

*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.

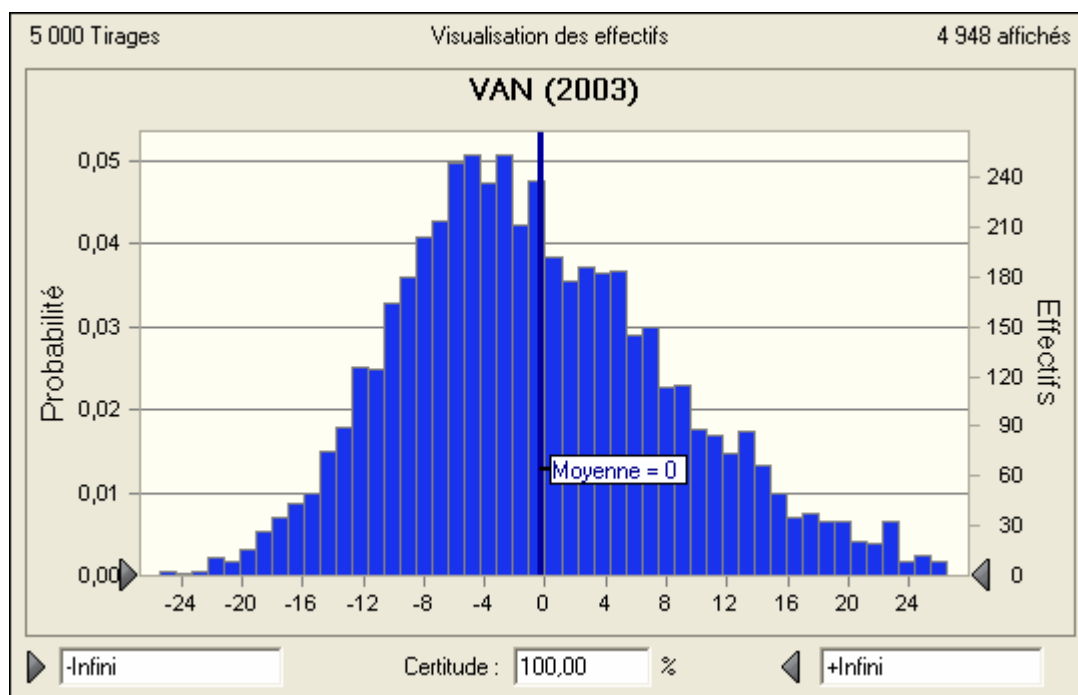
Cependant, il s'avère que les collectivités territoriales sont prêtes à participer au financement d'infrastructures permettant l'accès au haut débit pour les populations habitant dans ces zones. En effet, les pouvoirs publics locaux sont soucieux de maintenir leur attractivité comme lieu de résidence 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.

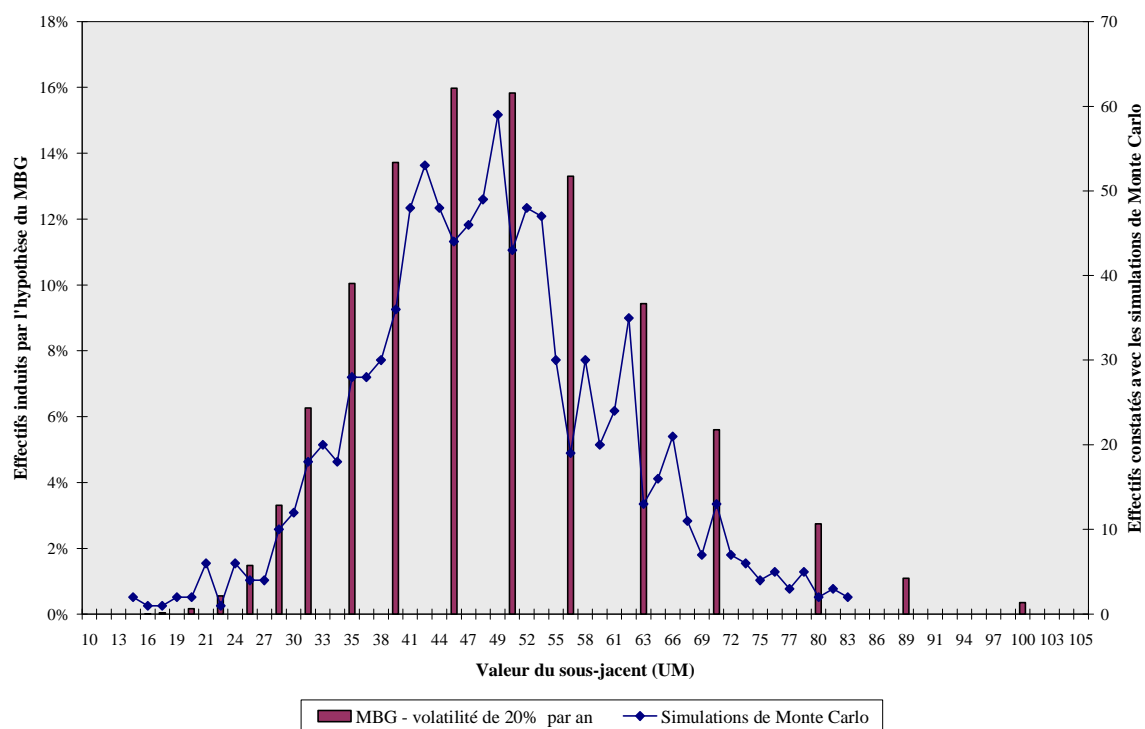
L'incertitude porte sur le nombre de clients pour ces cinq lignes de produits pour chacune des trois années sur lesquelles est modélisé le business plan. De façon similaire, l'incertitude sur les prix ne se résume pas à une donnée, mais porte sur l'évolution des prix de chacune de ces lignes de produits.

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

<i>UM</i>					
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.

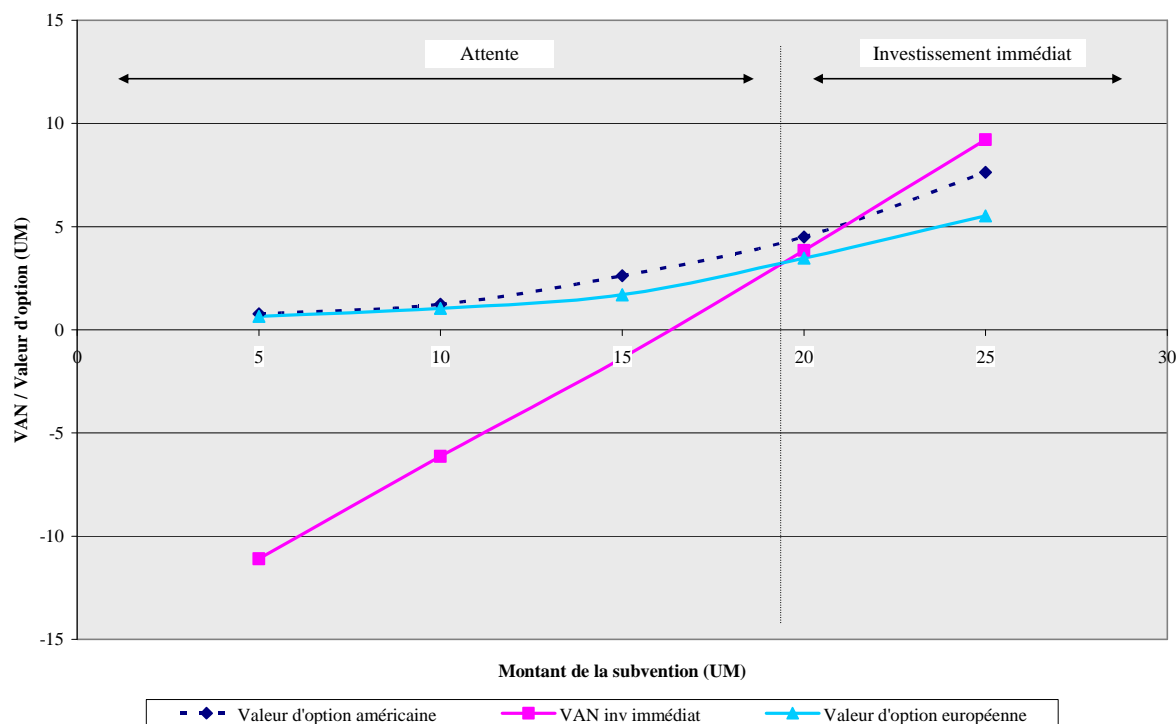
En effet, le fait de repousser l'investissement permet de collecter de l'information sur la rentabilité du projet, et de ne le mettre en œuvre que dans les cas où il s'avère profitable. Lorsque la subvention versée est de 15,9 UM, certes la VAN du projet devient positive, mais elle reste inférieure à 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.

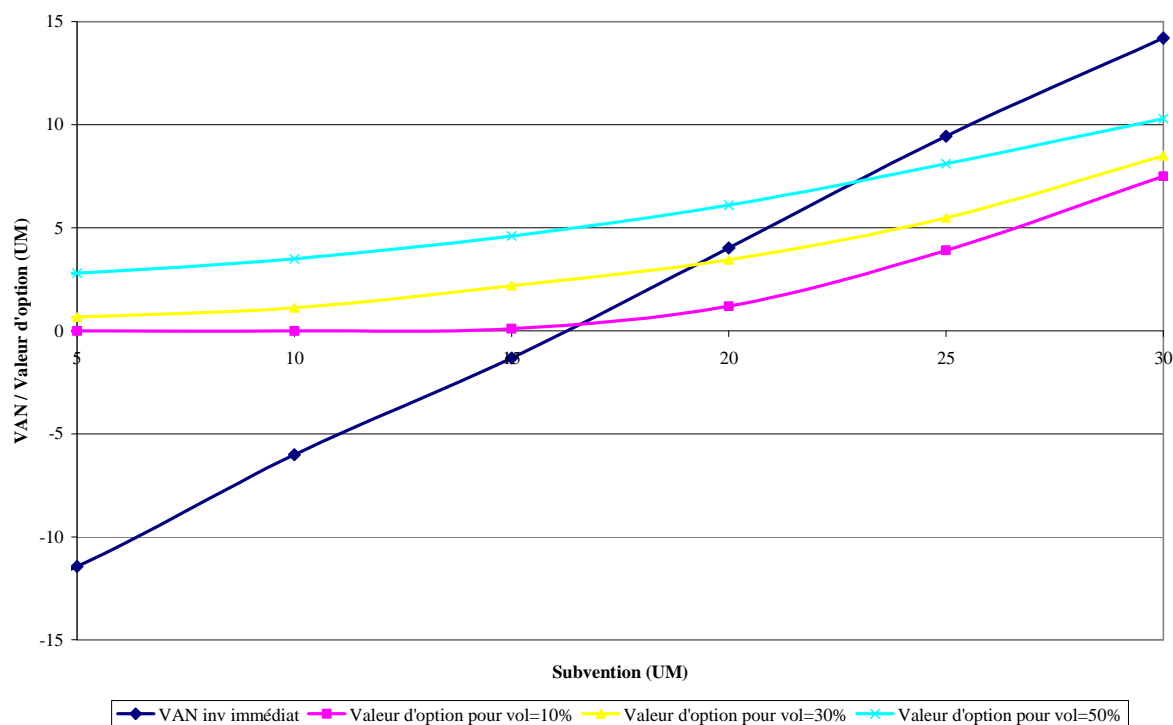
L'intérêt des options réelles est de déplacer l'analyse du risque du dénominateur (le taux d'actualisation) vers le numérateur (les cash-flows). Cela permet de décrire le risque avec des variables qui ont un sens « économique », comme par exemple le nombre minimal et maximal de clients ADSL que l'on 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.

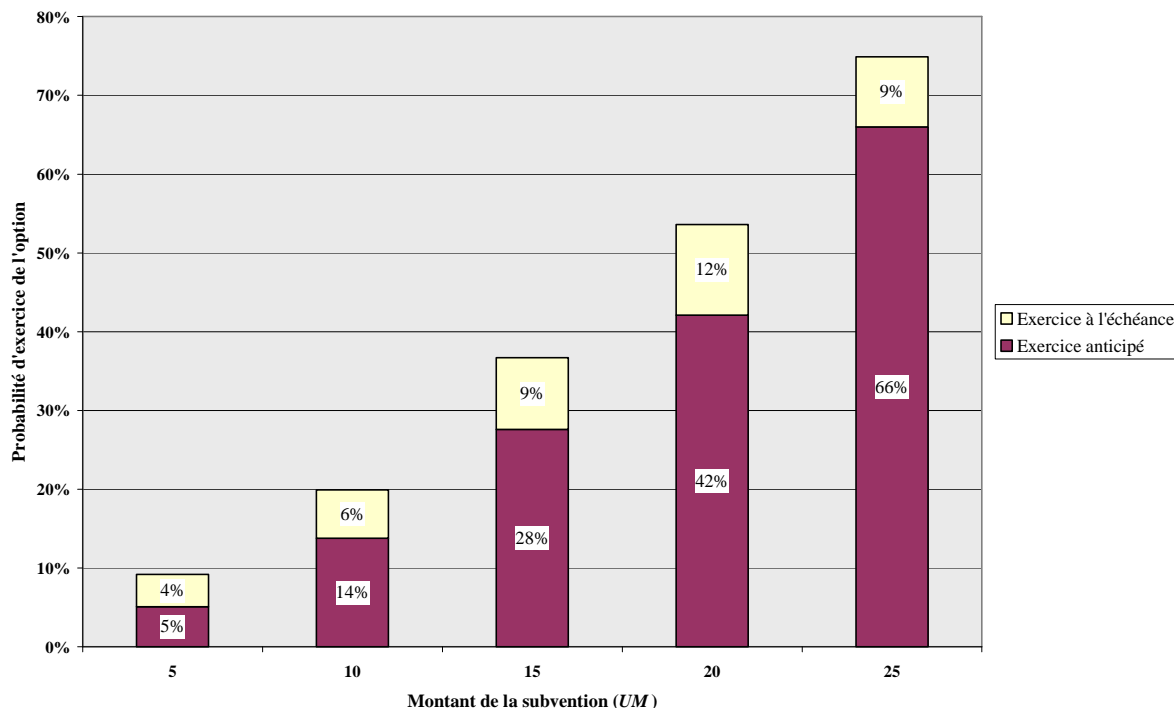
En revanche, l'analyse optionnelle peut aboutir à trois types de recommandations :

- 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.

