander, D. M., Pinches, G. E. 1998. Challenges to the practical implementation of modeling and valuing real options. *Quarterly Review of Economics & Finance* **38**(4): 537
- Laughton, D. G. 1998. The management of flexibility in the upstream petroleum industry. *Energy Journal* **19**(1): 83
- Laughton, D. G., Jacoby, H. D. 1993. Reversion, timing options, and long-term decision-making. *Financial Management* **22**(3): 225
- Laurikka, H. 2006. Option value of gasification technology within an emissions trading scheme. *Energy Policy* **34**(18): 3916-3928
- Laurikka, H., Koljonen, T. 2006. Emissions trading and investment decisions in the power sector -- a case study in finland. *Energy Policy* **34**(9): 1063-1074
- Lawrence, P. R., Lorsch, J. W. 1967. Differentiation and integration in complex organizations. *Administrative Science Quarterly* **12**(1): 1
- Lee, C. J. 1988. Capital budgeting under uncertainty: The issue of optimal timing. *Journal of Business Finance & Accounting* **15**(2): 155-168
- Lee, S.-H., Peng, M. W., Barney, J. B. 2007. Bankruptcy law and entrepreneurship development: A real options perspective. *Academy of Management Review* **32**(1): 257-272
- Lee, T. 2004. Determinants of the foreign equity share of international joint ventures. *Journal of Economic Dynamics & Control* **28**(11): 2261-2275
- Leiblein, M. J. 2003. The choice of organizational governance form and performance: Predictions from transaction cost, resource-based, and real options theories. *Journal of Management* **29**(6): 937
- Leiblein, M. J., Miller, D. J. 2003. An empirical examination of transaction- and firm-level influences on the vertical boundaries of the firm. *Strategic Management Journal* **24**(9): 839
- Leslie, P., Michaels, M. 1997. The real power of real options. *McKinsey Quarterly*(3): pp. 5-22
- Lieberman, M. B., Montgomery, D. B. 1988. First-mover advantages. *Strategic Management Journal* **9**: 41-58
- Lin, T. T., Ko, C.-C., Yeh, H.-N. 2007. Applying real options in investment decisions relating to environmental pollution. *Energy Policy* **35**(4): 2426-2432

- Lindset, S. 2007. Pricing american exchange options in a jump-diffusion model. *Journal of Futures Markets* **27**(3): 257-273
- Lint, O., Pennings, E. 1998. R&d as an option on market introduction. *R&D Management* **28**(4): 279
- Lint, O., Pennings, E. 1999. Finance and strategy: Time-to-wait or time-to-market? *Long Range Planning* **32**(5): 483-493
- Longstaff, F. A., Schwartz, E. S. 2001. Valuing american options by simulation: A simple least-squares approach. *Review of Financial Studies* **14**(1)
- Loubergé, H., Villeneuve, S., Chesney, M. 2002. Long-term risk management of nuclear waste: A real options approach. *Journal of Economic Dynamics & Control* **27**(1): 157
- Luehrman, T. 1997. What's it worth ? A general manager's guide to valuation. *Harvard Business Review*: pp. 132-142
- Luehrman, T. 1998. Investment opportunities as real options : Getting started on the numbers. *Harvard Business Review*: pp. 51-67
- Madlener, R., Kumbaroglu, G., Ediger, V. S. 2005. Modeling technology adoption as an irreversible investment under uncertainty: The case of the turkish electricity supply industry. *Energy Economics* **27**(1): 139-163
- Majd, S., Pindyck, R. S. 1987. Time to build, option value, and investment decisions. *Journal of Financial Economics* **18**(1): 7-27
- Maklan, S., Knox, S., Ryals, L. 2005. Using real options to help build the business case for crm investment. *Long Range Planning* **38**(4): 393-410
- Malchow-Moller, N., Thorsen, B. J. 2005. Repeated real options: Optimal investment behaviour and a good rule of thumb. *Journal of Economic Dynamics & Control* **29**(6): 1025-1041
- March, J. G., Shapira, Z. 1987. Managerial perspectives on risk and risk taking. *Management Science* **33**(11): 1404-1418
- Margrabe, W. 1978. The value of an option to exchange one asset for another. *Journal of Finance* **33**(1): 177
- Marreco, J. d. M., Carpio, L. G. T. 2006. Flexibility valuation in the brazilian power system: A real options approach. *Energy Policy* **34**(18): 3749-3756
- Marschak, T., Nelson, R. R. 1962. Flexibility, uncertainty, and economic theory. *Metroeconomica* **XIV**: 42-58
- Martzoukos, S. H., Trigeorgis, L. 2002. Real (investment) options with multiple sources of rare events. *European Journal of Operational Research* **136**(3): 696-706
- Mauer, D. C., Sarkar, S. 2005. Real options, agency conflicts, and optimal capital structure. *Journal of Banking & Finance* **29**(6): 1405-1428
- McCormack, J., LeBlanc, R., Heiser, C. 2003. Turning risk into shareholder wealth in the petroleum industry. *Journal of Applied Corporate Finance* **15**(2): 67

- McDonald, R., Siegel, D. 1986. The value of waiting to invest. *Quarterly Journal of Economics* **101**(4): 707-727
- McDonald, R. L., Siegel, D. R. 1985. Investment and the valuation of firms when there is an option to shut down. *International Economic Review* **26**(2): 331
- McGahan, A. M. 1993. The effect of incomplete information about demand on preemption. *International Journal Of Industrial Organization* **11**(3): 327-346
- McGrath, R. G. 1997. A real options logic for initiating technology positioning investments. *Academy of Management Review* **22**(4): 974-996
- McGrath, R. G. 1999. Falling forward: Real options reasoning and entrepreneurial failure. *Academy of Management Review* **24**(1): 13-30
- McGrath, R. G., Ferrier, W. J., Mendelow, A. L. 2004. Real options as engines of choice and heterogeneity. *Academy of Management Review* **29**(1): 86-101
- McGrath, R. G., Nerkar, A. 2004. Real options reasoning and a new look at the r&d investment strategies of pharmaceutical firms. *Strategic Management Journal* **25**(1): 1-22
- McLaughlin, R., Taggart Jr., R. A. 1992. The opportunity cost of using excess capacity. *Financial Management* **21**(2): 12
- McNulty, J. J., Yeh, T. D., Schulze, William S., Lubatkin, M. H. 2002. What's your real cost of capital? *Harvard Business Review* **80**(10): 114
- Meier, H., Christofides, N., Salkin, G. 2001. Capital budgeting under uncertainty--an integrated approach using contingent claims analysis and integer programming. *Operations Research* **49**(2): 196
- Merton, R. C. 1973. Theory of rational option pricing. *Bell Journal of Economics & Management Science* **4**(1): 141
- Merton, R. C. 1976. Option pricing when underlying stock returns are discontinuous. *Journal of Financial Economics* **3**(1/2): 125-144
- Merton, R. C. 1998. Applications of option-pricing theory: Twenty-five years later. *American Economic Review* **88**(3): 323-349
- Miller, K. D. 1998. Economic exposure and integrated risk management. *Strategic Management Journal* **19**(5): 497
- Miller, K. D. 2002. Knowledge inventories and managerial myopia. *Strategic Management Journal* **23**(8): 689-706
- Miller, K. D., Arikian, A. T. 2004. Technology search investments: Evolutionary, option reasoning, and option pricing approaches. *Strategic Management Journal* **25**(5): 473-485
- Miller, K. D., Folta, T. B. 2002. Option value and entry timing. *Strategic Management Journal* **23**(7): 655
- Miller, K. D., Reuer, J. J. 1998. Asymmetric corporate exposures to foreign exchange rate changes. *Strategic Management Journal* **19**(12): 1183

- Miller, K. D., Shapira, Z. 2004. An empirical test of heuristics and biases affecting real option valuation. *Strategic Management Journal* **25**(3): 269-284
- Miller, K. D., Waller, H. G. 2003. Scenarios, real options and integrated risk management. *Long Range Planning* **36**(1): 93
- Miller, L., Choi, S., Park, C. 2004. Using an options approach to evaluate korean information technology infrastructure. *Engineering Economist* **49**(3): 199-219
- Miller, L. T., Park, C. S. 2004. Economic analysis in the maintenance, repair, and overhaul industry: An options approach. *Engineering Economist* **49**(1): 21-41
- Miller, M. H., Modigliani, F. 1961. Dividend policy, growth, and the valuation of shares. *Journal of Business* **34**(4): 411-433
- Milliken, F. 1987. Three types of perceived uncertainty about the environment: State, effect, and response uncertainty. *Academy of Management Review* **12**(1): p. 133-143
- Mittendorf, B. 2004. Information revelation, incentives, and the value of a real option. *Management Science* **50**(12): 1638-1645
- Moel, A., Tufano, P. 2002. When are real options exercised? An empirical study of mine closings. *Review of Financial Studies* **15**(1): 35-64
- Moreira, Rocha, David, P. 2004. Thermopower generation investment in brazil-economic conditions. *Energy Policy* **32**(1): 91
- Murto, P., Keppo, J. 2002. A game model of irreversible investment under uncertainty. *International Game Theory Review* **4**(2): 127-141
- Murto, P., Näsäkkälä, E., Keppo, J. 2004. Timing of investments in oligopoly under uncertainty: A framework for numerical analysis. *European Journal of Operational Research* **157**(2): 486
- Myers, S. C. 1977. Determinants of corporate borrowing. *Journal of Financial Economics* **5**(2): 147-175
- Myers, S. C. 1996. Fischer black's contributions to corporate finance. *Financial Management* **25**(4): 95-103
- Myers, S. C., Turnbull, S. M. 1977. Capital budgeting and the capital asset pricing model: Good news and bad news. *Journal of Finance* **32**(2): 321
- Nembhard, H., Black Shi, L., Aktan, M. 2002. A real options design for quality control charts. *Engineering Economist* **47**(1): 28
- Nembhard, H., Black Shi, L., Aktan, M. 2003. A real options design for product outsourcing. *Engineering Economist* **48**(3): 199-217
- Newton, D. P., Paxson, D. A., Widdicks, M. 2004. Real r&d options. *International Journal of Management Reviews* **5/6**(2): 113-130
- Ng, F. P., Björnsson, H. C., Chiu, S. S. 2004. Valuing a price cap contract for material procurement as a real option. *Construction Management & Economics* **22**(2): 141-150

- Nichols, N. 1994. Scientific management at merck: An interview with cfo judy lewent. *Harvard Business Review*: pp. 89-99
- Noe, T., Parker, G. 2005. Winner take all: Competition, strategy, and the structure of returns in the internet economy. *Journal of Economics & Management Strategy* **14**(1): 141-164
- Odening, M., Musshoff, O., Hirschauer, N., Balmann, A. 2007. Investment under uncertainty - does competition matter? *Journal of Economic Dynamics & Control* **31**(3): 994-1014
- Paddock, J. L., Siegel, D. R., Smith, J. L. 1988. Option valuation of claims on real assets: The case of offshore petroleum leases. *Quarterly Journal of Economics* **103**(3): 479-508
- Pawlina, G., Kort, P. M. 2006. Real options in an asymmetric duopoly: Who benefits from your competitive disadvantage? *Journal of Economics & Management Strategy* **15**(1): 1-35
- Pennings, E., Lint, O. 1997. The option value of advanced r & d. *European Journal of Operational Research* **103**(1): 83-94
- Pennings, E., Lint, O. 2000. Market entry, phased rollout or abandonment? A real option approach. *European Journal of Operational Research* **124**(1): 125-138
- Perez, M.-H. 2005. Les options réelles dans la gestion des partenariats autour de projets industriels innovants. *Thèse de Doctorat en sciences de gestion*, Université Paris X Nanterre
- Perlitz, M., Peske, T., Schrank, R. 1999. Real options valuation: The new frontier in r&d project evaluation? *R&D Management* **29**(3): 255
- Peters, E. E. 1991. A chaotic attractor for the s&p 500. *Financial Analysts Journal* **47**(2): 55-62
- Pfeiffer, T., Schneider, G. 2007. Residual income-based compensation plans for controlling investment decisions under sequential private information. *Management Science* **53**(3): 495-507
- Philippe, H. 2004. Les options réelles: Modèle financier ou modèle de gestion ? *Thèse de Doctorat en sciences de gestion*, Université Paris Dauphine
- Philippe, H. 2005. Corporate governance: A new limit to real options valuation? *Journal of Management & Governance* **9**(2): 129-149
- Pike, R. 1997. Discussion of laboratory evidence on how managers intuitively value real options. *Journal of Business Finance & Accounting* **24**(7/8): 937
- Pike, R. H. 1983. A review of recent trends in formal capital budgeting processes. *Accounting & Business Research* **13**(51): 201-208
- Pindyck, R. S. 1988. Irreversible investment, capacity choice, and the value of the firm. *American Economic Review* **78**(5): 969
- Quigg, L. 1993. Empirical testing of real option-pricing models. *Journal of Finance* **48**(2): 621
- Raynor, M. E., Leroux, X. 2004. Strategic flexibility in r&d. *Research Technology Management* **47**(3): 27-32
- Rebonato, R., Cooper, I. 1998. Coupling backward induction with monte carlo simulations: A fast fourier transform (fft) approach. *Applied Mathematical Finance* **5**(2): 131-141

- Reuer, J., Leiblein, J. 2000a. Real options : Let the buyer beware, *Financial Times*:
- Reuer, J. J., Leiblein, M. J. 2000b. Downside risk implications of multinationality and international joint ventures. *Academy of Management Journal* **43**(2): 203-214
- Reuer, J. J., Tong, T. W. 2005. Real options in international joint ventures. *Journal of Management* **31**(3): 403-423
- Rigby, D., Gillies, C. 2000. Making the most of management tools and techniques: A survey from bain & company. *Strategic Change* **9**(5): 269-274
- Ringland, G., Edwards, M., Hammond, L., Heinzen, B., Rendell, A., Sparrow, O., White, E. 1999. Shocks and paradigm busters (why do we get surprised?). *Long Range Planning* **32**(4): 403-413
- Rose, S. 1998. Valuation of interacting real options in a tollroad infrastructure project. *Quarterly Review of Economics & Finance* **38**(4): 711
- Ross, J., Staw, B. M. 1986. Expo 86: An escalation prototype. *Administrative Science Quarterly* **31**(2): 274
- Royer, I. 2003. Why bad projects are so hard to kill. *Harvard Business Review* **81**(2): 48-56
- Ryan, P. A., Ryan, G. P. 2002. Capital budgeting practices of the fortune 1000: How have things changed? *Journal of Business & Management* **8**(4): 355-364
- Santiago, L. P., Vakili, P. 2005. On the value of flexibility in r&d projects. *Management Science* **51**(8): 1206-1218
- Santoro, M. D., McGill, J. P. 2005. The effect of uncertainty and asset co-specialization on governance in biotechnology alliances. *Strategic Management Journal* **26**(13): 1261-1269
- Saphores, J.-D. 2003. Harvesting a renewable resource under uncertainty. *Journal of Economic Dynamics & Control* **28**(3): 509
- Sarkar, S. 2000. On the investment-uncertainty relationship in a real options model. *Journal of Economic Dynamics & Control* **24**(2): 219
- Sarkar, S. 2003. The effect of mean reversion on investment under uncertainty. *Journal of Economic Dynamics & Control* **28**(2): 377
- Schnaars, S. P. 1994. *Managing imitation strategies: How later entrants seize markets from pioneers*. Free Press: New-York
- Schwartz, E. S., Zozaya-Gorostiza, C. 2003. Investment under uncertainty in information technology: Acquisition and development projects. *Management Science* **49**(1): 57
- Seppä, T. J., Laamanen, T. 2001. Valuation of venture capital investments: Empirical evidence. *R&D Management* **31**(2)
- Shackleton, M., Wojakowski, R. 2002. The expected return and exercise time of merton-style real options. *Journal of Business Finance & Accounting* **29**(3/4): 541
- Sharp, D. J. 1991. Uncovering the hidden value in high-risk investments. *Sloan Management Review* **32**(4): 69-74

- Shockley Jr., R. L., Curtis, S., Jafari, J., Tibbs, K. 2003. The option value of an early-stage biotechnology investment. *Journal of Applied Corporate Finance* **15**(2): 44
- Simon, H. A. 1960. *The new science of management decision*. Harper & Row: New-York
- Slade, M. E. 2001. Valuing managerial flexibility: An application of real-option theory to mining investments. *Journal of Environmental Economics & Management* **41**(2): 193
- Smit, H. T. J. 1997. Investment analysis of offshore concessions in the netherlands. *Financial Management* **26**(2): 5-17
- Smit, H. T. J. 2003. Infrastructure investment as a real options game: The case of european airport expansion. *Financial Management* **32**(4): 27-57
- Smit, H. T. J., Ankum, L. A. 1993. A real options and game-theoretic approach to corporate investment strategy under competition. *Financial Management* **22**(3): 241-250
- Smit, H. T. J., Trigeorgis, L. 2006. Real options and games: Competition, alliances and other applications of valuation and strategy. *Review of Financial Economics* **15**(2): 95-112
- Smith, J., Nau, R. 1995. Valuing risky projects : Option pricing theory and decision analysis. *Management Science* **41**: pp. 785-816
- Smith, J. E., McCardle, K. F. 1998. Valuing oil properties: Integrating option pricing and decision analysis approaches. *Operations Research* **46**(2): 198-217
- Smith, J. E., McCardle, K. F. 1999. Options in the real world: Lessons learned in evaluating oil and gas investments. *Operations Research* **47**(1): 1-15
- Spence, A. M. 1979. Investment strategy and growth in a new market. *Bell Journal of Economics* **10**(1): 1-19
- Spencer, B. J., Brander, J. A. 1992. Pre-commitment and flexibility: Applications to oligopoly theory. *European Economic Review* **36**(8): 1601-1626
- Stark, A. W. 2000. Real options, (dis)investment decision-making and accounting measures of performance. *Journal of Business Finance & Accounting* **27**(3/4): 313-331
- Staw, B. M. 1981. The escalation of commitment to a course of action. *Academy of Management Review* **6**(4): 569
- Stigler, G. 1939. Production and distribution in the short run. *Journal of Political Economy* **47**: 305-327
- Stulz, R. M. 1982. Options on the minimum or the maximum of two risky assets. *Journal of Financial Economics* **10**(2): 161-185
- Sull, D. N. 2005. Strategy as active waiting. *Harvard Business Review* **83**(9): 120-129
- Tanguturi, V. P., Harmantzis, F. C. 2006. Migration to 3g wireless broadband internet and real options: The case of an operator in india. *Telecommunications Policy* **30**(7): 400-419
- Taudes, A. 1998. Software growth options. *Journal of Management Information Systems* **15**(1): 165-185

- Taudes, A., Feurstein, M., Mild, A. 2000. Options analysis of software platform decisions: A case study. *MIS Quarterly* **24**(2): 227
- Teach, E. 2003. Will real options take root? *CFO* **19**(9): 73
- Thackray, J. 1995. The options pricing model. *Planning Review* **19**(46)
- Thompson, J. D., Tuden, A. 1959. Strategies, structures, and processes of organizational decision. In PBH J.D. Thompson, R. W. Hawkes, B. H. Junker, and A. Tuden (Ed.), *Comparative studies in administration*: 195-216. University of Pittsburgh Press: Pittsburgh
- Triantis, A. 2005. Realizing the potential of real options: Does theory meet practice? *Journal of Applied Corporate Finance* **17**(2): 8-16
- Triantis, A. J., Borison, A. 2001. Real options: State of the practice. *Journal of Applied Corporate Finance* **14**(2): 8-24
- Triantis, A. J., Hodder, J. E. 1990. Valuing flexibility as a complex option. *Journal of Finance* **45**(2): 549-565
- Trigeorgis, L. 1991. Anticipated competitive entry and early preemptive investment in deferrable projects. *Journal of Economics & Business* **43**(2): 143-156
- Trigeorgis, L. 1993. The nature of option interactions and the valuation of investments with multiple real options. *Journal of Financial & Quantitative Analysis* **28**(1)
- Trigeorgis, L. 1996. *Real options: Managerial flexibility and strategy in resource allocation*. MIT Press: Cambridge, MA
- Tseng, C.-L., Barz, G. 2002. Short-term generation asset valuation: A real options approach. *Operations Research* **50**(2): 297
- Tufano, P. 1996. How financial engineering can advance corporate strategy. *Harvard Business Review*: pp. 136-146
- Tzouramani, I., Mattas, K. 2004. Employing real options methodology in agricultural investments: The case of greenhouse construction. *Applied Economics Letters* **11**(6): 355-359
- Van Cauwenbergh, A., Durinck, E., Martens, R., Laveren, E., Bogaert, I. 1996. On the role and function of formal analysis in strategic investment decision processes: Results from an empirical study in Belgium. *Management Accounting Research* **7**(2): pp. 169-184
- Verbeeten, F. H. M. 2006. Do organizations adopt sophisticated capital budgeting practices to deal with uncertainty in the investment decision?: A research note. *Management Accounting Research* **17**(1): 106-120
- Villalonga, B., McGahan, A. M. 2005. The choice among acquisitions, alliances, and divestitures. *Strategic Management Journal* **26**(13): 1183-1208
- Warner, A. G., Fairbank, J. F., Steensma, H. K. 2006. Managing uncertainty in a formal standards-based industry: A real options perspective on acquisition timing. *Journal of Management* **32**(2): 279-298
- Weeds, H. 2002. Strategic delay in a real options model of r&d competition. *Review of Economic Studies* **69**(3): 729-747

Wernerfelt, B., Karnani, A. 1987. Competitive strategy under uncertainty. *Strategic Management Journal* **8**(8): 187-194

Woolley, S., Cannizzo, F. 2005. Taking real options beyond the black box. *Journal of Applied Corporate Finance* **17**(2): 94-98

Wossink, A., Gardebroek, C. 2006. Environmental policy uncertainty and marketable permit systems: The dutch phosphate quota program. *American Journal of Agricultural Economics* **88**(1): 16-27

Yin, R. K. 1994. *Case study research, design and methods*. Sage

Zardkoohi, A. 2004. Do real options lead to escalation of commitment? *Academy of Management Review* **29**(1): 111-119

Zettl, M. 2002. Valuing exploration and production projects by means of option pricing theory. *International Journal of Production Economics* **78**(1): 109-116

Zinkhan, F. C. 1991. Option pricing and timberland's land-use conversion option. *Land Economics* **67**(3): 317