

# Contribution à l'évaluation du risque dans les projets agricoles: conjonction des méthodes Monte-Carlo et Black-Scholes

M.T. LAHRECH<sup>1</sup>, M. BENABDELLAH<sup>1</sup>

(Reçu le 25/10/2017; Accepté le 20/12/2017)

## Résumé

Cet article s'intéresse à la prise en compte du risque dans l'évaluation financière et économique des projets, en l'occurrence les projets agricoles. Son objectif n'est pas d'étudier la rentabilité ou le risque d'un projet en particulier, mais de proposer une idée qui se rapporte à la méthodologie même de l'analyse du risque, et qui permettrait de comparer la rentabilité des projets lorsque ceux-ci sont à des niveaux de risque différents. Pour aider à la décision d'investissement lorsque les projets sont à la fois rentables et risqués, cet article propose un indicateur hybride qui indiquerait lequel des projets considérés a la meilleure combinaison rentabilité/risque. La mise au point de cet indicateur hybride s'inspire de l'analyse par les options réelles et provient d'une conjonction entre la simulation Monte Carlo et la formule Black-Scholes relative au pricing des options financières pour l'approche paramétrique, et d'une utilisation inverse de la méthode Datar-Mathews pour l'approche non paramétrique. Pour illustrer dans le détail le calcul de cet indicateur, une étude de cas sera faite dans un article subséquent.

**Mots-clés:** Analyse de projet, analyse coûts-bénéfices, analyse du risque, options réelles, Monte Carlo, Black-Scholes, Datar-Mathews

## Contribution to risk assessment in agricultural projects: conjunction of Monte-Carlo and Black-Scholes methods

### Abstract

This article treats the way risk is integrated in financial and economic projects analysis, especially agricultural ones. Its objective is not to study the profitability or the risk of a particular project, but it proposes an idea that relates to the methodology itself of risk analysis that would allow comparison of projects profitability when they are at different levels of risk. This will feed into the decision-making process, when it comes to projects that are both profitable and risky. This paper proposes a hybrid indicator that would indicate which of these projects has the best combination of profitability and risk. The development of this indicator is based on real options analysis. It comes from a conjunction between the Monte Carlo simulation and the Black-Scholes option pricing formula for the parametric approach, and from a reverse use of the Datar-Mathews method for the non-parametric approach. For illustration purposes of the calculation of this indicator, a case study will be presented in a subsequent article.

**Keywords:** Project analysis, cost-benefit analysis, risk analysis, real options, Monte Carlo, Black-Scholes, Datar-Mathews

## INTRODUCTION

Cet article s'intéresse à la prise en compte du risque dans l'évaluation financière et économique des projets, en l'occurrence les projets agricoles. Son objectif n'est pas d'étudier la rentabilité ou le risque d'un projet en particulier, mais il propose une idée qui se rapporte à la méthodologie même de l'analyse du risque, et qui permettrait de comparer la rentabilité des projets lorsque ceux-ci sont à des niveaux de risque différents. Pour aider à la décision d'investissement lorsque les projets sont à la fois rentables et risqués, cet article propose un indicateur hybride qui indiquerait lequel des projets considérés a la meilleure combinaison rentabilité/risque. Dans ce qui suit, nous proposons tout d'abord de citer quelques méthodes existantes de mesure du risque qui complètent habituellement l'analyse des cash flows, puis, à l'issue de leur insuffisance que nous allons démontrer, et qui constitue notre problématique, nous allons proposer une méthodologie complémentaire.

## Problématique

### Analyse de la rentabilité

L'Analyse coût-bénéfice (ACB) est un préalable décisif au lancement et au pilotage des projets de développement agricole. C'est un outil d'aide à la décision qui consiste à comparer les coûts aux bénéfices additionnels du projet étudié, en produisant un certain nombre d'indicateurs tels la valeur actualisée nette (VAN), le taux de rentabilité (TR), l'indice de rentabilité (IR), le ratio coût-bénéfice (RCB) et le délai de récupération du capital (RC).

L'ACB au sens classique est une analyse en environnement déterministe. Elle se base sur des hypothèses bien définies qui convergent vers un résultat unique, supposé être le plus vraisemblable. Le principe de l'ACB, dite aussi analyse des cash flows actualisés, est d'établir la série des cash flows nets annuels générés par le projet, qui résultent de la différence entre les cash inflows (bénéfices) et les cash outflows (coûts) annuels. En découlant de cette série de cash flows,

<sup>1</sup> Département des Sciences Humaines, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

les différents indicateurs à savoir la VAN, le TRI, l'IR, le RCB et le RC, renseignent, chacun par sa spécificité sur la viabilité, l'efficacité et la pertinence du projet.

L'ACB en modèle déterministe a démontré aussi bien son intérêt et sa simplicité que ses limites. En effet, sachant que la plupart des variables impliquées dans une analyse ex-ante ne sont pas observées mais prédites, l'évolution inattendue de certaines variables, ou du moins les plus influentes, conduirait à une réalisation bien différente de la prévision de départ. Dans ce sens, toutes les méthodes d'analyse ex-ante sont soumises à l'incertitude et au risque de prévision.

Puisque risque et incertitude influencent les coûts et les bénéfices prédits, il est important que cette influence soit quantifiée et analysée du point de vue de sa signification et sa pertinence. C'est dans ce but que l'ACB, comme toutes autres méthodes, est associée à des analyses complémentaires.

### Analyse de la sensibilité

En complément à l'ACB, l'analyse de sensibilité permet d'explorer les sentiers de l'incertitude. Elle simule des changements qui pourraient affecter l'environnement du projet afin d'apprécier leurs portées et leurs impacts. L'analyse de sensibilité permet aussi de mesurer l'influence spécifique de chaque variable sur la performance du projet, en exposant les variables-clés qui le feront soit réussir soit échouer. Elle permet également de désigner les hypothèses critiques qui méritent plus d'attention et d'investigation, comme elle permet à l'inverse, de désigner les hypothèses et les variables peu influentes sur lesquels il n'est pas nécessaire de trop s'attarder.

En revanche, l'analyse de sensibilité se limite à un but exploratoire. Différentes hypothèses sont testées à des valeurs arbitraires, sans considération de la vraisemblance de leur réalisation. En outre, l'élasticité du résultat par rapport aux différentes variables est testée une-à-une *Ceteris Paribus*, sans combinaison des différentes possibilités (analyse multivariée) et sans considération de leurs interdépendances, ce qui interpelle, selon les cas, les analyses complémentaires citées ci-après.

### Analyse du seuil de rentabilité

Après repérage des variables-clés, cette analyse permet de désigner les niveaux de ces variables en dessous desquels le projet n'est plus rentable. Il s'agit généralement des seuils minima du rendement, du taux de réussite des plantations, des prix (si volatiles), et des volumes commercialisés. Le seuil de rentabilité insinue de même, et de façon plus agrégée, la valeur minimale du chiffre d'affaire au-dessus de laquelle le projet devient viable. L'avantage de cet indicateur et qu'il permet d'attirer l'attention sur les seuils critiques qui sont décisifs pour le projet, sans accorder beaucoup d'importance à l'effet marginal de chaque variable.

### Analyse de scénario

Dans la réalité, les différentes variables d'un projet changent simultanément, formant des scénarii bien particuliers. L'analyse de scénario permet justement d'établir des scénarii «repères» qui représentent les différentes tournures que pourrait prendre un projet. Chacun des scénarii est une situation supposée être réaliste qui regroupe des combinaisons de variables corrélatives, particulières et cohérentes.

A titre d'exemple, sachant que le cours du pétrole et celui du Dollar sont inversement proportionnels, les scénarii ne peuvent pas contenir comme hypothèses un cours du pétrole et du Dollar élevés ou bas simultanément, mais ils doivent être croisés dans le même scénario. Dans le domaine agricole, il s'agit de tenir compte des élasticités de prix entre les différents produits agricoles. Par exemple, les prix des biens substituables sont proportionnels, généralement ils augmentent ou baissent en même temps.

Il est vrai que le niveau d'avancement dans une analyse de projet dépend de l'enjeu budgétaire et du jugement que l'on porte sur le dit projet à chaque étape de l'analyse. En effet, si sa rentabilité se confirme, ou se rejette clairement dès l'analyse de sensibilité, il ne sera pas nécessaire de compliquer davantage l'étude pour un semblant de précision additionnelle, ou pour un jugement sur le projet quasi-garanti. Toutefois, si l'incertitude et le risque persistent, remettant en cause même la viabilité du projet, ou sa position parmi les différents choix d'investissement, il sera nécessaire de mettre en œuvre, progressivement, cette succession d'analyses jusqu'à ce que la situation du projet se clarifie.

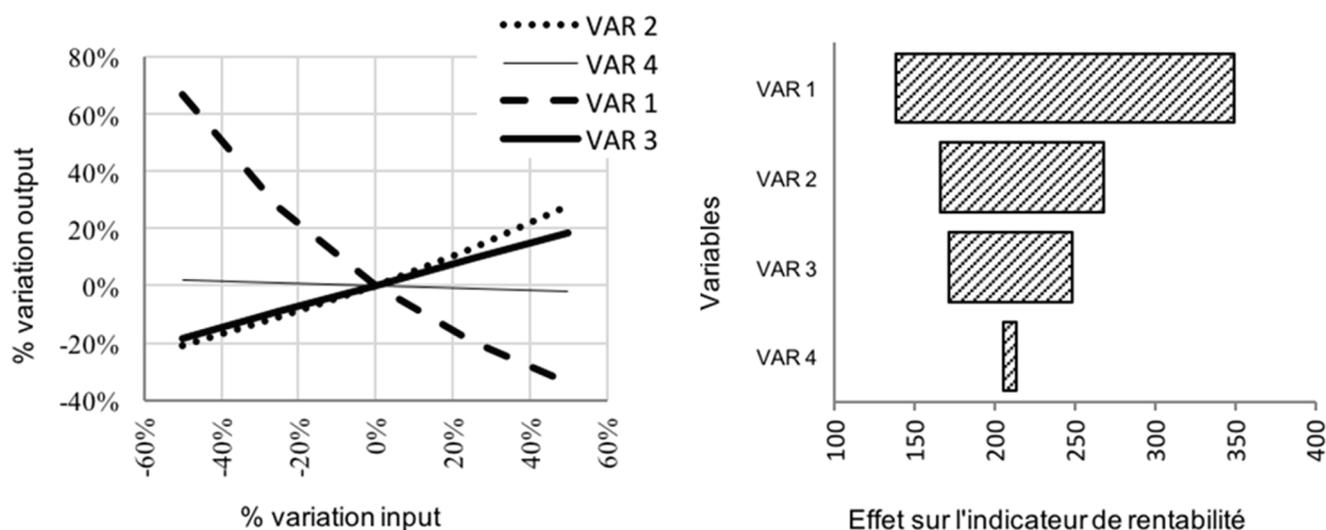


Figure 1: illustration de l'analyse de sensibilité

**Incertitude au risque**

La valeur d’une variable ou d’un projet dite « incertaine » par référence au large éventail de situations qui peuvent se réaliser. La notion d’incertitude se contente de désigner les différentes situations possibles dans l’absolu, mais elle ne fournit aucun renseignement sur leur probabilité d’occurrence. A titre d’exemple, si un scénario pessimiste est évoqué dans l’analyse, il serait plus judicieux qu’il soit précisé que celui-ci « ne se produit que très rarement », ou qu’il « se produit très souvent ». Ainsi, la pondération des différentes situations incertaines par des fréquences espérées nous permet de basculer de l’incertitude absolue vers la notion de risque. On dit ainsi que tel scénario est très risqué ou peu risqué, pour éclairer le décideur sur les différentes issues du projet de façon plus réaliste.

Il n’est pas évident de fixer tous les déterminants d’un projet ni de se prémunir contre tous les risques inhérents à sa conduite. Toutefois, il s’avère très utile de procéder à une étude poussée pour éclairer sur les risques potentiels, et réduire les incertitudes analytiques qui puissent priver l’ACB de sa crédibilité. Dans ce sens, l’approche probabiliste (ou stochastique) qui est décrite ci-dessous fournit un outil d’analyse du risque qui consiste à utiliser les informations disponibles pour déterminer la fréquence espérée de valeurs et d’événements particuliers et l’importance de leurs conséquences.

**Approche stochastique: la simulation Monte Carlo**

La simulation de Monte Carlo vient en dernier stade d’approfondissement de l’analyse quantitative du risque dans un projet. Tandis que les méthodes qui la précèdent soumettent à examen un nombre restreint de possibilités, la simulation Monte Carlo considère, quant à elle, tous les résultats possibles en « spectre continu », ainsi que leurs probabilités d’occurrence. Il s’agit en quelque sorte d’une représentation de tous les mondes parallèles du projet étudié. Le résultat attendu du projet n’est donc plus présenté comme une valeur, mais comme une distribution continue de plusieurs valeurs probabilisées. Comme il est explicité par le graphique ci-dessous, en combinant tous les cas possibles des variables d’entrée on obtient une distribution de l’output final (VAN, TRI, etc.), qui renseigne sur la probabilité de chaque résultat. Cette simulation offre également un ensemble d’indicateurs pour simplifier sa lecture, notamment la probabilité d’avoir un projet rentable ( $P(VAN > 0)$ ), qui est, dans la figure 3 ci-dessous, de 71 %.

**Limites et énoncé de la problématique**

L’ACB est épaulée par un ensemble d’analyses complémentaires qui permettent d’explorer avec assez de satisfaction le risque associé aux projets. La simulation Monte Carlo en est le dernier stade. Toutefois, elle présente elle

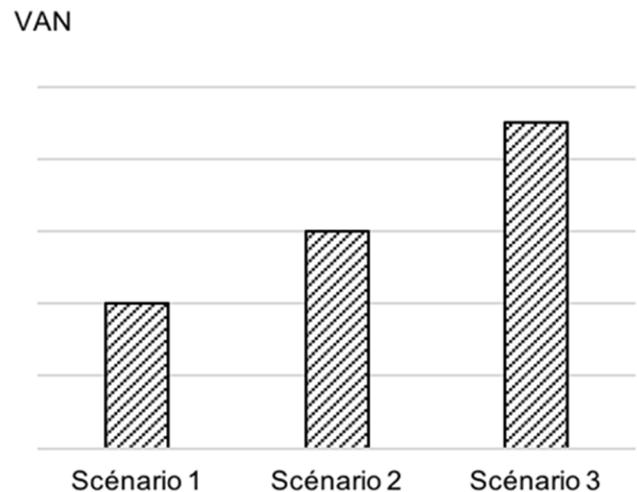
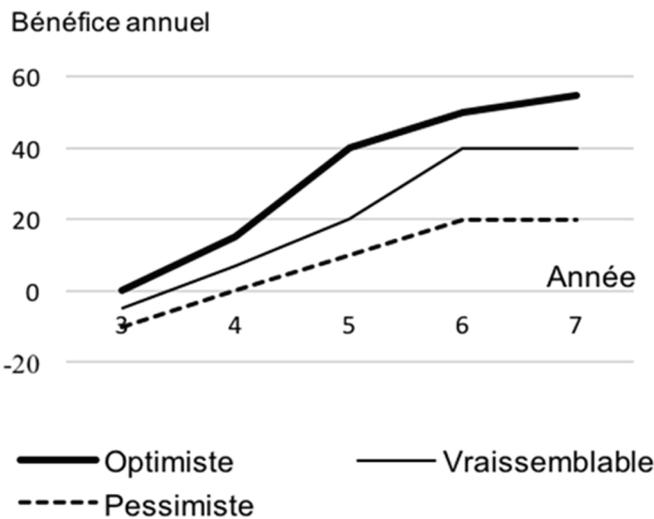


Figure 2: illustration de l’analyse de scénario

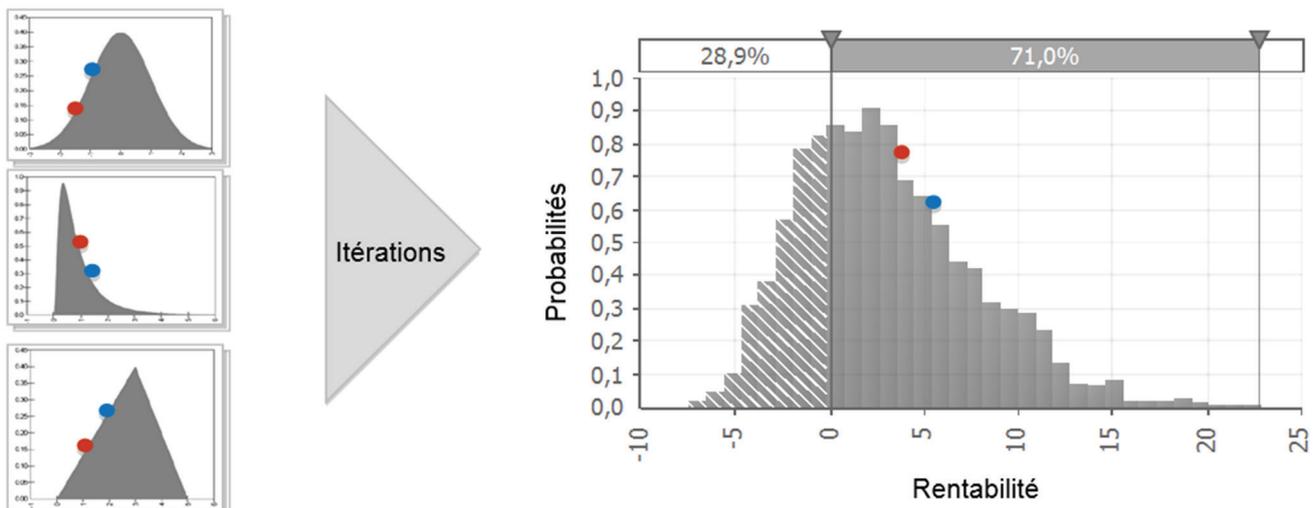


Figure 3: illustration du concept de la simulation Monte Carlo

aussi certaines limites, en l'occurrence ce qui suit:

- **Limite 1:** Faible intégration du risque dans les indicateurs de performance

Les indicateurs de rentabilité ne sont en fait que des promesses de rentabilité, qui ne tiennent pas compte de la force des projets à tenir ces promesses et à résister aux influences exogènes. Comme nous pouvons le voir dans le tableau 1, il se peut que le projet le plus rentable soit le plus risqué. Le projet 1, qui est dans notre cas le plus rentable avec une valeur espérée de 12 MDH, n'a que 55 % de chance de succès, ce qui réduit sa valeur décisionnelle aux yeux du manager décidément perplexe devant ce dilemme. Il lui sera difficile de choisir entre 12 MDH avec 55 % de chances de succès, 10 MDH avec 77% de chances de succès et 8 MDH avec 90 % de chances de succès. Aucun critère objectif n'étant disponible pour départager ces projets, les managers devront faire preuve de subjectivité pour prendre leur décision d'investissement. Certains de ces managers opteront pour le projet 3 car ils jugeront meilleur de «sécuriser» la rentabilité plutôt que de «l'augmenter avec moins de garanties».

**Tableau 1: Illustration d'un choix d'investissement confronté à la rentabilité et au risque**

	Projet 1	Projet 2	Projet 3
<b>Rentabilité (VAN)</b>	12 MDH	10 MDH	8 MDH
<b>Probabilités de succès (par la simulation Monte Carlo)</b>	55 %	77 %	90 %

Devant l'indécision objective des managers concernant ces 3 projets, dont les rentabilités sont pourtant bien distinctes, la considération de la rentabilité comme étant le critère principal a démontré ses limites. Par ailleurs, la recherche de l'investissement le plus rentable n'est pas toujours l'objectif primordial. Parfois, il s'agit de rechercher le moins risqué. Les petits agriculteurs optent souvent pour des variétés moins productives mais résistantes, comme ils procèdent à la diversification de leurs cultures et de leurs activités juste pour se prémunir du risque d'une mauvaise année. Par conséquent, ils ne bornent pas leurs attentes à la simple maximisation des bénéfices mais préfèrent œuvrer à minimiser les pertes.

### Recoupement avec la théorie de Markowitz

L'équilibre rendement/risque a été considéré depuis longtemps dans le domaine de la Finance. La théorie moderne du portefeuille de Harry Markowitz explique comment les investisseurs rationnels ne se bornent pas à maximiser le rendement espéré en achetant l'action la plus rentable, mais procèdent à la diversification de leur portefeuille pour optimiser le couple rendement/risque, en utilisant le critère moyenne-variance.

Les investisseurs ont de l'aversion envers le risque. Ils ne seront prêts à prendre plus de risques qu'en échange d'un rendement plus élevé. Les différents actifs (ou portefeuille d'actifs) peuvent être représentés dans un graphique risque/rendement. Pour chaque rendement, il existe un portefeuille qui minimise le risque. À l'inverse, pour chaque niveau de risque, il existe un portefeuille qui maximise le rendement attendu. L'ensemble de ces portefeuilles est appelé frontière efficiente ou frontière de Markowitz.

Il apparaît donc que la perception unidimensionnelle selon laquelle la rentabilité serait le seul ou le principal objectif financier d'un projet, nécessite à son tour un ajustement. En réalité, la dualité rentabilité/risque devrait être prise dans son ensemble. Pour aider le manager à choisir entre ces 3 projets qui ne peuvent être départagés actuellement, il faudrait déceler celui qui a la meilleure combinaison rentabilité/risque. Pour cela, il faudrait concevoir un indicateur hybride qui agrège la rentabilité et le risque. L'idée que nous nous faisons de cet indicateur hybride est de soustraire de la VAN la valeur du risque pour obtenir la rentabilité purifiée du risque.

Cependant, cette soustraction entre la rentabilité et le risque nécessite au préalable de convertir ce dernier en unité monétaire, c.à.d. d'attribuer une valeur économique au risque (cf. Matériels et méthodes). A partir de la VAN purifiée (ou ajustée), il sera alors possible de déduire les autres indicateurs, notamment le taux de rentabilité ajusté.

- **Limite 2:** Non considération de la flexibilité managériale des projets face au risque: L'analyse par les options réelles

Les méthodes d'évaluation traditionnelles comme l'ACB supposent que le projet restera fidèle au schéma initial, et que son pilotage sera complètement passif et irréactif vis-à-vis des événements qui peuvent survenir durant sa réalisation. Mais ces méthodes négligent en fait la composante managériale, car en réalité, les managers ne restent pas indifférents face aux opportunités ni aux risques qui se présentent, et donc plusieurs décisions peuvent se prendre en cours de chemin.

En effet, si l'avancement du projet est rassurant, ou qu'une opportunité de croissance se présente, le manager peut opter pour une expansion du projet, ou pour son intégration avec d'autres projets, et par conséquent les bénéfices espérés peuvent être plus importants que ceux prévus dans la version initiale. Cela dit, les projets qui regorgent d'opportunités de croissance doivent être mieux valorisés, et donc la valeur des projets ne devrait pas se limiter uniquement aux cash flows prévisionnels, mais devrait intégrer également la valeur d'option.

A contrario, si l'avancement du projet n'est pas rassurant, et que les risques qui ont été craints au départ se sont manifestés, le manager peut diminuer la part des activités risquées et augmenter celle des activités les plus sûres. Il peut également faire avorter le projet à temps pour limiter les pertes, et récupérer une partie importante du capital en revendant le matériel acheté, ou en le redéployant dans des projets similaires. Par conséquent, le risque net réel peut être moins important que le risque théorique initial. Autrement dit, dans chaque projet, il existe une partie du risque qui est contournable. Cette partie évitable devrait donc être soustraite de la valeur qu'on donnera au risque. Il s'agit de la valeur de «l'option d'abandon du projet».

Par ailleurs, l'analyse de scénario et la simulation de Monte Carlo ne reconnaissent pas la possibilité de modifier ou de corriger les projets. A titre d'exemple, la simulation de Monte Carlo peut révéler qu'un projet a 50% de chances d'échouer, ce qui est assez décourageant pour un décideur. Mais elle ne révélera pas que ce projet a des alternatives de sortie très rassurantes, qui limitent considérablement les pertes, car le foncier acquis peut être revendu ou redéployé

dans un autre projet, voire un projet immobilier. Au fait, les projets dont le capital physique est majoritairement polyvalent et reconvertible sont des projets très flexibles et offrent des opportunités d'abandon très intéressantes, qui ne doivent pas être négligés dans l'évaluation.

Cette approche par la valeur d'option est appelée l'analyse par les options réelles. Généralement, on distingue 6 catégories d'options réelles que nous citons de façon sommaire. Nous renvoyons à la littérature sur les options réelles pour plus de lectures à ce sujet:

- Option de croissance;
- Option d'abandon;
- Option de report;
- Option de changement d'échelle ;
- Option d'échange;
- Options composées.

### MATÉRIELS ET MÉTHODES

Au regard de ce qui est développé ci-dessus, en particulier la limite 1 et l'exemple qui souligne la dualité rentabilité-risque, l'objectif est de mettre au point un indicateur de rentabilité purifié du risque, pour donner plus de clarté aux décideurs. Il s'agit donc de soustraire de la VAN (et des autres indicateurs de rentabilité également) la valeur du risque. Cette fusion de la VAN et du risque nécessite au préalable de convertir ce dernier en unité monétaire, c.à.d.:

- Objectif 1: attribuer une valeur économique au risque.

Mais sachant que certains projets ont des opportunités d'abandon qui offrent une valeur résiduelle en cas d'avortement du projet, il faudrait retrancher les pertes récupérables pour ne garder finalement que le risque net.

- Objectif 2: retrancher les pertes récupérables en cas d'échec.
- Objectif 3: Concevoir un indicateur hybride (VHR) qui agrège la rentabilité et le risque.

### RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### Comment déterminer la valeur d'un risque ?

La problématique du risque ne se pose pas seulement au niveau des projets, mais dans toute la sphère économique mondiale. Pour adjuger une valeur financière à un risque, nous empruntons une méthode utilisée dans la finance pour le pricing des options financières. Dans les marchés des matières premières par exemple, la fluctuation des cours

des différents produits constitue un risque majeur pour les traders, les opérateurs économiques et les consommateurs. Face à cette volatilité, le marché a développé des instruments financiers qui permettent de couvrir à terme les prix d'achat et de vente des différents actifs. On distingue ainsi 2 types d'instruments de couverture (Hedging):

- *Les instruments fermes:* (ou contrats à terme) sont des contrats d'achat ou de vente d'un actif donné à un prix convenu à l'avance, et ce pour une durée déterminée (dite maturité du contrat). Ces types d'instruments sont symétriques, car le prix convenu d'avance peut s'avérer soit avantageux soit désavantageux par rapport à l'évolution du marché.
- *Les instruments optionnels:* (ou options) à la différence des contrats à terme, ils donnent le droit mais non l'obligation, d'acheter ou de vendre un actif donné à un prix fixé à l'avance. Ainsi, l'acquéreur active son option lorsque l'évolution du marché ne lui est pas favorable. Dans le cas contraire, il profite de la bonne conjoncture du marché. S'inscrivant dans la théorie des options, cette asymétrie de traitement entre situations favorable et défavorable nécessite bien entendu le paiement d'une prime, qu'on assimilera ci-après au «montant nécessaire à payer, ou le consentement à payer pour annuler le risque».

#### Options d'achat Call

Le Call est une option qui protège l'acheteur. Elle lui donne le droit, mais non l'obligation, d'acheter un actif à un prix convenu à l'avance (dit prix d'exercice ou Strike). Ainsi, lorsque le marché est en hausse, l'option est activée, et l'acheteur acquiert le produit au prix convenu initialement. Dans le cas contraire, il profite de la conjoncture baissière, et la transaction s'effectue au prix du marché (figure 5 (a)).

Le Call peut donc être assimilé à la fixation d'un niveau plafond. L'acheteur bénéficiaire de l'option profite des opportunités du marché normalement, tout en étant couvert contre les hausses. «La prime d'un Call représente, pour l'acheteur, l'équivalent (ou le consentement) à payer pour annuler tous les risques de hausses des prix au-dessus d'un certain niveau».

Le Put est une option qui protège le vendeur. Elle lui donne le droit, mais non l'obligation, de vendre un actif sous-jacent à un prix convenu à l'avance (dit prix d'exercice ou Strike). Ainsi, lorsque le marché est baissier, l'Option est activée, et le vendeur cède son produit au prix d'exercice. Dans le cas contraire, il bénéficie de la conjoncture haussière, et la transaction s'effectue au prix du marché (Figure 5 (b)).



Figure 4: Conception d'un indicateur hybride qui agrège rentabilité et risque

Le Put peut donc être assimilé à la fixation d'un niveau plancher. Le vendeur bénéficiaire de l'option profite des opportunités du marché normalement, tout en étant couvert contre les fortes baisses. «La prime d'un Put représente, pour le vendeur, l'équivalent (ou le consentement) à payer pour annuler tous les risques de baisse des prix en-deçà d'un certain niveau».

### L'approche du risque par l'option Put: approche paramétrique

Un projet à réaliser peut être assimilé à un actif ou une action à vendre: dans les deux cas, le décideur souhaiterait que la valeur du projet (ou de l'actif) augmente, mais que les risques de baisse soient couverts, notamment par une option put. «La valeur d'une option Put sur un projet sera donc considérée équivalente à la valeur du risque que cette option permettra de couvrir». Ainsi, l'ampleur du risque dans un projet sera estimée en simulant une option Put sur ledit projet.

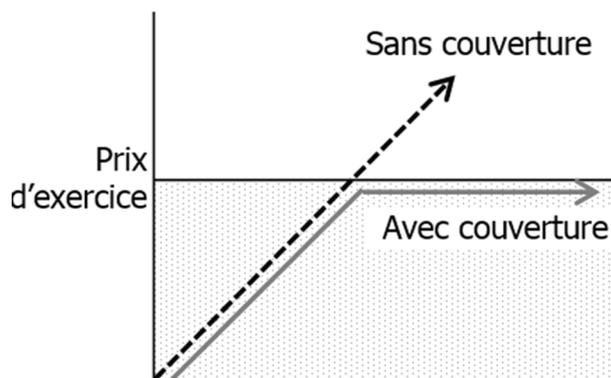
Certes, dans la pratique, le projet n'a pas les caractéristiques nécessaires pour faire l'objet d'une couverture réelle par les institutions financières. Néanmoins, cette méthode permet d'attribuer une valeur économique au risque pour répondre à l'objectif de la recherche. Par ailleurs, cette conciliation entre l'analyse des projets et les options financières a déjà été faite sous une autre forme

intitulée l'analyse par les options réelles. Mais cette dernière vise à estimer les «opportunités offertes par le projet» qui sont comparables à une option Call, alors que la présente thèse vise, au contraire, à estimer les «risques associés au projet» qui sont comparables à une option Put.

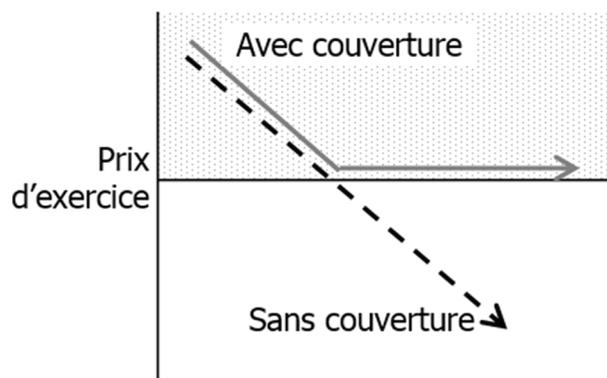
### Déterminants de la valeur d'un Put

La valeur d'un Put ( $P$ ) pour une option européenne est calculée par la formule Black-Scholes qui sera décrite ci-après. Cette formule est alimentée par les 5 variables suivantes:

- Le prix actuel de l'actif sous-jacent ( $S_0$ ): pour une option de vente *Put*, plus le prix actuel est élevé, moins l'option est chère, car l'actif se trouve déjà à un niveau favorable au vendeur.
- Le prix d'exercice de l'actif sous-jacent ( $K$ ): pour une option de vente *Put*, plus le prix d'exercice (le prix minimal désiré) est élevé, plus l'option est chère, car la couverture est importante.
- La volatilité de l'actif (Ecart-type  $\sigma$ ): plus l'actif est volatil, plus l'option est chère.
- La maturité de l'option ( $t$ ): plus la durée de couverture est importante, plus l'option est chère.
- Le taux d'intérêt sans risque ( $r$ ): sachant que l'option n'est payée qu'à son expiration, la dépréciation de la monnaie influence sa valeur. Plus ce taux est élevé,

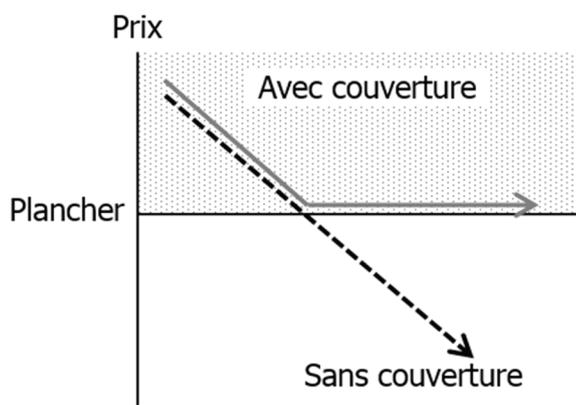


(a) Options d'achat Call

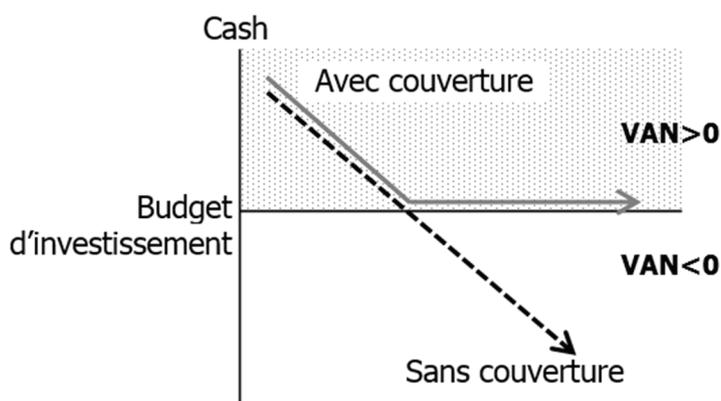


(b) Options de vente Put

Figure 5: Illustration du Hedging par les options Call et Put



(a) Option Put sur actif



(b) Option Put sur projet

Figure 6: Analogie entre le Put et le risque de projet

plus l'option est chère.

$$P = Ke^{-rt} \Phi(-d2) - S_0 \Phi(-d1)$$

Avec 
$$d1 = \frac{1}{\sigma\sqrt{t}} \left[ \log\left(\frac{S_0}{K}\right) + t\left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right) \right]$$

et 
$$d2 = d1 - \sigma\sqrt{t}$$

Ces 5 variables caractérisent les actifs. Pour appliquer la formule Black-Scholes à un projet, il faudrait y injecter cinq variables analogues qui soient spécifiques au projet. Nous proposons l'assimilation suivante, qui s'inspire en partie de la méthode des options réelles, avec la différence d'adopter l'écart-type fourni par le logiciel lors de la simulation de Monte Carlo comme volatilité espérée du projet. Cette correspondance pourrait varier selon les projets, en particulier la maturité qui dépend de l'intervalle de génération des recettes par le projet.

- Le prix d'exercice (K): budget d'investissement;
- Le prix actuel (S<sub>0</sub>): cash flows hors investissements;
- Le taux d'intérêt sans risque (r): taux d'intérêt annuel;
- La maturité (t): maturité des cash flows annuels;
- La volatilité (σ): Ecart-type de la distribution obtenue par la simulation Monte-Carlo.

**L'approche du risque par la méthode Datar-Mathews: approche non-paramétrique**

La théorie des options réelles stipule que la valeur des projets ne s'arrête pas toujours à leur production propre, car certains projets peuvent ouvrir des opportunités dans le futur. Il s'agit notamment des projets pilotes, des projets R&D, des programmes à projets successifs, etc. De ce fait, la théorie des options réelles propose d'attribuer au projet 1, en plus de sa VAN, la valeur de l'opportunité qu'il offre dans le lancement d'un projet futur 2, si les conditions sont favorables.

Outre l'approche paramétrique par l'option Call qui permet cette estimation, V. Datar et S. Mathews ont proposé une approche non paramétrique qui est basée sur la simulation Monte Carlo. La figure 7 représente la distribution de la VAN du projet 2 par ladite simulation Monte Carlo. Lorsque le moment sera venu de lancer le projet 2, il sera réalisé si les conditions sont favorables (VAN>0), mais il sera suspendu si les conditions ne sont pas favorables (VAN<0). La valeur d'option du projet 1 est donc la VAN espérée du projet 2 dans les cas de succès (5 MDH), multipliée par la probabilité de son succès (71 %). L'approche non paramétrique a l'avantage de pouvoir traiter les distributions non log normales, exigées par la formule Black-Scholes.

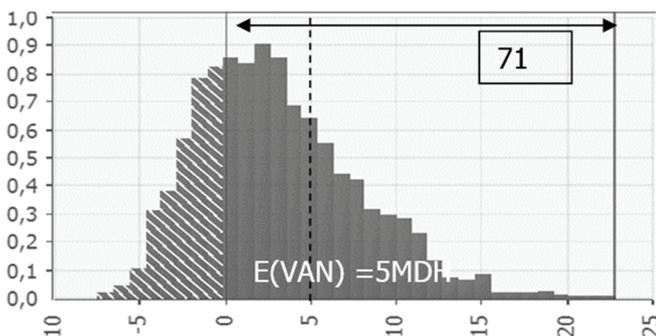


Figure 7: Estimation de l'opportunité d'un projet par la méthode Datar-Mathews

Pour calculer le risque au lieu de l'opportunité, nous appliquons la méthode Datar-Mathews au projet étudié, de manière inverse, en calculant la VAN espérée des cas d'échec fois la probabilité d'échec; de la même manière que nous avons inversé l'utilisation conventionnelle de la formule Black-Scholes du Call au Put pour calculer le risque au lieu de l'opportunité.

**Estimation des pertes récupérables: option d'abandon**

S'agissant des pertes récupérables, il faudrait simuler une option d'abandon sur le projet, en utilisant l'arbre de décision de Cox-Ross-Rubinstein. Pour l'application de l'option d'abandon, nous renvoyons à la littérature notamment (Brealey R.A. et al., 2011, p.561).

Le résultat attendu de l'indicateur hybride est illustré par le tableau 2. Celui-ci reprend le dilemme présenté par le tableau 1 devant lequel la décision d'investissement n'était pas évidente. La méthode que nous proposons a permis dans cet exemple d'attribuer une valeur au risque pour chaque projet, et de désigner lequel parmi ces projets à la meilleure combinaison rentabilité/risque. Il apparaît dans cet exemple que le projet 2 est celui dont la rentabilité pondérée par le risque est la plus élevée avec une valeur de 7,5 MDH.

Tableau 2: Illustration du résultat de l'indicateur hybride

	Décision d'investissement (?)		
	Projet 1	Projet 2	Projet 3
<b>Rentabilité (VAN)</b>	12 MDH	10 MDH	8 MDH
<b>Risque (Probabilités de succès)</b>	55%	77%	90%
<b>Valeur risque (MDH)</b>	5,1 MDH	2,5 MDH	0,7 MDH
<b>Indicateur hybride (rentabilité/risque)</b>	6,9 MDH	7,5 MDH	7,3 MDH

**CONCLUSION**

La méthode proposée n'est pas destinée à être utilisée systématiquement comme c'est le cas de l'analyse de sensibilité, mais plutôt lorsque le niveau du risque est si important qu'il remet en cause la rentabilité espérée du projet. C'est à ce moment-là qu'il serait intéressant de confronter la rentabilité à la valeur du risque. Elle peut être utilisée aussi pour faire un choix d'investissement entre plusieurs projets qui présentent des profils de risque différents, comme cela a été illustré précédemment.

Quoique cet article n'ait traité qu'une partie de l'aspect économique du risque, il n'en demeure qu'une attention particulière devrait être portée à l'amont, au moment de l'analyse qualitative du risque qui a trait notamment aux aspects techniques, logistiques, juridiques et gouvernantiels.

Les exemples présentés dans cet article ne sont qu'illustrateurs de la méthode préconisée. Une étude de cas réel sera faite et présentée dans un autre article. L'objectif de ce dernier sera triple; sur le plan didactique, il permettra d'illustrer dans les détails les étapes méthodologiques, le choix du type d'option et les résultats obtenus par cette méthode; sur le plan technique, il permettra de comparer les approches paramétriques et non paramétriques; et enfin sur le plan pratique, il permettra d'éclairer la décision d'investissement qui portera sur les projets sous-jacents.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bollen N. (1999). Real options and product life cycles. *Management Science*, 45: 621-769.
- Black F., Scholes M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *The Journal of Political Economy*, 81: 637-654.
- Brealey R.A., et al. (2011). Principles of corporate finance. Tenth edition. Mc Graw-Hill Irwin.
- Briand P. (2003). Le modèle de Black-Scholes. <http://www.lama.univ-savoie.fr/pagesmembres/briand/igr/bs.pdf>
- Datar V., Mathews S (2004). European real options: An intuitive algorithm for the Black-Scholes formula. *Journal of Applied Finance* 14: 45-51.
- Datar V., Mathews S (2005). Datar-Mathews method for quantitative real option value. U.S. Patent 6862579, filed July 10, 2002, and issued March 1, 2005.
- El Karoui N., Gobet E. (2011). Les outils stochastiques des marchés financiers, une visite guidée d'Einstein à Black-Scholes. Editions de l'école polytechnique.
- FAO (2006). Une méthode participative pour la formulation et le suivi des petits projets d'investissement en milieu rural.
- Faulkner T.W. (1996). Applying option thinking to R&D valuation. *Research Technology Management*, Mai-juin 50-65.
- Fonds structurels (FEDER, Fonds de cohésion, ISPA) (2003). Guide de l'analyse coûts-avantages des projets d'investissement.
- Gittinger J.P. (1985). Analyse économique des projets agricoles. 2<sup>e</sup> édition Economica, Paris.
- Hansjürgens B. (2004). Economic valuation through cost-benefit analysis – possibilities and limitations. *Toxicology* - 205: 241-252.
- Henry C. (1974). Option values in the economics of irreplaceable assets. *The Review of Economic Studies* 41: 89-104
- Houdayer R. (1999). Ingénierie de projets et décision d'investissement, Evaluation financière des projets (2<sup>ème</sup> édition), Economica.
- Hull J. (2006). Options, futures and other derivatives. Sixth edition, Pearson Prentice Hall.
- Ingersoll J., Ross S. (1992). Waiting to invest: investment and uncertainty. *The Journal of Business* 65: 1-29.
- Jaeger M. (1996). Le concept et les modèles d'évaluation d'options. *Economies et Société*, 22: 33-60.
- Klastorin T. (2007). Tutorials in operations research-informs. Institute for Operations Research and the Management Sciences. *National Meeting*.
- Kulatilaka N., Markus A.J. (1992). Project valuation under uncertainty: When does DCF fail ?. *Journal of Applied Corporate Finance*, Vol.5: 92-100.
- Liu Yi-Fang et al. (2014). Collective behavior and options volatility smile: An agent-based explanation. *Economic Modelling*, Elsevier, Vol. 39: 232-239.
- Majd S., Pindyck R. (1987). Time to build, option value and investment decisions. *Journal of Financial Economics*, 18: 7-27.
- Markowitz H. (1952). Portfolio Selection, *Journal of Finance*, 7: 77-91.
- Mathews S., Datar V., Johnson B. (2007). A practical method for valuing real options: The Boeing approach. *Journal of Applied Corporate Finance*, 19: 95-104.
- Mello A. S., Pyo U. (2002). Real options with market risks and private risks. *Journal of Applied Corporate Finance* 15: 89-101.
- Meunier V. (2009). Analyse coût-bénéfice: guide méthodologique. ::Cahiers de la Sécurité Industrielle, Institute for an Industrial Safety Culture, Toulouse, France.
- Mun J. (2005). Real Options Analysis. Second Edition, John Wiley & Sons.
- Newton D.P., Pearson A.W. (1994). Application of option pricing theory to R&D. *R&D Management*, 24:83-98.
- Pansard J.F., Bisiaux A. (2011). Evolution des méthodes d'analyse des projets d'investissement. Pansard et Associés.
- Roman S. (2004). Introduction to the mathematics of finance. Springer.
- Razgaitis R. (2003). Using real options and Monte Carlo Analysis. John Wiley & Sons.
- The World Bank (2009). The road to results, designing and conducting effective development evaluations.
- Vagnani G. (2009). The Black-Scholes model as a determinant of the implied volatility smile: A simulation study. *Journal of Economic Behavior & Organization* 72: 103-118.
- Vollert. A (2003). Stochastic control framework for real options in strategic evaluation, Birkhäuser.
- Whitt W. (2011). Brownian Motion, Martingales and Stopping Times. IEOR 4106, Spring.
- Wilmott P. (2006). Paul Wilmott on Quantitative Finance. Second edition, John Wiley and Sons.
- Winston W., Reilly T. (2015). Financial models using simulation and optimisation. Volume 1, 4<sup>th</sup> edition. Palisade.
- Winston W. (2015). Financial models using simulation and optimisation. Volume 2, 4<sup>th</sup> edition. Palisade.
- Wolff H.P. (1996). Evaluation des projets. Document didactique, Université de Ouagadougou, FASEG.