Choix de projets, free-cash flows et options réelles en présence de coûts d’information

Mondher Bellalah[1]

Abstract :
Depuis une vingtaine d'années, une modélisation croissante est observée en matière de choix des investissements conduisant à une standardisation des méthodes de gestion.

Cet article présente une nouvelle approche de la littérature concernant les techniques des choix des investissements et les options réelles en présence de coûts d’information. En particulier, nous étudions l’évaluation des opérations d’investissement en présence de coûts d’information à la lumière des travaux de Merton (1987) pour l’actualisation des flux aléatoires. Nous analysons les limites des critères classiques de choix des investissements et proposons un nouveau cadre d’évaluation des projets en présence de coûts d’information. Nous dérivons de nouvelles formules pour la méthode du free cash-flow, les options réelles, l'option de R&D et généralisons l’approche des options implicites dans les décisions d’investissement en présence de coûts d’information

[1]Professeur de Finance, Universités du Maine et de Paris-Dauphine.

Chaque décision stratégique relative à l'allocation des ressources d'une société doit être confirmée par quelques chiffres qui permettent d'apprécier la "valeur" et les effets de la décision. Les décisions concernant le lancement d'un nouveau produit, l'investissement en recherche et développement, les opérations de rapprochement avec d'autres entreprises, la construction d'un nouveau projet, etc. exigent d'estimer la "valeur" de l'opération avant la prise de décision et l'allocation des ressources. La détermination de la valeur de l'opération est fondamentale car elle conditionne la performance globale de la société.

Aujourd'hui, cette approche fondamentale commence à devenir obsolète.
Dès lors, la question est de connaître les besoins des dirigeants des entreprises pour leur permettre d'appliquer les principes modernes de l'évaluation. La question de l'évaluation porte fondamentalement sur trois aspects : *l'évaluation des opérations d'investissement*, l'évaluation des opportunités et l'évaluation des droits des propriétaires de la société. L'approche standard consiste à appliquer la même méthodologie à ces différents aspects. L'évaluation dépend de trois facteurs : *la trésorerie, le temps et le risque*.

Comme l'information joue un rôle fondamental sur les marchés des actifs réels et financiers, le coût d'information peut constituer un facteur additionnel dans la procédure d'évaluation. Ce coût fait référence au modèle de Merton (1987). Les opportunités constituent des options et non des obligations d'effectuer un certain nombre d'actions dans l'avenir. En assimilant les investissements à des options, il est possible de modifier la théorie standard de l'investissement et la pratique de la procédure de choix des projets.

Les universités et les écoles de commerce enseignent aux futurs cadres et dirigeants le cadre standard d'irréversibilité de la décision d'investisement. En revanche, en assimilant les opportunités d'investisement à des options, ce prémise d'irréversibilité n'est plus vérifié. En effet, l'irréversibilité, l'incertitude et le choix de la période d'investissement sont des facteurs qui affectent significativement la décision d'investissement.

L'idée de Myers et Turnbull (1977) et de Kester (1982, 1986) consiste à établir une analogie conceptuelle entre les opportunités d'investissement dans l'avenir et une option européenne d'achat sur actions. Kester (1984) montre que la valeur de ces options est parfois supérieure à la moitié de la valeur de marché des actions d'une société. Même si l'étude rapporte uniquement les résultats pour les grandes sociétés cotées, ces caractéristiques existent également pour les petites sociétés. En effet, les options de croissance influencent significativement la valeur des actions des petites sociétés (dans une phase de croissance), qui commercialisent des produits nouveaux.

Cet article est organisé de la façon suivante.

La première section étudie l'évaluation des opérations d'investissement en présence de coûts d'information. Ces coûts sont introduits à la lumière ses travaux de Merton (1987) pour l'actualisation des flux aléatoires. Elle étudie les limites des critères classiques de choix des investissements et propose un nouveau cadre d'évaluation des projets en présence de coûts d'information. La deuxième section étudie le choix stratégique des investissements, l'option d'investir, les limites de la VAN et l'importance des coûts d'information à travers une étude de cas. La troisième section étudie la méthode du free cash-flow, l'option réelle et l'évaluation des investissements en présence de coûts d'information. La quatrième section propose un modèle simple pour évaluer l'option de R&D dans le même contexte. La cinquième section étudie l'irreversibilité, l'incertitude et l'investissement en présence de coûts d'information. La dernière section généralise l'approche des options implicites dans les décisions d'investissement en présence de coûts d'information

1. L'évaluation des opérations d'investissement en présence de coûts d'information

La question est de déterminer la valeur des cash-flows futurs d'une opération d'investissement. La réponse à cette question est donnée par les techniques d'actualisation des cash-flows (DCF). Cette méthode actualise les flux incertains à un taux qui prend en compte les caractéristiques du risque. Ce taux peut être déterminé par référence au modèle d'équilibre des actifs financiers en présence d'information couteuse.

1.1. Le modèle de Merton (1987) et l'actualisation des flux aléatoires

Le modèle d'équilibre des actifs financiers de Merton (1987) suppose un coût d'information qui regroupe deux composantes. La première correspond au coût de collecte et de traitement des données La deuxième représente un coût de production et d'émission de l'information par les sociétés. Ces coûts sont l'image renversée des coûts des modèles de signal et d'agence. Le modèle se focalise sur les prix d'équilibre dus à différentes distributions de l'information à travers les investisseurs. Ce modèle constitue une méthode générale d'actualisation en incertitude.

L'effet de l'information incomplète sur les prix d'équilibre des actions des sociétés est similaire à l'application d'un taux d'actualisation supplémentaire. Le coût spécifique à un titre S résulte des coûts d'information nécessaires à la collecte et au traitement de l'information, à l'analyse des données concernant les sociétés et à la liquidité de leurs titres. Il reflète aussi une prime de liquidité implicite exigée pour l'investissement dans des titres pour lesquels les négociations sont peu fréquentes.

Une explication similaire à celle proposée pour le coût du titre support peut être avancée pour le coût payé pour tous les autres actifs risqués. Cette explication s'apparente à celle proposée par Arbell et Strebell (1982) pour les titres négligés et Barry et Brown (1986) dans leurs théories sur les titres génériques.

Les modèles financiers fondés sur l'information complète ne sont pas appropriés pour rendre compte de la réalité. Les barrières à l'entrée dans le système des négociateurs peuvent influencer l'évolution des cours à court terme et impliquent des coûts d'information. De ce fait, la plupart des modèles proposés par les économistes financiers ne prennent pas en compte le rôle fonctionnel des institutions et la complexité des systèmes financiers des intervenants sur les marchés. En outre, le traitement de l'information et des ses coûts jouent un rôle pivot sur les marchés des capitaux. Lorsqu'un investisseur n'est pas informé de l'existence d'une stratégie de négociation, il ne va pas la mettre en oeuvre puisque l'adoption de la stratégie nécessite des coûts. Si les coûts justifient les gains de la stratégie, l'investisseur supporte d'autres coûts pour la construction de la stratégie et d'une base de données pour effectuer les tests nécessaires.
Ce raisonnement s'applique à la mise en oeuvre de modèles d'évaluation d'actifs dans le processus de l'ingénierie financière. Il s'applique non seulement aux investisseurs individuels mais également institutionnels qui dépensent "beaucoup " d'argent dans le processus d'innovations et d'acquisitions de l'information. Ce qui justifie l'existence de coûts d'information.

Le modèle de Merton montre que la prise en compte des coûts d'information est similaire à l'application d'un taux d'actualisation additionnel pour les flux incertains. Dans ce contexte, l'information est incomplète pour un investisseur lorsqu'il ne connaît pas parfaitement la rentabilité espérée et la variance des rendements d'un actif. Ainsi, par exemple, l'investisseur n'achète pas une action lorsqu'il ignore ses deux premiers moments. Ce qui justifie les dépenses effectuées par les individus et les institutions en ce qui concerne l'analyse et la sélection des actifs et des portefeuilles. Ces coûts d'information ne correspondent pas à des coûts de transactions. Dans sa version appliquée, le modèle de Merton peut s'écrire :

$$r_S - r = \beta_S [r_m - r] + \lambda_S - \beta_S \lambda_m$$

avec :

r_S: le rendement à l'équilibre de l'actif S,

r_m: le rendement à l'équilibre du portefeuille de marché,

r : le taux d'intérêt sans risque,

$\beta_S = cov(r_S, r_m)/ var(r_m)$: le béta de l'actif S,

λ_S : le coût d'information à l'équilibre "shadow cost" pour le titre S,

λ_m : le coût d'information moyen pour tous les actifs au marché.

Le modèle de Merton, le CAPMI, est une extension du modèle d'équilibre des actifs financiers, CAPM, dans un contexte d'information incomplète. Merton explique que : "La reconnaissance des structures d'organisation des institutions et des coûts d'information expliquent le comportement des cours des sociétés... ". Le modèle offre une méthode générale pour l'actualisation des flux de trésorerie dans un contexte d'incertitude. Lorsque l'information est complète, ce modèle se réduit au CAPM standard de Sharpe (1964), Lintner (1965) et Mossin (1966).

1.2. L'extension de la méthode standard d'actualisation des cashflows

La méthodologie d'actualisation des cahflows (*Discounted cashflows technique DCF*) est fondée sur une relation simple entre la valeur présente et la valeur future. Dans ce contexte, la valeur future est :

Valeur future = Valeur présente (1 + le taux d'actualisation)

Par conséquent, la valeur présente est :
Valeur présente = Valeur future/(1 + taux d'actualisation)

Ce taux d'actualisation peut être estimé à partir du modèle d'équilibre des actifs financiers.
L'application de la méthodologie DCF à une activité exige de calculer la valeur présente à partir de la somme des flux futurs actualisés en prenant en considération le temps et le risque. La relation s'écrit alors :

$$\text{Valeur présente} = \sum_{t=0}^{n} E(CF_t) / (1 + k)^t$$

Le terme $\sum_{t=0}^{n}$ correspond au temps ou encore à la fréquence d'apparition des cashflows. Il montre que les flux apparaissent à différentes dates. Pour cette raison, il s'impose de les localiser au cours du temps et de les actualiser à un taux approprié. Les terme E(CF) indique la valeur espérée des flux CF incertains dans l'avenir. Le terme (1 + k) constitue le facteur d'actualisation approprié, qui prend en considération une prime de risque implicite dans le terme k. La formule du coût moyen pondéré du capital donne un taux d'actualisation approprié. Ce coût est net d'impôt. En utilisant les notations suivantes :
D : la dette,
S: la valeur des fonds propres,
r_d : le coût de la dette,
r_s : le coût des actions,
Tc : le taux de l'impôt sur les bénéfices des sociétés,

le coût moyen pondéré du capital est :
$WACC = r_s\, S/(S+D) + r_d(1 - Tc)(D/S+D)$

Le coût des actions et le coût de la dette représentent des coûts d'opportunité. Chacun de ces coûts regroupe une valeur temps et une prime de risque relative à l'actif considéré. La valeur de r_s est estimée à partir du modèle d'équilibre des actifs financiers de Sharpe-Lintner-Mossin.

Il est possible d'estimer le coût des actions par référence au modèle d'équilibre des actifs financiers de Merton (1987) en présence d'une information coûteuse. Dans ce cas, la formule du WACC s'écrit :

$$WACC = (r + \beta_S [r_m - r] + \lambda_S - \beta_S \lambda_m)\, S/(S+D) + r_d(1 - Tc)(D/S+D)$$

2. Le choix stratégique des investissements, l'option d'investir, les limites de la VAN et l'importance des coûts d'information : étude d'un cas

En assimilant les investissements à des options de croissance, il est possible de surmonter certaines difficultés posées par l'approche d'actualisation des cash-flows, DCF. Certains projets peuvent conduire initialement à des investissements élevés et des cash-flows faibles, mais peuvent aboutir ultérieurement à d'autres opportunités de croissance.

Exemple. Considérons une société qui envisage d'investir dans la construction d'un laboratoire de recherches. Le coût de l'opération est de 5 millions. Ce laboratoire peut mettre en oeuvre des nouveautés que l'entreprise peut commercialiser ultérieurement. Ce projet est bénéfique s'il permet de générer des flux et des opportunités de croissance supérieurs à 5 millions. La société doit retenir tous les projets qui présentent des opportunités de croissance et des risques plus élevés.

Lorsque le capital est rare et les taux d'intérêt sont élevés, les projets comportant des opportunités de croissance sont plus affectés que ceux sans les opportunités de croissance. Ces projets deviennent plus intéressants dans le processus de sélection des projets. Normalement, les sociétés orientent l'investissement vers les projets générateurs de trésorerie en présence de contraintes sur le capital. Mais, cette règle ne doit pas être toujours respectée.

Le relation explicite entre le processus d'investissement et la planification à long terme doit être étudiée par un comité de direction. Ce comité doit comprendre que les avantages d'une stratégie s'assimilent à des options de croissance qui peuvent affecter les cours boursiers. La valeur provient de l'option de croissance et non des cash-flows. La société doit mettre l'accent sur la valeur apportée par l'investissement, sa durée et sa continuité.

L'objectif de maximisation de la valeur des actions d'une société doit être fondé sur une vision plus large en matière d'allocation des ressources. Cette vision doit prendre en compte les facteurs stratégiques dans le processus de budgétisation des projets. En assimilant les investissements discrétionnaires à des options réelles, les dirigeants peuvent se poser les questions suivantes :

- quelles sont les options de croissance les plus importantes en termes de valeur ?
- est-ce que ces options sont importantes ?
- sont-elles la propriété de la société ou sont-elles partagées ?

Les réponses à ces questions diffèrent d'une situation à une autre. Ce contexte d'options de croissance offre un cadre approprié pour l'analyse de ces questions et pour l'allocation des ressources.

Étude d’un cas : **l'exemple d'une société dans l'industrie pharmaceutique :**

Le dirigeant d'une entreprise est confronté à la décision de développer et de produire un certain médicament composite. Le chiffre d'affaires dépend de la capacité de la société à trouver un marché potentiel et du temps disponible pour les autres sociétés pour imiter cette innovation.

La première question est de savoir s'il faut investir 15 millions dans le stade de la recherche et développement. Dans un deuxième temps, un investissement est envisagé pour mettre en oeuvre une chaine de production. Le coût de production est estimé en fonction de trois scénarios : un scénario d'un coût faible de 40 millions, un scénario d'un coût moyen de 80 millions et un scénarion d'un coût élevé de 120 millions. Le directeur attache une probabilité équivalente à chaque scénario, soit 1/3.

Les études prévisionnelles du chiffre d'affaires montrent les deux scénarios suivants : un chiffre d'affaires de 50 millions en présence d'une faible demande et un chiffre d'affaire de 130 millions pour une demande élevée. La probabilité est de 1/2 dans chaque cas.

En considérant un intervalle de temps très petit (à négliger), faut-il investir les 15 millions dans la phase de recherches et développement ?

Pour répondre à cette question, le dirigeant utilise deux méthodes différentes : la VAN et la théorie des options.

Le critère de la VAN
Le coût de production anticipé est :
1/3(40) + 1/3(80) + 1/3 (120) = 80 millions

Le chiffre d'affaires anticipé est :
1/2(50) + 1/2 (130) = 90 millions

Dans ce cas, le profit d'exploitation anticipé est de 10 millions (90 - 80). Ce profit ne justifie pas la dépense de 15 millions. Par conséquent, le projet doit être refusé.

La méthode des options
Supposons que l'investissement en recherche et développement permet de réduire l'incertitude concernant les trois scénarios de coûts. Dans ce cas, le dirigeant dispose d'une "meilleure" information concernant les coûts par rapport à la réalité. Cette information consécutive à la dépense effectuée permet à l'entreprise de continuer ou d'abondonner le projet. Ainsi, l'investissement initial des 15 millions en recherches et développement conduit à une option (le droit et non l'obligation) de démarrer la phase de marketing et de production.

L'absence d'incertitude
Ignorons pour l'instant l'incertitude et supposons un chiffre d'affaires de 90 millions.
Si le coût s'avrère de 120, la société suspend le projet, puisque le profit est nul (90 - 120). En revanche, dans les deux autres situations, la société peut démarrer la production. Le profit est de 10 millions dans l'hypothèse d'un coût moyen (90 -80). Le profit est de 50 millions dans l'hypothèse d'un coût faible (90 - 40).
Dans ce cas, le profit probable en fonction des trois résultats est de 20 millions, soit 1/3(0) + 1/3 (10) + 1/3 (50). Ce profit est supérieur au coût de la recherche de 15 millions. Dès lors, l'investissement en recherche et développement est justifié.

Cette logique montre qu'une décision conduit à la création d'une option doit être évaluée dans un contexte plus large que celui de la VAN. La différence qui apparaît entre les deux résultats provient du fait que l'option présente une certaine valeur. Le dirigeant exerce l'option dans un scénario favorable et il la laisse expirer dans une situation défavorable.

La présence d'incertitude sur le chiffre d'affaires prévisionnel
Introduisons à présent l'incertitude au niveau du chiffre d'affaires anticipé. Supposons que l'investissement en recherche montre que le scénario d'un coût moyen de 80 millions correspond à la réalité.
Si le dirigeant doit décider s'il faut lancer immédiatement ou non la production, la décision est évidente car le chiffre d'affaires anticipé :
1/2(130) + 1/2(50) = 90
est supérieur au coût de production de 80. Ce qui montre un profit d'exploitation de 10 millions (90 - 80).

Le dirigeant retarde l'investissement
Supposons que le dirigeant retarde la décision de lancer la production afin d'obtenir une information plus fiable concernant le potentiel du marché. L'attente lui permet de prendre les décisions suivantes :

- continuer la production si le revenu est élevé,
- éviter la perte lorsque le revenu est faible .

Si le chiffre d'affaires est élevé, le profit d'exploitation est de 50 millions, (130 - 80) avec une probabilité de 1/2. En revanche, si le chiffre d'affaires est faible, le profit est nul avec la même probabilité.
Ces deux situations montrent une valeur espérée de 25 millions, (1/2(50) + 1/2(0)), qui est supérieur au 10 millions (montant relatif à un investissement immédiat).

Cette opportunité de démarrer la production est similaire à une option d'achat. La décision de lancer ou non la production aboutit à l'exercice de l'option.
Si le dirigeant peut identifier des éléments qui le conduisent à ne pas démarrer la production (par exemple la baisse de la demande du produit), alors la possibilité d'attendre et d'éviter ces opportunités montre une certaine valeur : l'option présente une valeur temps correspondant à une certaine prime.

Comme cette option est dans la monnaie (le fait de continuer le projet conduit à une VAN positive) ne signifie pas qu'il faut automatiquement exercer l'option (c'est-à-dire démarrer la production). En revanche, il faut attendre jusquà ce que l'option passe profondément dans la monnaie, (c'est-à-dire la VAN de continuer devient assez élevée pour compenser pour la perte dans la valeur de l'option).

La prise en compte du coût de l'attente et de la perte d'une part du marché

Cette analyse ignore le coût de l'attente, mais, il est possible d'intégrer ces coûts de la façon suivante.

Supposons que pendant la période d'attente, un concurrent peut "rafler" une part de marché qui représente l'équivalent de 20 millions du chiffre d'affaires anticipé par la société. Dans ce cas, le chiffre d'affaires dans le scénario favorable passe à 110 et dans le scénario défavorable il est réduit à 30.
Si l'entreprise attend pour démarrer la production, le profit anticipé est de 30 millions, soit (110 - 80) avec une probabilité 1/2. Il est nul dans l'autre cas, avec une probabilité identique. Ainsi, le profit anticipé est de 15 millions. Ce profit est également supérieur à 10 millions.

Les implications de l'analyse
Cette analyse conduit aux deux résultats suivants.
La valeur d'une opération qui conduit à créer une option doit être supérieure à celle prévue par la VAN.
La valeur d'une opération qui conduit à exercer une option doit être inférieure à celle prévue par la VAN.

La justification de ce résultat est simple, puisque l'option comporte une certaine valeur.

Le dirigeant peut exercer une option d'une façon sélective quand l'opération est rentable. Il n'exerce pas dans le cas contraire. Dans ce cas, la valeur addionnelle dépend des montants des pertes probables à évite dans l'avenir.

La prise en compte de l'incertitude sur le chiffre d'affaires et les coûts
Il est possible de raisonner simultanément sur l'incertitude relative au chiffre d'affaires et aux coûts.

Si l'investissement en recherche et développement révèle que le coût sera élevé dans l'avenir, il s'impose d'attendre pour obtenir plus d'informations sur le chiffre d'affaires avant de démarrer la production. Cette attitude permet un gain de 5 millions, 1/2(130 - 120).
Si les coûts correspondent à l'état moyen, il vaut mieux attendre car le profit anticipé est de 25 millions.
Si les coûts sont dans l'état faible (40), le profit anticipé est positif et il vaut mieux démarrer la production. Le profit anticipé sera de 50 millions, 1/2(130) + 1/2(50) - 40.

Le calcul approprié de la VAN consécutive à l'investissement de 15 millions en recherches et développement est de 26,7 millions, 1/3(5) + 1/3(25) + 1/3(50). Ce montant est supérieur à 20 millions. Ce dernier chiffre est calculé en l'absence d'incertitude. Cette procédure permet d'évaluer correctement les options de production, alors qu'avant, nous avons utilisé l'hypothèse que ces options sont exercées dans le contexte de deux scénarios (coût élevé et coût moyen). L'exercice dans ce contexte n'est pas optimal.

3. La méthode du free cash-flow, l'option réelle et l'évaluation en présence de coûts d'information

Une opportunité d'investissement est similaire à une option d'achat, puisque la société dispose du droit et non de l'obligation, d'acheter un actif sous-jacent, (les actifs nécessaires à l'exploitation d'une nouvelle activité). S'il existe sur les marchés financiers une option qui présente des caractéristiques similaires à l'opportunité d'investissement, alors la valeur de l'option peut être utile pour le calcul de la valeur du projet. Si cette option n'est pas disponible, il suffit d'élaborer une option synthétique. Pour cela, une certaine analogie doit être réalisée entre les caractéristiques du projet et les cinq paramètres nécessaires au calcul du prix de l'option.

Par simplicité, nous utilisons une option européenne d'achat qui peut être exercée uniquement à l'échéance. Plusieurs projets conduisent à une dépense d'investissement pour exploiter une opportunité quelconque. Cette dépense est assimilée à l'exercice d'une option sur actions. Le prix d'exercice correspond à l'investissement réalisé. La valeur présente des actifs acquis constitue la valeur de l'actif sous-jacent. La période pendant laquelle l'investissement est différé détermine l'échéance de l'option. L'incertitude concernant la valeur des cash-flows futurs du projet correspond à la volatilité de l'actif sous-jacent. Le taux d'intérêt est donné la valeur temps de l'argent.

Dans ce cas, le tableau 1 montre la correspondance entre les paramètres d'évaluation d'une option et l'opportunité d'investissement. Ce tableau est fondé sur une extension des travaux de Luehrman (1997, 1998)

Tableau 1
Résultats probables des deux actifs

L'opportunité d'investissement	La variable	L'option d'achat
La valeur actuelle des actifs qu'il convient d'acquérir pour exploiter le projet	S	Le prix l'actif sous-jacent
L'investissement qu'il convient d'effectuer pour acquérir les actifs du projet	E	le prix d'exercice de l'option
La période pendant laquelle la décision peut être retardée	t	L'échéance à maturité de l'option
La valeur temps de l'argent	r	Le taux d'intérêt sans risque
La mesure du risque des actifs du projet	σ^2	La variance des rendements l'actif sous-jacent
Le coût d'information relatif à l'étude du projet	λ_S	Le coût d'information sur le marché de l'actif sous-jacent
Le coût d'information relatif aux options implicites dans le projet	λ_c	Le coût d'information sur le marché de l'option

3.1. La relation entre la VAN à la valeur de l'option

La VAN correspond à la différence entre la valeur présente des actifs (et de leurs flux) et la dépense d'investissement. Dès lors, quand la valeur (de l'option) du projet est-elle égale à la VAN ?

Lorsque l'entreprise ne dispose plus de la possibilité de retarder son investissement, c'est-à-dire quand l'option est à l'échéance, la valeur de l'option est égale à la plus grande des deux quantités suivantes : soit 0, soit la différence (S - E).

Valeur de l'option = max(0, S - E)
VAN = S - E

= la valeur actuelle des actifs nécessaires à l'exploitation du projet
- l'investissement pour acquérir les actifs du projet

Si la VAN est négative, la société rejette le projet puisque sa valeur est nulle, tout comme celle de l'option. La différence entre la VAN et le prix de l'option apparaît lorsque la société dispose de la possibilité de différer l'investissement. Cette possibilité retarde le décaissement, améliore l'information et permet au dirigeant de prendre des décisions en fonction des nouvelles données de l'environnement économique et financier. Cette valeur additionnelle relative au retardement optimal d'un projet n'est pas prise en compte dans le calcul de la VAN. Cette source additionnelle de la valeur doit être prise en considération.

3.2. Le calcul de la valeur additionnelle relative à l'opportunité de différer l'investissement

La première source de valeur dans cet investissement est l'intérêt sur le placement des fonds mobilisés dans le projet. En effet, en plaçant aujourd'hui un montant $E/(1+ r + \lambda_S)^t$ dans un actif financier, ce placement devient E au moment de l'investissement. Le coût d'information est supporté par l'investisseur car chaque transaction sur un actif financier exige une certaine dépense avant d'investir dans cet actif. Dans ce cas, il est possible de réécrire la VAN modifiée comme suit :

VAN modifiée = $S - E/(1+ r + \lambda_S)^t$

Cette VAN modifiée permet de prendre en considération la valeur et le coût ajusté de la valeur temps de l'argent. Elle peut être positive, négative ou nulle.

Pour éviter les valeurs négatives, il est possible de construire un quotient à la place de la différence dans le calcul de la VAN, que l'on note par VANq :

VANq = $S / [E/(1+ r + \lambda_S)^t]$

Cette VANq correspond au rapport entre une valeur et un coût.
Quand la VAN est positive, VANq est supérieure à 1.
Quand la VAN est négative, VANq est inférieure à 1.
Quand la VAN est nulle, VANq est égale à 1.
Le même critère de décision demeure valable. La VANq rappelle le ratio "q" de Tobin exprimant le rapport entre la valeur d'un actif et son coût de remplacement.

3.3. Le calcul de la valeur additionnelle relative à l'opportunité de différer l'investissement

La valeur de l'actif se modifie au cours du temps. Elle peut par conséquent affecter la décision d'investissement. Au lieu de mesurer directement cette valeur additionnelle, (*added-value*), il est possible de mesurer l'incertitude en utilisant un modèle d'évaluation d'options. L'incertitude est mesurée par la variance qui reflète la dispersion par rapport à une valeur moyenne. Comme cette variance exprime des variations plus ou moins importantes au cours du temps, il est intéressant d'apprécier la variance par période en fonction du temps d'attente, soit σ^2 t. Ce concept correspond à ce qui est convenu d'appeler la variance cumulée. En effet, une option qui présente une échéance de deux ans présente une variance cumulée qui correspond au double de celle d'une option à un an. Il s'agit d'une bonne approximation de l'incertitude relative à un investissement.

En général, la variance est calculée à partir des rendements du projet. Ce dernier s'écrit :
Rendement = (valeur future - valeur actuelle)/valeur actuelle

Comme la valeur du projet est exprimée en unités monétaires, le rapport est donné en pourcentage. Dans ce cas, et par souci de cohérence, il convient d'utiliser la volatilité cumulée, donnée par la quantité σvt.

3.4. L'évaluation de l'option en présence d'un coût d'information

La VANq et la volatilité cumulée contiennent exactement les mêmes paramètres d'évaluation que le modèle de Black et Scholes. Ces deux mesures reflètent la source additionnelle de valeur. La VANq contient 4 des 5 paramètres nécessaires à l'évaluation du projet et de l'option, (S, E, r, t). La volatilité cumulée représente le cinquième paramètre, qu'elle associe au temps.

En présence de coûts d'information, il est possible d'utiliser le modèle de Bellalah et Jacquillat (1995) ou de Bellalah (1999 a, b). Dans ce cas, il s'impose d'estimer le coût d'information. Il est possible de mettre sur un système d'axes la VANq et σvt.
Dans ce contexte, il convient d'observer que VANq augmente lorsque :
- la valeur du projet est plus élevée (S),
- la dépense d'investissement (E) ou sa valeur actuelle est plus faible (E).

Les prix des options d'achat donnés par le modèle de Bellalah et Jacquillat (1995) sont rapportés au tableau 2.

Tableau 2

Le prix d'une option d'achat à la Black et Scholes exprimée en pourcentage du prix du support

$\sigma vt.$	*VANq* *0,94*	*0,96*	*0,98*	*1*	*1,02*	*1,04*
0,35	11,4	12,2	13	13,9	14,8	15,6
0,40	13,4	14,2	15	15,9	16,7	17,5
0,45	15,3	16,2	17	17,8	18,6	19,4
0,50	17,3	18,1	18,9	19,7	20,5	21,3
0,55	19,3	20,1	20,9	21,7	22,4	23,2
0,60	21,3	22	22,8	23,6	24,3	25,1

Pour conserver l'analogie avec le modèle de Luehrman (1998), chaque case exprime la valeur de l'option en pourcentage de la valeur du support. Par exemple, en présence des données suivantes :
S = 100, E = 105, t = 1 an, r = 4 %, λ_S = 1 %, λ_c = 0, σ = 50 %, la VANq = 1 et σvt = 0,5. Dans ce cas, la valeur de l'option est de 19,7 % (100) = 19,7.
Dans le même contexte, la VAN standard est de -5, soit : (100 - 105).

Il convient d'observer que la valeur de 19,7 est inférieure à celle de l'actif, 100. En fait, comme cette analyse permet de calculer la valeur additionnelle (*added-value*) relative à l'opportunité de retarder l'investissement dans le temps, il est raisonnable de s'attendre à un prix de l'option supérieur à la VAN.

3.5. Étude d'un cas

Ce cas est reproduit à partir de l'étude Luehrman (1998). Considérons les données suivantes de la société Franklin Chemical qui envisage d'augmenter sa capacité de production par un investissement immédiat dans une nouvelle usine. En même temps, les dirigeants décident d'augmenter l'investissement dans trois ans en anticipant la possibilité de pénétrer deux nouveaux marchés.

Le premier investissement est stratégique car il conduit à la possibilité de croissance dans l'avenir. Les dirigeants pensent rejeter ce projet car sa VAN est proche de zéro. Le tableau 3 montre la procédure de calcul de la VAN et la prévision des cash-flows pour une période de 6 ans.

Tableau 3
Le calcul de la VAN et la prévision des cash-flows (en millions de francs) pour une période de 6 ans

Année et projection des cash-flows	0	1	2	3	4	5	6
Chiffre d'affaires prévisionnel (1)		455	551	800	1080	1195	1255

- Coût des marchandises vendues (2)		341,2	414,9	596	811,1	893,9	941,3
= Marge sur chiffre d'affaires (3) = (1)-(2)		113,8	136,1	204	268,9	301,1	313,8
- Dépenses d'exploitation (4)		110,4	130	219,2	251,6	280,3	287,4
= Résultat d'exploitation (3) - (4)		3,3	6,1	- 15,2	17,3	20,8	26,3
Calcul des cash -flows prévisionnels (6)							
EBIT(1-Tc) (7) = (5)(1- 1/3)		2,2	4	-10	11,5	13,7	17,4
+ Amortissement (8)		19	21	21	46,3	48,1	50
- Investissement en capital (9)	100	8,1	9,5	307	16	16,3	17
- hausse du BFR (10)	25	4,1	5,5	75	7,1	8	9,7
= Free cash-flow des actifs (11) = (7)+(8)-(9)+(10)	- 125	9	10	-371	34,7	37,5	40,7
+ Valeur terminale des actifs * (12)							610,3
Calcul de la valeur présente							
x(taux d'actualisation de 12 %) (13)	1	0,893 ($1/1,12^1$))	0,797 ($1/1,12^2$))	0,712 ($1/1,12^3$))	0,636 ($1/1,12^4$))	0,567 ($1/1,12^5$))	0,507 ($1/1,12^6$))
Valeur actuelle(par an) (14) = (11)(13)	-125	8	8	-264,1	22	21,3	329,8 (40,7+610,3)0,507
La VAN (somme sur les années de la lignée (14))	0,1						

EBIT (1- Tc) : le résultat avant impôt et charges financières (1 - taux de l'impôt sur les sociétés)
BFR : besoin en fonds de roulement
* : la valeur terminale est calculée en présence d'une perpétuité pour un taux de croissance de 5% par an.

Même si la VAN du projet est très proche de zéro, le projet semble rentable.

En effet, le projet présente une option importante : la dépense de 125 Millions donne le droit d'agrandir (ou non) le projet dans trois ans. Cette option est importante car la dépense de la troisième année est presque trois fois plus élevée que la dépense initiale. La décision est analysée en plusieurs étapes.

Première étape : description de l'option
il est évident que la dépense considérable de la troisième année doit être justifiée. Cette dépense est discrétionnaire, dans la mesure où elle ne doit être effectuée qu'après avoir observé les résultats générés par l'investissement initial. Cette option de croissance est simple à étudier.
Le projet de la société comporte deux phases. Dans la première phase, un investissement de 125 millions est réalisé. Dans une deuxième phase, l'entreprise dispose de la possibilité d'effectuer un investissement additionnel de plus de 300 millions, dans trois ans en vue de disposer d'une plus grande capacité et de se réserver l'option d'entrer sur de nouveaux marchés.
Cette option d'achat, qui présente une échéance de trois ans, peut être exercée en investissant un certain montant dans le besoin en fonds de roulement et les actifs immobilisés. Dans ce contexte, la VAN de la proposition d'investissement est :
VAN (globale) = VAN (actifs de la phase 1) + option d'achat (actifs de la phase 2)

La première phase concerne l'investissement initial et ses cash-flows. La deuxième phase correspond à l'opportunité de croissance, qu'il convient d'exercer ou nom l'année 3.

Deuxième étape : la correspondance entre les caractéristiques du projet et de l'option

La valeur de l'actif sous-jacent correspond à la valeur actuelle des actifs acquis si la société exerce son option. Le prix d'exercice est l'investissement nécessaire dans la deuxième phase. Selon les projections des cash-flows, l'échéance à maturité est dans trois ans. Le taux d'intérêt sans risque est le taux sur les obligations de l'état à trois ans (r = 4,5 %). Le coût d'information est λ_S = 1%. Le taux d'actualisation est de 5,5 %. Ce taux est différent du taux d'actualisation utilisé par l'entreprise (12%). La volatilité est supposée être à 40 %. Cette volatilité s'obtient à partir d'un journal ou des états financiers de l'entreprise. Il est possible d'estimer une volatilité historique à partir des données concernant les rendements sur l'investissement pour un secteur d'activité ou une branche. La volatilité implicite peut être estimée à partir des prix des options cotées sur les marchés pour les options sur actions.

Troisième étape : la séparation entre les deux phases en termes de cash-flows et la valeur de l'option
La séparation entre les deux phases de l'analyse permet de calculer une VAN pour chaque phase. Cette séparation est souvent réalisée en distinguant la valeur de S du prix d'exercice E. Le tableau 4 illustre cette séparation.

Tableau 4

Le calcul de la VAN et la prévision des cash-flows (en millions de francs) pour une période de 6 ans en séparant les deux phases d'analyse et en isolant S et E

Année et projection des cash-flows	0	1	2	3	4	5	6
Cash-flow de la phase 1	0	9	10	11	11,6	12,1	12,7
+ Valeur terminale							191
- Investissement	- 125						
x (taux d'actualisation de 12 %)	1	0,893	0,797	0,712	0,636	0,567	0,507
Valeur actuelle(par an)	-125	8	8	7,8	7,3	6,9	103,2
La VAN de la phase 1 (somme sur les années)	16,3						
Cash-flow de la phase 2				0	23,1	25,4	28
+ Valeur terminale							419,3
- Investissement				- 382			
x (taux d'actualisation de 12 %)				0,712	0,636	0,567	0,507
Valeur actuelle(par an)				-271,9	14,7	14,4	226,6
La VAN de la phase 2 (somme sur les années)	- 16,2						
La VAN des phases 1 et 2 (somme sur les années si on refuse la phase 2)	16,3						
Cash-flow global	0	9	10	11	34,7	37,5	40,7
+ Valeur terminale							610,3
- Investissement	-125			- 382			
x (taux d'actualisation de 12 %)	1	0,893	0,797	0,712	0,636	0,567	0,507
Valeur actuelle(par an)	-125	8	8	-264,1	22	21,3	329,8
La VAN de la phase 1 et 2 (somme sur les années)	0,1						

La première phase présente une VAN de 16,3 millions et la deuxième montre une VAN de -16,2 millions. La VAN totale est de 0,1 million. La valeur de cette proposition d'investissement doit être au moins égale à 16,3 millions car en séparant les deux phases du projet, la valeur de l'option sur la deuxième phase est au moins égale à zéro. Dès lors, la question s'impose de savoir si la VAN de -16,2 est correcte.

La technique d'actualisation des cash-flows comporte une erreur. En effet, la dépense discrétionnaire de l'année 3 est actualisée au taux de 12 %, alors qu'elle est moins risquée que les flux du projet. Si on actualise la dépense de 382 à 5,5% (correspondant au taux d'intérêt sans risque augmenté du coût d'information) au lieu de 12 %, alors la VAN est de 69,6 millions pour la phase 2. Dans ce cas, la VAN du projet est de -53,4 million au lieu de 0,1 million. Pour comprendre cette différence, il suffit d'opérer les calculs comme au tableau 5.

Tableau 5

L'actualisation des flux en fonction du taux d'intérêt sans risque pour la deuxième phase et la baisse de la VAN

Année et projection des cash-flows	0	1	2	3	4	5	6
Cash-flow de la phase 1	0	9	10	11	11,6	12,1	12,7
+ Valeur terminale							191
- Investissement	-125						
x (taux d'actualisation de 12 %)	1	0,893	0,797	0,712	0,636	0,567	0,507
Valeur actuelle(par an)	-125	8	8	7,8	7,3	6,9	103,2
La VAN de la phase 1 (somme sur les années)	16,3						
Cash-flow de la phase 2				0	23,1	25,4	28
+ Valeur terminale							419,3
- Investissement				- 382			
x (taux d'actualisation de 12 %) pour les flux				0,712	0,636	0,567	0,507
x (taux d'actualisation de 5,5 %) pour la dépense				0,852			
Valeur actuelle à 5,5% (de la dépense)				0	14,7	14,4	226,6

Valeur actuelle à 12 % (par an)				-325,3			
La VAN de la phase 2 (somme sur les années)	- 69,6						
La VAN des phases 1 et 2 (somme sur les années)							
Cash-flow	0	9	10	11	34,7	37,5	40,7
+ Valeur terminale							610,3
- Investissement	-125			- 382			
x (taux d'actualisation de 12 %)	1	0,893	0,797	0,712	0,636	0,567	0,507
Valeur actuelle(par an)	-125	8	8	7,8	22	21,3	329,8
La valeur actuelle de la dépense à 5,5 %				-325,3			
La VAN de la phase 1 et 2 (somme sur les années)	-53,4						

Quatrième étape : l'évaluation de l'option

Si l'entreprise envisage la croissance, elle doit investir E= 382 l'année 3. En observant le tableau 5, la valeur actuelle des cash-flows de la phase 2 à partir de la troisième année est de 255,7 millions, (0 + 14,7 + 14 ,4 + 226,6). Dans ce contexte :

$VANq = S / [E/(1+ r + \lambda_S)^t] = 255,7 / [382/(1,055^3)] = 0,786$

$\sigma vt = 0,4\ v3 = 0,693$

En utilisant un prolongement du tableau 2, il est possible de voir que la valeur de l'option d'achat en présence de ces deux données est de 19% de la valeur du support. Ainsi, la valeur de l'option est de 0,19 (255,7), soit environ 48,6 millions. Comme la valeur de la proposition d'investissement correspond à la somme de la VAN et de la valeur d'une option, il vient :16,3 + 48,6 = 64,9 millions. Cette valeur est très différente de 0,1 et de -53,4 million.
Dès lors, le projet doit être accepté.

4. L’extension de l'approche d'évaluation de l'option de R&D

Une approche d'évaluation de l'option de R&D à la Black et Scholes (1973) suppose l'arrivée de l'information d'une façon continue. En théorie, les nouvelles informations sont directement reflétées dans les prix des actifs sur les marchés. En considérant un projet de R&D, l'information qui conduit à un ajustement de la valeur du projet n'arrive qu'à des instants bien donnés. L'arrivée de l'information d'une façon discrète affecte la valeur présente des cash-flows futurs. De ce fait, les changements de la valeur du projet apparaissent selon une certaine fréquence aléatoire à plusieurs reprises au cours de la vie du projet.

La valeur présente des cash-flows futurs est ajustée en fonction de la découverte de nouvelles technologies réductrices de coût, l'arrivée rapide de concurrents sur le marché (faisant baisser les marges). Dans le premier cas, les dépenses baissent et la valeur présente des cash-flows augmente. Dans le second cas, la baisse des recettes réduit les cash-flows futurs. L'utilisation d'un processus de poisson permet de décrire ces mouvements dans la valeur du projet. La variance du projet regroupe deux éléments : le nombre espéré d'arrivée de l'information et l'ampleur du saut (à la hausse ou à la baisse). L'apparition d'une grande variation sur le marché (changement de technologie) conduit les dirigeants à réviser le plan d'activité, à recalculer la valeur de l'option et à réajuster la valeur du portefeuille de R&D.

Les variations positives peuvent augmenter le budget de R&D et vice versa. L'arrivée discontinue de l'information permet à Lint et Pennings (1998) de proposer un modèle dans lequel la valeur présente des cash-flows futurs suit un mouvement déterministe auquel sont superposés des sauts aléatoires.

Dans ce modèle, la variance de l'actif sous-jacent σ^2 correspond au produit d'un paramètre qui représente le nombre de sauts anticipé par an (ρ) et le carré d'un paramètre qui reflète la variation absolue anticipée du support pendant chaque modification de l'activité (γ), soit :
$\sigma^2 = \rho\gamma^2$

Le paramètre ρpeut être estimé par le ratio du nombre de variation sur la période et le nombre de périodes dans l'année.
Le terme γ^2 est estimé à partir de la moyenne des variations quadratiques du support à chaque changement d'activité. Dans le domaine de la recherche en multimédia, les auteurs trouvent que le nombre de variations dans l'activité est de 3,35 par an et que γ est de 0,107.

En utilisant les résultats de la théorie asymptotique, la valeur de l'option C(t) peut être approchée par une formule à la Black et Scholes (1973) dans laquelle la variance est replacée par le terme $\rho\gamma^2$:

$c(t) = S(t)\, N(d+ \sigma v\, \rho\gamma(T-t) - I \exp(-r(T-t))\, N(d)$
avec :
$d = [\ln(S(t)/I) + (r - 1/2\, \rho\gamma^2\ )(T-t)]/\sigma v\, \rho\gamma(T-t)$
avec :

S(t) : la valeur de l'actif support en t;
I : le coût exigé pour introduire efficacement le produit au marché,
r : le taux d'intérêt sans risque,
T - t : l'échéance à maturité de l'option.

En prenant en considération les coûts d’information, la formule d’évaluation devient :

$c(t) = S(t) \exp(- \lambda s - \lambda c)(T-t))\, N(d+ \sigma v\, \rho\gamma(T-t) - I \exp(-(r+ \lambda s)(T-t))\, N(d)$
avec :
$d = [\ln(S(t)/I) + (r + \lambda s - 1/2\, \rho\gamma^2\ )(T-t)]/\sigma v\, \rho\gamma(T-t)$

5. L’ irreversibilité, l’incertitude et l’investissement en présence de coûts d’information

Les études de Mcdonald et Siegel (1985, 1986), Brennan et Schwartz (1985), Majd et Pindyck (1987) proposent des modèles explicatifs des facteurs qui incitent les sociétés à retarder l'investissement. Dans ces modèles, le retardement s'explique par l'attente de nouvelles informations. Ces modèles montrent que l'arrivée de nouvelles informations réduit l'incertitude alors que dans le modèle de Pyndick (1991), cette incertitude subsiste malgré les nouvelles informations. Dès lors, comment l'irréversibilité affecte-elle la décision d'investissement en présence de coûts d'information?
Comment peut-on utiliser un modèle d'options en présence de coûts d'information pour évaluer l'opportunité d'investissement ?

Exemple. Considérons la décision d'investir dans une usine de production d'aluminium. L'investissement initial I permet de produire 1 unité chaque année jusqu'à l'infini. Le prix de l'unité est de 100. Le prix peut augmenter dans un an à 150 avec une probabilité q, comme il peut baisser à 50 avec une probabilité (1- q). Ce prix demeure constant après jusqu'à l'infini.

Supposons que le risque est diversifiable et que l'entreprise actualise ses cash-flows au taux d'intérêt sans risque de 9 % et que le coût d'information est de 1 %. Si I = 800 et q = 0,5, doit-on investir immédiatement ou attendre une année ?

La VAN standard de ce projet est 300, soit :

$VAN = - 800 + \Sigma_{t=0}\ 100/(1,1)^t$

$= - 800 + 1100 = 300$

Comme la VAN est positive, la valeur actuelle du projet $V_0 = 1100 > 800$; ceci conduit à accepter le projet. Cette conclusion est erronée car elle ignore la possibilité de retarder l'investissement. Pour s'en rendre compte, calculons la VAN du projet lorsqu'il est réalisé dans un an en cas de hausse du prix :

$VAN = 0,5\ (-800/1,1 + \Sigma_{t=1}\ 150/(1,1)^t)$

$= 425/1,1 = 386.$

Comme l'investissement est réalisé dans un an lorsque le prix monte à 150 avec une probabilité de 0,5, la VAN est plus élevée en cas d'attente. Par conséquent, il vaut mieux attendre un an pour investir.

Si la décision concerne un investissement immédiat ou “jamais”, il est souhaitable d'investir immédiatement. Dans ce cas, il n'existe pas d'opportunité, ni d'options. D'une façon similaire, il est approprié d'investir immédiatement s'il est possible de désinvestir dans un an pour récupérer les 800 en cas de baisse du prix. Ainsi, la prise en considération d'un coût d'opportunité lors du calcul de la VAN exige la présence de deux éléments : l'irréversibilité et la possibilité d'investir dans l'avenir. La valeur de cette flexibilité est donnée par la différence entre les deux VAN, soit 86, (386 - 300).

Cette opportunité d'investissement est similaire à une option d'achat sur actions qui donne le droit d'investir un certain montant (le prix d'exercice de l'option) et de recevoir le projet (l'action).

Dans cet exemple, si le prix monte à 150 dans un an, l'option est exercée en payant 800 et en recevant un actif de valeur V = 1650, ($\Sigma_{t=0}$ 150/(1,1)^{t})) .
Si le prix baisse à 50, l'option n'est pas exercée. En supposant un investissement dans un an, la VAN est de 386. Cette valeur peut être recalculée avec la théorie des options.

Désignons par F_0 la valeur aujourd'hui d'une opportunité d'investissement, c'est-à-dire, le prix à payer immédiatement pour profiter de l'option d'investir dans un an. Désignons par F_1 la valeur de cette possibilité dans un an.

Si le prix de l'aluminium monte à 150, la valeur de F_1 est de 850, soit
$\Sigma_{t=0}$ 150/(1,1)^{t}) - 800.
Si le prix de l'aluminium baisse à 50, la valeur de l'option d'investir est nulle et par conséquent F_1 est égal à 0. Le problème est donc de calculer F_0.

Pour ce faire, il suffit de construire un portefeuille qui regroupe l'opportunité d'investissement et un certain nombre d'unités de l'actif (aluminium). Ce portefeuille est construit de façon à ce que sa valeur dans un an soit indépendante du prix de l'actif sous-jacent. Comme ce portefeuille est sans risque, il doit rapporter le taux d'intérêt sans risque. Ce raisonnement permet de calculer la valeur de l'opportunité d'investissement.

La valeur de ce portefeuille à l'instant initial est :
$\Phi_0 = F_0 - n\, P_0 = F_0 - 100\, n$

La valeur du portefeuille dans un an est :
$\Phi_1 = F_1 - n\, P_1 = F_1 - 100\, n$

Si $P_1 = 150$ alors $F_1 = 850$ et $\Phi_1 = 850 - 150\, n$.
En revanche, si $P_1 = 50$ alors $F_1 = 0$ et $\Phi_1 = - 50\, n$. Pour que la valeur du portefeuille soit indépendante du prix, en présence d'un portefeuille sans risque, la valeur de n doit être calculée comme suit :
$850 - 150\, n = - 50\, n$
ou encore $n = 8,5$.

En utilisant cette valeur de n, la valeur de Φ_1 est de - 425.
Pour déterminer le rendement de ce portefeuille, il suffit de calculer le gain en capital, $\Phi_1 - \Phi_0$ diminué du coût supporté pour une position couverte.
Comme le prix anticipé sur le support (l'aluminium) est de 100 dans un an, aucun investisseur n'accepte de détenir cet actif sauf s'il est rémunéré au moins à 10 %. La vente à découvert de l'actif exige un flux de $0,1\, P_0 = 10$ par unité

d'actif (par an). Comme le portefeuille montre une position courte dans le support de 8,5 unités, elle conduit à un résultat de 85.

Le rendement sur ce portefeuille est donné par la différence suivante :

$$(\Phi_1 - \Phi_0) - 85 = \Phi_1 - (F_0 - n P_0) - 85$$
$$= - 425 - F_0 + 850 - 85 = 340 - F_0$$

Comme ce portefeuille est sans risque, il doit rapporter le taux d'intérêt sans risque de 9 % et un rendement additionnel qui rémunère les dépenses en information de 1 %, soit 0,1 :

$340 - F_0 = 0{,}1(F_0 - 850)$

Ainsi, la valeur de F_0 est de 386. Cette valeur est équivalente à celle obtenue précédemment en calculant la VAN en présence de l'opportunité de différer l'investissement d'un an en présence de coûts d'information.

La valeur de l'opportunité d'investissement, (c'est-à-dire celle de l'option d'investir dans le projet) est de 386. Le résultat au moment d'un exercice immédiat est de 300, (1100 - 800). Une fois l'investissement réalisé, cette option disparaît et par conséquent le montant de 386 correspond au coût d'opportunité de l'investissement. Le coût total de l'investissement est de 1186, (800 + 386). Ce montant est supérieur à 1100, d'où la nécessité d'attendre avant d'investir.

La détermination du prix de l'option est fondée sur la construction d'un portefeuille d'arbitrage avec une position dans l'opportunité d'investissement et une position dans l'actif sous-jacent (aluminium). Il est possible d'utiliser un autre actif sous-jacent fortement corrélé avec le prix de l'aluminium lors de la construction de ce portefeuille. S'il n'existe pas d'actifs de risque équivalent ou s'il est impossible de négocier l'actif sous-jacent, il est toujours possible de calculer la valeur de l'option d'investir à partir de la VAN. En effet, il suffit de calculer la VAN pour chaque stratégie d'investissement (investir immédiatement ou attendre un an si le prix monte) et de choisir la VAN la plus élevée. Cette approche constitue de la programmation dynamique. Dans ce cas, le prix de l'option est identique car le risque de prix est diversifiable.

Dans cet exemple simplifié, nous avons supposé l'absence d'incertitude à partir de la deuxième période. Il est possible d'introduire cette incertitude en faisant varier les prix à chaque période. Ainsi, par exemple, le prix peut augmenter en t= 2 à 150 avec une probabilité p, comme il peut baisser à 75 avec la probabilité (1-q). Cette analyse peut être prolongée sur plusieurs périodes en évaluant l'option à partir d'une version modifiée du modèle de Cox, Ross et Rubinstein (1979) en présence de coûts d'information. Par ailleurs, il est possible de dériver dans le même contexte un modèle en temps continu à la Bellalah et Jacquillat (1995) ou Bellalah (1999 a) pour l'évaluation de ces options.

Cette analyse peut être prolongée pour prendre en considération les coûts irrécupérables (*sunk costs*). Par exemple, il peut exister des coûts pour entrer ou sortir dans une branche d'activité donnée. La société qui détient le projet dispose d'une option de vente du projet pour sa valeur nette diminué de ce coût. Ces coûts correspondent également aux coûts relatifs au démarrage et à l'arrêt de la production.

L'évaluation des projets en présence de ces coûts est étudiée par Brennan et Schwartz (1985), Dixit et Pindyck (1993, 1995), Dixit (1989), Majd et Pindyck (1987), Kulatilaka (1995), Pindyck (1988), Triantis et Hodder (1990) et Trigeorgis (1993), etc.

Roberts et Weitzman (1981) ont proposé un modèle avec investissement séquentiel qui prend en considération le rôle attribué à la collecte d'information. Dans le contexte du modèle de Roberts-Weitzman les prix et les coûts n'évoluent pas d'une façon aléatoire. Il n'y a pas de gain pour attendre et aucun coût d'opportunité relatif à un investissement immédiat. En revanche, la collecte de l'information présente un coût fantôme (*shadow cost*) pour les premières étapes du projet. Pindyck (1988) a proposé un modèle qui prend en considération l'irréversibilité de la décision d'investissement.
Mauer et Ott (1995) ont utilisé les apports de la théorie des options pour étudier les déterminants de la politique optimale d'un remplacement séquentiel d'un équipement.

Grenadier et Weiss (1997) et Mauer et Ott (1995) étudient la décision de remplacer une technologie en cours par une technologie nouvelle qui arrive d'une façon aléatoire. Ces articles supposent que le processus décrivant la nouvelle technologie évolue d'une façon complètement aléatoire et qu'il est spécifié d'une façon exogène.

Le modèle de Childs, Ott et Triantis (1998) suppose que les technologies concurrentes doivent être mise en oeuvre en premier lieu en présence d'autres technologies corrélées disponible.

La littérature économique propose également des exemples de modèles concernant les développements parallèles et séquentiels en matière de recherches et de développement. Childs, Ott et Triantis (1998) ont proposé un modèle général d'évaluation des projets en présence de différentes interactions. Dans ce modèle, la politique d'investissement optimale exige de choisir le maximum entre :
- la valeur associée à un développement parallèle des projets,
- la valeur maximale de deux alternatives en développement séquentiels,
- la valeur relative à un non développement de projets.

La littérature relative aux options réelles montre plusieurs situations dans lesquelles le dirigeant peut changer (switch) d'un état à un autre. Ces états sont discret (comme l'ouverture ou la fermeture d'une usine) ou continu (continuer l'exploitation à différents niveaux de la capacité).

L'option de démarrer un projet est étudiée initialement par Majd et Pindyck (1987), McDonald et Seigel (1986) et Pindyck (1988). L'option de déclasser un projet est analysée par Myers et Majd (1984) en considérant le caractère irréversible de la décision d'investissement. L'étude de Triantis et Hodder (1990) élimine la possibilité de revenir sur un état précédent. L'option d'un déclassement temporaire d'une usine est étudiée par McDonald et Siegel (1985) en présence d'une décision irréversible.

Brennan et Schwartz (1985) ont évalué une mine de cuivre en prenant en considération les deux types de décision. Triantis et Hodder (1990) ont évalué des options complexes en présence d'un système de production flexible. Ce système permet à la société de choisir une combinaison des produits (*output*) et de modifier ce choix au cours du temps. Ce système est certainement plus coûteux qu'un système sans aucune flexibilité. Dès lors, la mise en oeuvre de ce système nécessite un compromis entre le coût initial et la valeur de cette flexibilité.

Pindyck (1988) et He et Pindyck (1989) utilisent des courbes de demande avec des pentes décroissantes pour étudier les décisions du choix de la capacité dans le contexte des options réelles. Ces modèles considèrent une échéance infinie et des ajustements en continu de la quantité d'*output*.

Les modèles des options réelles proposés par Abel (1990), (1995), Trigeorgis (1996) et Dixit et Pindyck (1994), McDonald et Siegel (1986), Mauer et Ott (1995), Childs, Ott et Triantis (1998), Mason et Merton (1985), Grenadier et Weiss (1997), Ingersoll (1992), McDonald et Siegel (1986, 1987) et ceux cités dans cet article peuvent être prolongés pour prendre en compte les coûts d'information.

6. La généralisation de l'approche des options implicites dans les décisions d'investissement en présence de coûts d'information

Le modèle de Trigeorgis (1991) permet d'évaluer les options réelles implicites dans un projet d'investissement. Il est fondé sur une transformation logarithmique du modèle de Cox Ross et Rubinstein (1979) en prenant en considération les détachements de dividendes. Pour prendre en compte les coûts d'information dans une nouvelle version de ce modèle, désignons par :

V : la valeur totale du projet,
X : le logarithme de V,
σ : la volatilité de V,
r: le taux d'intérêt sans risque,
λ_S : le coût d'information sur le projet,
λ_c : le coût d'information sur les options implicites dans le projet,
τ : un intervalle de temps raisonnablement petit,
T : la durée de vie du projet,
N : le nombre d'intervalles de temps avec T = N.

En supposant que pour chaque intervalle de temps, τ, la variation de X, ?X évolue à la hausse (à la baisse) par une quantité ?X = H, (?X = -H), avec une certaine probabilité p, (1 - p), la version modifiée du modèle de CRR utilise les paramètres suivants:

$K = \sigma^2 (T/N)$: le pas de temps, (1)
$\mu = [(r+ \lambda_S)/\sigma^2] - 1/2$: la tendance du prix de l'actif support, (2)
$H = [K + (\mu K)^2]^{1/2}$: la variation de X, ou encore le pas d'espace, (3)
$p = 1/2(1 + \mu K/H)$: la probabilité de la hausse ou de la baisse. (4)

Désignons par "j" le nombre entier de pas de temps, K, et par "i" le nombre entier de pas d'espace de la variable X. L'indice "i" représente la différence entre le nombre de hausse et le nombre de baisse de la valeur du support. Ainsi, la valeur de l'actif à chaque étape est égale à sa valeur initiale augmentée de iH, soit:

$$X(i) = X_0 + ih \tag{5}$$

Désignons par R(i), la valeur totale du projet avec ses options implicites à l'état i. La mise en oeuvre du modèle s'effectue en quatre étapes.

La première étape

L'utilisation du modèle exige l'entrée d'un certain nombre de paramètres : la valeur du projet V, le taux r, la volatilité σ , la durée de vie T et la série de prix d'exercice (les dépenses d'investissements, I). Il faut également spécifier les cash-flows, CF, les caractéristiques des options implicites et le nombre N d'intervalles de temps.

La seconde étape

La définition du pas de temps, k, de la tendance μ , du pas d'espace H et de la probabilité p permet de générer le modèle binomial sur les N périodes. Ainsi en partant de l'instant initial et en utilisant les indices i , j et les valeurs des paramètres données par les équations (1) à (5), il est possible de générer un arbre sur N périodes, représentant l'évolution de la valeur du projet avec ses options implicites, R(i).

La troisième étape

À la date d'échéance, j = N, il s'impose de définir les valeurs des options implicites. Dans la mesure où à chaque noeud de l'arbre, la valeur du projet est donnée par :

$$V(i) = e^{X0 + i H} \tag{6}$$

la valeur du projet avec ses options implicites est :

$$R(i) = \max[V(i), 0]. \tag{7}$$

La quatrième étape:

La dernière étape consiste à procéder d'une façon récursive à partir de la date d'échéance. Pour chaque instant j et à chaque état i, la valeur totale du projet augmentée des options est calculée en fonction des valeurs de l'instant (j + 1) pour j allant de (n - 1) jusqu'à 1. En considérant deux périodes successives j et (j + 1), la valeur totale du projet à l'instant j et à l'état i est obtenue par l'actualisation de sa valeur espérée au taux d'intérêt sur l'intervalle de temps $\tau = K/\sigma^2$, comme suit :

$$R(i) = e^{-(r+ \lambda_c)(K/\sigma^2)} [p\, R(i + 1) + (1 - p)\, R(i - 1)] \tag{8}$$

Les valeurs de R(i + 1) et R(i - 1) correspondent au moment (j +1).

À la date d'un cash-flow ou d'un dividende, la valeur de R(i) est :

$$R'(i) = R(i -x) - CF, \tag{9}$$

En effet à cette date, la valeur de l'actif, $V = e^{(X0 + i H)}$ est amputée d'un montant CF. En désignant par (-) et (+) les moments juste après (avant) le paiement effectué, il vient:

$$V^-(i) = V^+(i) - CF. \tag{10}$$

Dans la mesure où la valeur de l'option n'est pas modifiée, la valeur du projet augmentée de ses options implicites après la date de paiement s'écrit :

$$R'(V^-) = R(V^+ - CF) + CF. \tag{11}$$

Cet ajustement est similaire à celui de l'évaluation d'une option en présence de dividendes. À la date d'une dépense d'investissement, I, la valeur totale du projet est révisée à la baisse d'un montant I, soit:

$$R'(i) = R(i) - I \qquad (12)$$

En adoptant la procédure récursive, chaque option réelle est prise en compte dans le modèle en fonction de ses caractéristiques. Par souci de clarté, considérons l'évaluation d'un projet qui nécessite une phase de construction et une phase d'exploitation. Durant la première phase, une dépense initiale I_1 est effectuée. Cette dépense est suivie de deux dépenses I_2 et I_3. Le projet offre aux dirigeants la possibilité de retarder la mise en oeuvre du projet de T_1 années. Ils disposent également des possibilités suivantes :

- la flexibilité d'abandonner la dépense envisagée I_2 ,
- la flexibilité de réduire la taille du projet d'un pourcentage c réalisant ainsi une économie d'un montant I'_3 sur la dépense prévue I_3,
- la possibilité d'agrandir l'échelle de production d'un certain pourcentage e% en supportant une dépense supplémentaire I_4,
- la flexibilité de modifier l'utilisation du projet et de l'abandonner pour sa valeur de liquidation S.

Ces options sont étudiées par Kensinger (1982, 1987), Myers et Majd (1990), Majd et Pindyck (1987), Mason et Merton (1985), etc.

Les résultats des options réelles en présence de coûts d'information sont résumés au tableau suivant.

Tableau
Les résultats des opportunités d'investissement

Opportunité de changer l'exploitation, ou abandonner le projet pour sa valeur S.	$R' = \max(R,S)$
Opportunité d'augmenter la taille d'une fraction e % en effectuant une dépense I_4	$R' = R+\max(eV-I_4,0)$
Opportunité de réduire la taille du projet d'une fraction c %, en économisant I'_3	$R' = R+\max(I'_3-cV,0)$
Possibilité d'abandonner le projet.	$R' = \max(R-I_2,0)$
Possibilité de retarder la mise en route du projet d'une période.	$R = \max(e^{-(r+\lambda c)\tau} E(R_{j+1}),R_j)$

Conclusion

L'environnement économique et financier actuel est caractérisée par une volatilité plus élevée que celle observée au début des années 1970. Cette augmentation de la volatilité reflète la globalisation des marchés et la fluctuation des taux en raison de la révolution technologique observée partout dans le monde. Cette révolution technologique est facilitée par les nouvelles technologies de l'information.

Cette incertitude (quelle que soit son origine) conduit les dirigeants à apprécier les options représentées par la flexibilité dans la décision d'investissement. Les décisions qui développent et préservent la flexibilité (l'investissement en recherches et développement, les tests marketing, etc.) présentent une certaine valeur. Les choix qui réduisent la flexibilité (l'exercice des options) et qui engagent le capital d'une façon non récupérable présentent une valeur inférieure à celle dictée par la VAN. Le choix optimal d'un investissement consiste à conserver les options ouvertes.

Cette étude est un prolongement du critère de la VAN standard pour prendre en compte l'opportunité de différer un projet dans le temps et de réaliser une dépense d'investissement additionnel en vue de la croissance des activités de l'entreprise. La théorie des options offre à ce sujet un complément indispensable pour apprécier la VAN du projet.

Cette analyse suppose que le moment de l'investissement et le montant à investir sont connus avec certitude. L'analyse peut être prolongée à un contexte dans lequel ces données sont aléatoires. Il est possible également de prolonger ce contexte d'analyse en considérant une volatilité aléatoire.

Nous avons rappelé les principaux modèles d’évaluation des options réelles en choix des investissements et prolongé cette analyse pour prendre en considération les coûts d’information. Notre analyse peut intégrer les coûts d’information dans n’importe quel modèle de sélection de projets et de choix des investissements.

REFERENCES

Abel A., 1983, “Optimal Investment Under Uncertainty”, American Economic Review, 73, pp. 228-233

Arbel, A. et P. Strebel., (1982), "The Neglected stocks and Small Firm Effects.", *The Financial Review* : 201-218.

Barry, C. et S. J. Brown. (1986), "Limited Information As a Source of Risk.", *Journal of Portfolio Management*,12 :66-73.

Bellalah M., (1999 a), "Les biais des modèles d'options révisités", Revue Française de Gestion, Juin, pp 94-100

Bellalah M., (1999 b), "The valuation of futures and commodity options with information costs", Journal of Futures Markets, September

Bellalah M., Jacquillat B., (1995), " Option Valuation with Information Costs:

Theory and Tests", *Financial Review,* August : 617-635.

Bellalah M., Bryis E. et Mai H., *Options, Futures and Exotic Options,* John Wiley & Sons, 1998.

Brennan M., et Schwartz E., "A New Approach to Evaluating Natural Resource Investments," *Midland Corporate Finance Journal,* 1985.

Brennan M. J. et Schwartz, E. S. " Evaluating Natural Resource Investments", *Journal of Business* 58, April 1985, pp 135-57.

Brealey R. et Myers S., 1996, Principles of Corporate Finance", New York, McGraw Hill,

Black F. et Scholes M. "The pricing of options and corporate liabilities", Journal of Political Economy, Volume 81, May/June 1973, pp. 637.654

Cox J.C. et Ross S., "The Valuation of Options for Alternative Stochastic Processes", *Journal of Financial Economics,* 3, 1976, pp. 145-166.

Cox J.C., Ross S. et Rubinstein M., "Option Pricing : A Simplified Approach", *Journal of Financial Economics,* 7 , 1979, pp. 229-263.

Dixit A. et Pindyck R. , "The Options Approach to Capital Investment ", Harvard Business Review, Mai-Juin 1995, pp 105-115

Dixit A., et Pindyck R., *Investment under Uncertainty,* Princeton Press 1993.

Grenadier S. et A. Weiss, 1997, "Investment in technological innovations : an option pricing approach" Journal of financial Economics 44, p "397- 416.

He H. et Pindyck R., 1989, "Investments in Flexible Production Capacity", MIT, Sloan School of Management, Working Paper, N 2102-89, March,

Ingersoll E., Ross, S., "Waiting to Invest : Investment and Uncertainty", *Journal of Business,* vol 65, N°1, 1992.

Kulatilaka N., 1988, "Valuing the flexibility of flexible manufacturing systems", IEEE Transactions in Engineering Management 35, pp 250-257

Kensinger J. , "The capital invstment Project as a set of exchange options.", *Managerial Finance,* 1988.

Kensinger J.W., "Adding the Value of Active Management into the Capital Budgeting Equation ", *Midland Corporate Finance Journal,* Spring 1987, pp 31-42.

Kester W.C., "Evaluating Growth Options : A New Approach to Strategic Capital Budgeting,", Document de Travail, 83-38, Harvard Business School, November 1982.

Kester W.C., "Today's Options for Tomorrow's Growth,", *Harvard Business Review,* March/April 1986.

Luehrman T., "what's it worth ?", Harvard Business Review, Mai-Juin 1997

Luehrman T., "Strategy as a Portfolio of real Options ?", Harvard Business Review, Juillet-aout 1998

Lintner J. (1965), "Security Prices, risk and Maximal Gains from Diversification", Journal of Finance, December,

Lint O. et Pennings E, 1998, “R&D as an option on market introduction”, R&D Management, 28, 4, pp 297-287.

Mauer D. et S. Ott, "Investment under uncertainty : the case of replacement Investment decisions", Journal of Financial and Quantitative Analysis Vol 30, n4, 1995.

Mason, S. et Merton R.C., "*The Role of Contingent Claims Analysis in Corporate Finance, " in Recent Advances in Corporate Finance E.I. Altman and M.G. Subrahmanyam (eds.),* Homewood, IL : Irwin, 1985.

Majd S. et Pindyck R., "Time to Build, Option Value, and Investment Decisions," *Journal of Financial Economics*, 1987, pp 7-27.

McDonald R. et Siegel D., "The Value of Waiting to Invest." , *Quarterly Journal of Economics* 101, 1986, pp 707-27.

McDonald R. et Siegel D., "Investment and the Valuation of Firms When There Is an Option to Shut Down", *International Economics Review*, 1985.

Merton R., (1987), " An equilibrium Market Model with Incomplete Information", *Journal of Finance*: 483-511

Mossin J. (1966), "Equilibrium in a Capital Asset Market", Econometrica, October,

Myers S.C. et Turnbull S., "Capital Budgeting and the Capital Asset Pricing Model : Good News and Bad News,", *Journal of Finance,* 1977, pp 321-333.

Myers S. et Majd S., "Abandonment value and Project Life", *Advances in Futures and Options Research*, 1990, vol 4, pp 1-21.

Newton D et Pearson A., 1994, "Application of option pricing theory to to R&D", R&D Management 24, pp. 83-89

Paddock J., Siegel D. et Smith., "Option Valuation of Claims on Physical Assets : The Case of Offshore Petroleum Leases", *Quaterly Journal of Economics*, 1988, pp 479-508.

Pindyck R., "Uncertainty and Exaustible Resource Markets", *Journal of Political Economy* 86, 1980, pp 1203-1225.

Pindyck R..," Irreversible investment, capacity choice, and the value of the firm", *American Economic Review* 78, 1988, pp.969-985.

Pindyck R., 1991, "Irreversibility, Uncertainty, and Investment", Journal of Economic Literature, p 1110-1148.

Roberts K et Weitzman M.., "Finding creteria for Research, development and Extrapolation Projects ", *Econometrica*, sept 1981, 49, pp 1261-88

Sharpe W. (1964), " Capital Asset Prices: A theory of Market equilibrium under Conditions of risk", Journal Of Finance, September,

Siegel D., Smith J. et Paddock J., "Valuing Offshore Oil Properties with Option Pricing Models", *Midland Corporate Finance Journal*, 1987, pp 22-30.

Triantis A. et Hodder J. "Valuing flexibility as a Complex Option", Journal of Finance, N 2, juin 1990

Triantis A., 1988, "Contingent claims valuation of flexible production systems", Ph.D. Dissertation, Stanford University (August)

Trigeorgis L. et Mason P. (1987), "Valuing Managerial Flexibility", Midland Corporate Finance Journal, 5, pp. 14-21

Trigeorgis L. (1991), "A Log-Transformed Binomial Numerical Analysis Method for Valuing Complex Multi-option Investments, Journal of Financial and Quantitative Analysis, 26, pp 309-32

Trigeorgis L. "The nature of option interactions and the valuation of investments with multiple real options ", Journal of Financial and Quantitative Analysis, vol 28, Mars 1993

Trigeorgis L. (1996), "Real Options : Managerial flexibility and Strategy in Resource allocation", Cambridge, Mass, MIT Press, Trigeorgis L. (1995), Real Options in capital Investment", Harvard Business Review, May-June