

RAPPORT D'ETUDE

CONTRAT IFE

**Evaluation économique d'un réservoir en présence
d'incertitudes techniques et économiques**

IFP

Ecole des mines de paris



**Cerna, Centre d'économie industrielle
Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris**

**60, boulevard Saint Michel
75272 Paris Cedex 06 – France
Tél. : 33 (1) 40 51 90 91 – Fax : 33 (1) 44 07 10 46
lautier@cerma.ensmp.fr – <http://www.cerna.ensmp.fr>
galli@cerma.ensmp.fr – <http://www.cerna.ensmp.fr>**

**Options réelles et gestion des stocks de matières premières énergétiques
Rapport préliminaire**

Delphine Lautier & Alain Galli

**Rapport pour l'Institut Français de l'Energie
Décembre 2004, Paris**

Sommaire

<i>Introduction</i>	4
<i>Première partie. Le convenience yield : principes et définitions</i>	7
<i>1.1. Le convenience yield comme variable explicative de la théorie du stockage</i>	8
1.1.1. Les théories traditionnelles des prix des matières premières	8
1.1.1.1. La théorie du déport normal	8
1.1.1.2. La théorie du stockage	9
1.1.2. Les principales définitions proposées dans la littérature	10
1.1.3. Les critiques adressées au <i>convenience yield</i>	12
<i>1.2. Le convenience yield et la structure par terme des prix des matières premières</i>	13
1.2.1. Vers une définition unanimement admise du <i>convenience yield</i>	13
1.2.2. Le <i>convenience yield</i> , variable autonome	14
<i>Deuxième partie. Les options réelles</i>	16
<i>2.1. L'application aux actifs réels des méthodes de valorisation des options financières</i>	16
2.1.1. L'analogie entre option réelle et option financière	16
2.1.2. Les principaux déterminants de la valeur d'une option réelle	17
2.1.3. Les principes de valorisation d'une option réelle	18

2.2. Les différentes catégories d'options réelles	20
2.2.1. L'option de reporter	20
2.2.2. L'option d'abandonner	20
2.2.3. L'option de renoncer à l'investissement en cours	21
2.2.4. L'option de modifier l'intensité de l'exploitation	21
2.2.5. Les options d'échange	22
2.2.6. Les options de croissance	23
2.2.7. Les options interactives	23
Troisième partie. Modéliser le convenience yield comme une option réelle	25
3.1. Les raisons justifiant de modéliser le convenience yield comme une option	25
3.1.1. Les difficultés de l'arbitrage dans les marchés de matières premières	25
3.1.2. Les conséquences de ces difficultés sur les prix et sur le convenience yield	27
3.2. Les travaux précédents	28
3.2.1. Le convenience yield non linéaire	28
3.2.2. Le convenience yield comme option réelle	29
3.3. Vers une nouvelle modélisation	31
Conclusion	33
Bibliographie	34

Introduction

L'objectif de ce projet de recherche est de proposer des méthodes de gestion des stocks pour les opérateurs intervenant dans les marchés de matières premières énergétiques. Ces stocks peuvent, soit être insérés dans un processus de production ou de commercialisation, soit être voués à la réalisation d'opérations d'arbitrage et de spéculation.

Les travaux se situent dans le cadre de la théorie du stockage, qui explique la relation entre le prix au comptant et le prix à terme à partir des coûts de stockage des matières premières. Dans ce contexte, ils se réfèrent au concept de « *convenience yield* », parfois traduit par l'expression « rendement d'opportunité » et qui peut brièvement être défini comme le revenu implicite associé à la détention de marchandises. Pour valoriser ce revenu implicite, et pour déterminer à quels niveaux de prix il est optimal, pour un opérateur, d'acheter, de vendre ou encore de maintenir ses stocks, la méthodologie employée est celle des options réelles. Celle-ci transpose au cas des actifs industriels et commerciaux une méthode développée à l'origine pour les actifs financiers.

Pour gérer ses stocks, un opérateur peut tirer partie de la présence de marchés à terme car ces derniers délivrent, à travers les prix des contrats échangés, des informations utiles. En effet, un prix à terme peut être considéré comme l'anticipation, compte tenu de l'information disponible aujourd'hui, du prix au comptant futur. Par conséquent, en situation de report¹, lorsque le prix à terme est supérieur au prix au comptant, un opérateur devrait précipiter la constitution de ses stocks, dans l'attente d'une hausse des cours. Inversement, en situation de déport, lorsque le prix à terme est inférieur au prix au comptant, un opérateur devrait se défaire de ses stocks excédentaires. Les observations effectuées sur les principaux marchés de matières premières confirment l'existence de tels comportements de stockage : les stocks sont abondants en situation de report ; ils sont rares (sans toutefois être nuls) en situation de déport.

Cette relation entre stocks et prix n'est pas unilatérale. Si le niveau relatif du prix à terme et du prix au comptant a une influence sur le comportement de stockage des opérateurs, les opérations de stockage et d'arbitrage ont, en retour, un impact sur les prix.

¹ Le report est une situation dans laquelle le prix à terme est supérieur au prix au comptant. Inversement, lorsque le prix au comptant est supérieur au prix à terme, le marché est en déport.

En effet, lorsque le prix à terme est supérieur au prix au comptant, les stocks étant abondants, les opérations d'arbitrage *cash and carry* (consistant à acheter la marchandise au comptant, à la stocker, et simultanément à vendre à terme) limitent le niveau du report aux coûts de stockage et de financement de la marchandise entre la date présente et celle d'échéance du contrat. En situation de déport en revanche, les stocks étant rares, les opérations d'arbitrage *reverse cash and carry* (consistant à vendre la marchandise au comptant et simultanément à acheter à terme), sont freinées par le faible volume de stocks disponibles. Il n'y a par conséquent aucune limite objective au déport : ce dernier peut augmenter tant que les opérateurs sont prêts à payer plus cher pour obtenir la marchandise immédiatement. Dans cette situation, parce que les stocks ne sont pas suffisamment volumineux pour amortir les fluctuations de la demande, le prix au comptant est volatil.

Ce comportement asymétrique des prix, dans les marchés de matières premières, est dû au revenu implicite ou *convenience yield* associé à la détention de stocks. Ce concept est central pour les marchés de matières premières, et plus particulièrement pour le marché du pétrole brut, car il permet d'expliquer que le niveau des stocks, malgré les opérations d'arbitrage, n'est pas tout à fait nul en situation de déport. Comme nous le montrons dans le présent rapport, il est possible de montrer que le *convenience yield* peut lui aussi être considéré comme asymétrique.

Partant de cette hypothèse, il nous a semblé intéressant de valoriser le *convenience yield* comme une option, car le prix d'un tel actif se caractérise lui aussi par un comportement asymétrique. Plus précisément, parce que le *convenience yield* est associé à la détention de stocks physiques, il est possible de l'identifier à une option réelle et de le valoriser comme tel. Les options réelles peuvent en effet être définies comme le droit, et non l'obligation, d'acheter ou de vendre un actif productif. En déterminant quel est le prix d'exercice de cette option, ces travaux doivent permettre de déterminer à quels niveaux de prix il est optimal, pour un opérateur, d'acheter, de vendre ou de maintenir ses stocks à niveau égal.

Bien qu'ils reposent sur la notion de *convenience yield* et donc de bénéfice associé à la détention de stocks, l'intérêt de ces travaux ne se limite pas aux matières premières stockables. En effet, le concept de *convenience yield* peut tout à fait être exploité dans le contexte de matières premières non stockables, telle que l'électricité. Dans ce cas, l'option réelle ne serait pas associée aux stocks proprement dits, mais aux capacités de production.

Bien évidemment, la gestion des stocks ou de la production peut encore être améliorée si l'on se préoccupe de gérer le risque de prix qui leur est associé. Cette question fut l'objet du projet écrit pour l'IFE par Lautier et Galli, intitulé « *Dynamic hedging strategies and commodity risk management* » (décembre 2004).

Le présent rapport est un rapport préliminaire. Il vise à mettre en évidence l'intérêt d'un projet de recherche visant à valoriser le *convenience yield* comme une option réelle. Ce rapport est constitué de trois parties. La première définit la notion de *convenience yield*, et montre quel peut être l'apport de ce concept pour la compréhension du processus de formation des prix dans un marché de matières premières. La deuxième partie est consacrée aux options réelles. Elle en expose les principes, tout en offrant une vue exhaustive des principales options réelles étudiées dans la littérature. Enfin, la troisième partie propose différentes voies de recherche permettant de représenter le *convenience yield* comme une option réelle.

Première partie. Le *convenience yield*² : principes et définitions

La première partie de ce rapport permet de définir la notion de *convenience yield*, et de montrer quel peut être l'apport de ce concept pour la compréhension du processus de formation des prix dans un marché de matières premières.

La notion de *convenience yield* n'est pas récente. Elle a en effet été formulée dès le début du vingtième siècle, à partir du moment où certains auteurs (et pas des moindres, puisqu'il s'agit de Keynes, Kaldor, Working, Brennan....) se sont penchés sur l'examen des relations de prix dans le temps dans les marchés dérivés. Or, ce thème qui, avec le développement des marchés dérivés de taux d'intérêt, de taux de change, de crédit, etc., est devenu majeur pour la finance contemporaine, est tout d'abord apparu dans le domaine des matières premières, puisque les marchés dérivés ont d'abord été créés pour répondre à l'instabilité des prix des produits agricoles.

Pourtant, malgré l'intérêt précoce qu'elle a suscité, la notion de *convenience yield* a été longue à définir précisément. Elle a même parfois été controversée. Ce processus de maturation et les critiques adressées au *convenience yield* sont repris dans le premier point de cette partie. Ce n'est qu'au milieu des années quatre-vingt, avec le développement de travaux théoriques consacrés à la structure par terme des prix des matières premières, que la notion de *convenience yield* a obtenu, d'une part, une définition unanimement admise, et d'autre part, une véritable consécration. C'est en effet à travers ces travaux que le *convenience yield* est apparu comme comparable aux coupons associés aux obligations, ou aux dividendes apportés par une action. Il devenait dès lors indispensable car il constituait une passerelle conceptuelle et méthodologique entre différents domaines de la finance. Le second point de cette partie présente la définition aujourd'hui communément admise pour le *convenience yield*, et montre à quels types de formalisation elle a aboutit.

² Bien que la notion de *convenience yield* ait parfois été traduite par l'expression « rendement d'opportunité », nous avons choisi de retenir la formulation anglo-saxonne, beaucoup plus usitée.

1.1. Le *convenience yield* comme variable explicative de la théorie du stockage

Le *convenience yield* est une variable centrale de la théorie du stockage, qui a pour objectif d'expliquer la relation entre le prix au comptant et le prix à terme dans les marchés de matières premières. Avant de présenter les différentes définitions qui ont été proposées pour le *convenience yield*, nous commençons par rappeler brièvement ce qu'est la théorie du stockage et, plus généralement, ce que sont les théories traditionnelles des prix des matières premières. Nous terminerons ce point par les critiques soulevées à l'encontre du *convenience yield*.

1.1.1. Les théories traditionnelles des prix des matières premières

Les théories du déport normal et du stockage sont traditionnellement utilisées pour expliquer la relation entre le prix au comptant et le prix à terme dans les marchés de matières premières. Tandis que première est centrée sur l'analyse des positions de couverture et sur la fonction de transfert de risque du marché à terme, la seconde propose une explication basée sur les coûts de stockage.

1.1.1.1. La théorie du déport normal

Keynes a introduit la théorie du déport normal en 1930. Brièvement résumée, cette thèse précise que dans des conditions normales de fonctionnement, le marché à terme de matière première est caractérisé par un prix *forward* inférieur au prix au comptant :

*"...in normal conditions the spot price exceeds the forward price i.e. there is backwardation. In other words, the normal supply price on the spot includes remuneration for the risk of price fluctuation during the period of production, whilst the forward price excludes this."*³

La relation associant ces deux prix est due à l'importance relative des positions longues et courtes dans le marché à terme. La première hypothèse de la théorie est que les positions courtes sont inférieures aux positions longues. La présence de spéculateurs est alors nécessaire pour pallier ce déséquilibre. Cependant, pour que les spéculateurs interviennent, il faut qu'il y ait une différence entre le prix à terme et le prix au comptant futur anticipé à la date de livraison du contrat. C'est la seconde hypothèse de la théorie. La présence d'une prime de risque positive associée au prix au comptant futur explique la différence entre le prix au comptant et le prix à terme. Cette prime rémunère les spéculateurs pour les risques qu'ils supportent dans le cadre de leur activité.

³ Keynes, 1930.

A ce jour, la théorie du déport normal n'a jamais pu être catégoriquement validée ni rejetée. Dusak (1973), Bodie et Rosansky (1980), Richard et Sudaresan (1981), ainsi que Bessembinder (1993) ont par exemple employé le modèle d'équilibre des actifs financiers, dans sa version statique ou inter-temporelle, pour examiner la prime de risque associée aux contrats à terme. Ils ont tous obtenu des résultats contradictoires. Plus généralement, les critiques soulevées à l'encontre de la théorie du déport normal soutiennent que si elle existe, il y a peu de chances pour que la prime soit positive et constante. En effet, la position de couverture nette dans un marché à terme de matière première n'est pas toujours une position courte. De plus, l'aversion au risque des opérateurs n'est pas nécessairement constante. Par conséquent, les tests empiriques réalisés pour valider la théorie sont contradictoires : pour le même marché, mais sur des périodes différentes, ils peuvent conclure à la présence d'un déport normal ou, à l'inverse, d'un « report normal ».

1.1.1.2. La théorie du stockage

Pour comprendre les relations unissant le prix au comptant aux prix à terme dans les marchés de matières premières, la théorie du stockage s'intéresse aux raisons expliquant la détention de stocks physiques. L'analyse des opérations d'arbitrage entre le marché physique et le marché à terme permet de comprendre les mécanismes à l'origine de situations de déport ou de report. Elle montre également que la base⁴ évolue différemment lorsqu'elle est positive ou négative. En effet, le report est limité aux coûts de stockage entre la date actuelle et celle d'expiration du contrat. Une telle limite n'existe pas pour le déport.

En présence de stocks en surplus, le niveau du report ne peut se maintenir à un niveau supérieur à celui des coûts de stockage. Si une telle situation se produisait, des opérations d'arbitrage "*cash and carry*" rétabliraient l'équilibre : il deviendrait en effet rentable d'acheter des stocks sur le marché au comptant, de les conserver et, simultanément, de les vendre à terme. La vente de contrats entraînerait une baisse du prix à terme, le prix au comptant augmenterait sous l'effet des achats de stocks et les opportunités d'arbitrage disparaîtraient.

Dans une situation de surplus de stocks, les prix ne peuvent pas non plus être en situation de déport. Il serait dans ce cas possible de vendre les stocks sur le marché au comptant et simultanément de les racheter à terme (opérations d'arbitrage "*reverse cash and carry*"). La multiplication de ces opérations conduirait, sous l'effet de ventes massives de stocks, à une baisse du prix au comptant. Simultanément, le prix à terme augmenterait suite aux achats de contrats. Les opérations d'arbitrage cesseraient lorsque le prix à terme serait supérieur au prix au comptant d'un montant représentant le coût de stockage. L'existence de stocks en surplus conduit ainsi à une situation de report.

⁴ La base est la différence entre le prix à terme et le prix au comptant.

La base est donc en déport lorsque les stocks sont peu abondants. Dans cette situation, les arbitrages “*reverse cash and carry*” deviennent en effet improbables, et ce d’autant plus que la pénurie est prononcée : les opérateurs n’ont aucun intérêt à se défaire de leurs stocks tant qu’ils anticipent une hausse supplémentaire du prix au comptant.

Cette analyse des relations d’arbitrage montre donc que la base évolue de façon différente lorsqu’elle est positive ou négative : en situation de report, les stocks sont abondants, et le prix à terme ne peut excéder le prix au comptant d’un montant supérieur au coût de stockage de la marchandise entre la date présente et l’échéance du contrat. Tant que les capacités de stockage ne sont pas parvenues à saturation, la base est stable, et limitée au coût de stockage sous l’effet des opérations d’arbitrage “*cash and carry*”. En situation de déport, en revanche, les stocks sont rares, et la base est déterminée uniquement par le prix que les opérateurs sont prêts à payer pour se procurer la marchandise immédiatement. Aucune limite objective ne la détermine. De plus, les stocks n’étant pas suffisamment abondants pour absorber les fluctuations de la demande, le prix au comptant est volatil, et la base est dans ce cas instable.

La théorie du stockage montre également que sous l’effet des opérations d’arbitrage, le prix à terme, dans un marché de matière première, est supérieur au prix au comptant, d’un montant correspondant au coût de stockage de la marchandise entre la date présente et l’échéance du contrat à terme. Cependant cette théorie, énoncée à l’origine dans le contexte de stocks en surplus, ne permet pas d’expliquer la relation entre le prix à terme et le prix au comptant lorsque les stocks deviennent rares. En effet, si le prix à terme est égal au prix au comptant augmenté de coûts de stockage positifs, comment peut-il devenir inférieur au prix au comptant ? La notion de *convenience yield* apporte une réponse à cette question.

1.1.2. Les principales définitions proposées dans la littérature

Bien que sa définition ait évolué, le rôle du *convenience yield* dans l’interprétation de la relation entre prix au comptant et prix à terme n’a jamais changé : il permet toujours d’expliquer le fait que le prix à terme puisse devenir inférieur au prix au comptant. Lorsque le marché se trouve en situation de pénurie, suite par exemple à une augmentation inattendue de la demande, le *convenience yield* peut en effet devenir supérieur au coût de stockage, et une situation de déport peut s’instaurer (on imagine l’intérêt de ce concept dans un marché qui, comme celui du pétrole brut, se trouve systématiquement en situation de déport !).

Kaldor (1939) est le premier à avoir proposé la notion de *convenience yield*. Ce concept est défini par cet auteur comme le bénéfice qu’un opérateur retire de la détention de stocks : celui-ci dispose en effet de la marchandise dès qu’il en a besoin, sans avoir à supporter le coût associé à des commandes fréquentes, ni celui lié à l’attente des livraisons. Ce bénéfice est celui

de la disponibilité : il représente le "confort" associé à la détention de stocks, d'autant plus apprécié que le niveau des stocks est faible :

*"In normal circumstances, stocks of all goods possess a yield, measured in terms of themselves, and this yield which is a compensation to the holder of stocks, must be deducted from carrying costs proper in calculating net carrying cost. The latter can, therefore, be negative or positive."*⁵

Ainsi, selon Kaldor, la détention de stocks en situation de déport permet de répondre à la demande sans supporter de délais de livraison. Brennan (1958) complète cette analyse : pour lui, les stocks permettent de profiter d'une hausse imprévue de la demande sans supporter le coût de l'attente de l'approvisionnement. L'auteur souligne que l'éloignement des lieux de production et de consommation ne présente une contrainte que si la demande future est incertaine.

"The convenience yield is attributed to the advantage (in terms of less delay and lower costs) of being able to keep regular customers satisfied or of being able to take advantage of a rise in demand and price without resorting to a revision of the production schedule."

Working (1949) explique quant à lui la détention de stocks en situation de déport par la présence de coûts fixes élevés dans l'activité de stockage et par la nécessité d'éviter une interruption de l'activité. A travers la notion de rendement de réserve, Weymar (1968) invoque à son tour la présence de coûts fixes élevés dans les activités de production et de transformation pour expliquer ce phénomène. Le rendement de réserve des stocks est lié à la nécessité d'assurer la continuité de la production. Plus le risque de rupture d'approvisionnement est important, et plus le rendement de réserve augmente : celui-ci est une fonction décroissante du niveau des stocks. Dans ce contexte, si des stocks sont détenus en situation de déport, c'est parce que les capacités de production, de stockage, de transport et de transformation ne sont pas adaptées au niveau de l'activité : il y a surcapacité. Cela peut s'expliquer soit par le caractère saisonnier des matières premières, auquel cas la surcapacité n'est que momentanée, soit par une erreur d'appréciation du niveau d'activité lors de la construction des capacités.

Enfin, Williams et Wright (1989) proposent l'explication suivante : si les opérateurs détiennent des stocks en situation de déport, c'est parce que, compte tenu de l'incertitude affectant à la fois l'offre et la demande futures de matière première, et compte tenu des possibilités présentes et futures d'allocation de ces stocks, cela reste le meilleur moyen de minimiser leurs coûts de "transformation", c'est-à-dire les coûts de transport, de transformation proprement dite, ou de commercialisation de la matière première. Plusieurs éléments contribuent à la rigidité du processus de "transformation" : en premier lieu, ce processus n'est

⁵ Kaldor, 1939.

pas nécessairement réversible⁶. En second lieu, les opérations de transport, de transformation et de commercialisation sont caractérisées par la présence de coûts fixes élevés. Enfin, les stocks, de qualité variable, peuvent être éloignés des lieux de transformation ou de commercialisation.

Les principales conclusions de ces travaux peuvent être synthétisées de la façon suivante : la détention de stocks en situation de déport est expliquée par deux éléments, l'incertitude affectant l'offre et la demande de matières premières d'une part, et la rigidité des activités industrielles et commerciales dans lesquelles les matières premières sont impliquées d'autre part. Cette rigidité se manifeste par une incapacité, pour les opérateurs, à adapter rapidement l'offre à une variation de la demande. Elle peut être liée à la présence de coûts fixes élevés dans les activités de transport, de stockage, de production et de transformation de la marchandise, à la distance séparant les lieux de production et de consommation de la matière première, ou à l'existence d'un différentiel de qualité entre différents stocks. Incertitude et rigidité agissent le plus souvent de façon conjointe. A ces deux éléments s'ajoute enfin, en situation de déport comme en situation de report, la possibilité pour certains producteurs de restreindre leur offre.

1.1.3. Les critiques adressées au *convenience yield*

Le *convenience yield* a principalement été critiqué pour les difficultés d'estimation qu'il présente. Deux catégories d'objections ont été soulevées.

La première, à l'initiative de Williams et Wright (1989), soutient que le *convenience yield*, lorsqu'il est estimé à partir de données de stocks, peut être surévalué. En effet, les stocks regroupent parfois en un ensemble homogène, sur le plan statistique, des matières premières qui ne sont pas réellement substituables car elles présentent un différentiel de qualité et/ou sont situées dans des lieux géographiques éloignés les uns des autres. Cette objection est parfaitement justifiée. Elle aurait pu, à la limite, remettre en cause l'existence du *convenience yield*, si cette dernière n'avait ensuite été fermement établie, en tenant compte de cet éventuel biais de mesure, entre autres par Brennan, Williams et Wright (1997), et par Frechette et Fackler (1999).

La seconde catégorie d'objections tient au caractère non observable du *convenience yield*. En effet, s'il est possible d'approcher la valeur du *convenience yield* à l'aide de données relatives aux stocks ou aux prix, il n'existe pas d'actif réellement traité sur le marché correspondant à cette variable. S'il est indéniable que cette caractéristique rend délicate l'estimation du *convenience yield*, l'objection n'en est pourtant pas plus recevable. Toutes les

⁶ Le processus est réversible dans le cas d'une activité de transport : il est possible de transférer un stock d'un lieu A à un lieu B, puis de B en A. En revanche, s'il est possible de transformer du blé en farine, l'inverse n'est pas vrai.

variables anticipées, dans le domaine de la finance, ne sont pas directement observables.

Les principaux développements concernant les théories traditionnelles des prix des matières premières ont été introduits à une époque où l'horizon des transactions sur les marchés à terme de matières premières était rarement supérieur à un an. Par conséquent, l'analyse de la relation de prix ayant été conçue pour le court terme, il a fallu l'adapter pour permettre une analyse à long terme. C'est à travers cette adaptation que s'est affirmée la notion de *convenience yield*.

1.2. Le *convenience yield* et la structure par terme des prix des matières premières

Avec l'analyse, non plus de la seule relation entre le prix au comptant et le prix à terme, mais de la totalité de la courbe des prix, devenue nécessaire avec le développement des marchés dérivés, le *convenience yield* a non seulement gagné une définition unanimement admise, mais également acquis ses lettres de noblesse. Il apparaît en effet presque systématiquement dans la modélisation de la structure par terme des prix des matières premières et les progrès réalisés dans ce domaine permettent d'affiner la représentation de cette variable. Le *convenience yield* est en effet tout d'abord considéré comme une fonction déterministe du prix au comptant. Progressivement cependant, il devient une variable autonome, ayant un comportement de retour vers une valeur moyenne.

1.2.1. Vers une définition unanimement admise du *convenience yield*

A partir de la première définition proposée pour le *convenience yield*, il a fallu attendre plusieurs dizaines d'années pour que les travaux sur ce thème soient rassemblés en un tout cohérent. Cette harmonisation a été effectuée par Brennan et Schwartz, en 1985. Ces auteurs ont en effet eu recours à la notion de *convenience yield* pour modéliser la structure par terme des prix des matières premières. C'était la première fois qu'un tel travail de modélisation était réalisé. Depuis cette date, tous les auteurs se réfèrent à la définition suivante :

"The convenience yield is the flow of services that accrues to an owner of the physical commodity but not to the owner of a contract for future delivery of the commodity. [...] Recognizing the time lost and the costs incurred in transporting a commodity from one location to another, the convenience yield may be thought of as the value of being able to profit from temporary local shortages of the commodity through ownership of the physical commodity. The profit may arise either from local price variations or from the ability to maintain a production

process as a result of ownership of an inventory of raw material”.

Les auteurs tiennent compte des enseignements de la théorie du stockage dans leur modèle et supposent que le *convenience yield* et le prix au comptant sont positivement corrélés : tous deux sont une fonction inverse du niveau des stocks. Ainsi, le *convenience yield* est élevé lorsque les stocks sont rares, parce que la détention de stocks est alors plus appréciée. Inversement, le *convenience yield* est faible lorsque les stocks sont abondants. Par la suite, cette formalisation a été raffinée, en supposant que le *convenience yield* n'est pas parfaitement corrélé au prix au comptant, et en le considérant comme une variable exogène.

1.2.2. Le *convenience yield*, variable autonome

L'hypothèse selon laquelle le *convenience yield* n'était pas parfaitement corrélé au prix au comptant a été soulevée, pour la première fois, par Gibson et Schwartz en 1989. Une telle supposition conduisait naturellement à représenter le *convenience yield*, non plus comme une fonction déterministe du prix au comptant, mais comme une variable aléatoire soumise à une dynamique au moins partiellement indépendante de celle du prix au comptant.

Supposer que le *convenience yield* est une variable autonome c'est considérer qu'il apporte une information qui n'est pas intégralement contenue dans le prix au comptant. En d'autres termes, le *convenience yield* n'est pas totalement corrélé au prix au comptant. Cette corrélation imparfaite peut être expliquée de la façon suivante : dans un marché de matières premières, une variation du rythme de transport ou de transformation d'une marchandise peut avoir un impact sur le revenu implicite associé à la détention de stocks (le *convenience yield*) sans pour autant se traduire immédiatement par une transaction sur le marché physique et donc par une modification du prix au comptant.

Une fois admis le caractère autonome du *convenience yield*, il fallait associer une dynamique à cette variable. La dynamique choisie fut, sous l'impulsion des travaux de Gibson et Schwartz (1990), un mouvement de retour vers une valeur moyenne, ou processus Ornstein-Uhlenbeck.

L'application d'un tel processus au *convenience yield* suppose que les stocks ont une capacité à se régénérer, et qu'il existe un niveau de stocks satisfaisant les besoins de l'industrie dans des conditions de fonctionnement normales. C'est le comportement des opérateurs sur le marché physique qui garantit le maintien de ce niveau. Ainsi, lorsque le *convenience yield* est faible, les stocks sont abondants et les opérateurs supportent un coût de stockage élevé au regard des bénéfices associés à la détention de la marchandise. Par conséquent, s'ils sont rationnels, ils vont chercher à réduire ces stocks excédentaires. Inversement, en cas de pénurie, les opérateurs tendent à reconstituer les stocks.

Une autre amélioration, du point de vue de la représentation du *convenience yield*, fut ensuite apportée par Schwartz, en 1997. Cet auteur reprend l'idée d'un comportement de retour vers une valeur moyenne pour le *convenience yield*. Il ajoute le fait que le *convenience yield* intervient dans la dynamique du prix au comptant, imprimant à son tour à ce dernier – de façon marginale toutefois – un comportement de retour vers une valeur moyenne. Le *convenience yield* devient alors un dividende *stochastique* affectant la dynamique du prix au comptant. Cette représentation est importante, car elle illustre bien le fait que le *convenience yield* est un revenu implicite associé aux stocks. Elle autorise par ailleurs des comparaisons avec d'autres actifs financiers, tels que les actions ou les obligations. En effet, il est possible de remarquer que la notion de structure par terme comporte toujours un certain nombre de facteurs communs : le taux d'intérêt sans risque, la prime de risque, et le rendement associé à la détention de l'actif support. Tous ces facteurs se retrouvent dans le cas des obligations, des devises, des actions, des indices boursiers, et, depuis Schwartz (1997), dans celui des matières premières.

Ainsi, en prenant pour point de départ les enseignements de la théorie du stockage, les travaux sur la modélisation de la structure par terme des prix ont grandement contribué à mettre en évidence l'intérêt du *convenience yield*, et sa portée « universelle ». Ces travaux, tels qu'ils sont présentés à ce stade du rapport, comportent cependant une limite importante. Ils ignorent en effet que, dans les marchés de matières premières, il existe des différences entre les situations de report et de déport, dues aux difficultés de l'arbitrage sur de tels marchés.

Contrairement à ce qui se produit sur les marchés financiers, les opérations d'arbitrage, dans les marchés de matières premières, sont longues à mettre en œuvre – il faut transporter la marchandise – et elles peuvent être difficiles à entreprendre – du fait de l'existence de différentiels de qualité, de la nécessité d'avoir des capacités de transport et de stockage disponibles – voire impossibles à réaliser en cas de pénurie de stocks. Ce phénomène, très tôt analysé dans la littérature à travers la théorie du stockage, a ensuite été largement établi et commenté, sur différents marchés de matières premières (voir par exemple Williams et Wright (1991), Ng et Pirrong (1994), Litzenberg et Rabinowitz (1995)...). C'est pour prendre en considération que l'idée de représenter le *convenience yield* comme une option réelle est née.

Deuxième partie. Les options réelles⁷

La notion d'option réelle est apparue peu après que se soit imposé le modèle qui constitue encore aujourd'hui la première méthode de valorisation des options financières : le modèle de Black et Scholes, proposé en 1973. En 1977, sur la base des travaux de ses prédécesseurs, Myers établit pour la première fois une analogie entre une option sur un actif réel et une option sur action. Depuis cette date, la notion d'option réelle a connu un succès non démenti. Elle est appliquée à des thèmes aussi variés que l'évaluation de mines, de projets de recherche et développement, d'entreprises de biotechnologies...

Dans cette seconde partie du rapport, nous montrons tout d'abord comment, et à quelles conditions les méthodes de valorisation développées pour les actifs financiers peuvent être transposées aux actifs réels. Nous présentons ensuite les principales options réelles développées dans la littérature.

2.1. L'application aux actifs réels des méthodes de valorisation des options financières

L'option réelle est utilisée par analogie avec les options financières. Ce paragraphe permet de définir la notion d'option réelle à partir d'une analogie avec les options financières, il présente les déterminants de la valeur d'une option réelle, expose quels sont les principes sous-tendant sa valorisation, et montre quelles sont les limites de l'analogie entre actif réel et actif financier.

2.1.1. L'analogie entre option réelle et option financière

Les options réelles ont une définition proche de celle généralement retenue pour les options financières. Elles peuvent être distinguées en fonction de leur nature (options d'achat -*call*- et options de vente -*put*-) et elles peuvent être définies par leur caractère asymétrique.

Les options réelles d'achat donnent à leur détenteur le droit d'entreprendre un investissement, à un coût fixé d'avance (le prix d'exercice), à ou avant une date déterminée (l'échéance). Les options réelles de vente permettent d'abandonner un actif ou de le revendre à

⁷ Cette partie du rapport s'inspire de Lautier (2003).

un prix fixé d'avance, à ou avant une date déterminée. Tout comme les options financières, les options réelles sont des actifs dérivés et asymétriques. Ce sont des actifs dérivés parce que leur valeur dépend de celle d'un autre actif, le support. Ce sont des actifs asymétriques car une option confère à son acheteur le droit, mais non l'obligation, de l'exercer : un détenteur d'option réelle peut par exemple entreprendre un investissement ou y renoncer. L'option est asymétrique car elle permet de bénéficier d'évolutions favorables sans avoir à supporter les situations défavorables.

2.1.2. Les principaux déterminants de la valeur d'une option réelle

La valeur d'une option financière dépend de cinq facteurs : la valeur de l'actif support, le prix d'exercice, la volatilité du support, l'échéance de l'option, et le niveau des taux d'intérêt. A condition de les adapter, ces cinq déterminants peuvent également être utilisés pour les options réelles.

Dans le contexte des options réelles, le prix S du support est celui d'un actif réel. Soit ce prix est déterminé sur un marché, soit, en l'absence d'un tel marché, il est obtenu à partir de la valeur actuelle des flux de trésorerie générés par l'actif réel.

Le prix d'exercice K d'une option réelle d'achat correspond aux dépenses à consentir pour bénéficier des flux futurs associés à l'actif réel. Pour un *put*, il correspond au profit retiré de l'abandon ou de la revente de l'actif. Contrairement au domaine financier, l'exercice de l'option de vente ne se matérialise pas nécessairement par un paiement. Par ailleurs, pour le *call* comme pour le *put*, l'éventuel paiement n'est pas forcément unique : les dépenses d'investissement ou le profit du désinvestissement peuvent s'étaler dans le temps. Enfin, le prix d'exercice n'est pas toujours connu précisément. Il peut par exemple évoluer sous l'effet du progrès technologique.

Le troisième facteur explicatif est la volatilité σ du support. Elle représente l'incertitude concernant les flux futurs. La valeur d'une option réelle augmente avec la volatilité, qui accroît la probabilité que la valeur de l'actif réel soit éloignée du prix d'exercice à l'échéance. Or, le détenteur d'option ne peut que bénéficier d'une telle situation : si l'évolution lui est favorable, il exercera l'option et recevra un gain d'autant plus important que l'actif aura varié ; dans le cas contraire, il abandonnera l'option et ses pertes resteront limitées. Dans le domaine des options réelles, l'incertitude est donc perçue favorablement.

Le quatrième déterminant est l'échéance T , c'est-à-dire la date à laquelle l'opportunité d'exploiter l'actif réel disparaît. Cette date peut correspondre à l'expiration de droits d'exploitation sur une concession minière, elle peut être due à la modification des préférences des consommateurs, à l'apparition d'un progrès technique, à l'émergence de nouveaux concurrents, etc. Par rapport à l'échéance d'une option financière, celle d'une option réelle présente deux caractéristiques : elle n'est pas toujours connue, et peut atteindre des durées très

élevées. Or, plus l'échéance est éloignée, plus grande est l'incertitude quant à l'évolution future du support.

Le cinquième et dernier déterminant est le niveau et la volatilité du taux d'intérêt r . En repoussant l'investissement, le détenteur d'un *call* conserve la disponibilité des fonds qu'il désire consacrer à cet investissement jusqu'à la date d'exercice. Plus le taux d'intérêt est élevé, plus la valeur du *call* est forte. Inversement, en repoussant la date de désinvestissement, l'acheteur du *put* renonce à un encaissement ou à une économie immédiats. Plus le taux d'intérêt est élevé, plus la valeur du *put* est faible.

L'analogie entre options réelles et options financières peut être menée relativement loin. En effet, au-delà de la définition des options, les déterminants de la valeur d'une option financière peuvent être transposés, au prix d'une adaptation assez modeste, au domaine des options réelles. Si elle prenait fin à ce niveau, une telle analogie serait cependant insuffisante, car ces déterminants agissent rarement isolément. Pour prendre en considération ce phénomène, il faut franchir une étape supplémentaire, celle de la valorisation.

2.1.3. Les principes de valorisation d'une option réelle

Les principes sous-tendant la valorisation des options réelles peuvent s'inspirer de ceux utilisés pour les options financières, à condition toutefois de prendre des précautions. En effet, les hypothèses sur lesquelles repose la valorisation des options financières ne sont pas vraiment respectées dans le domaine des options réelles et la démarche permettant d'aboutir à leur valorisation est délicate à mettre en œuvre.

Pour valoriser une option financière, un certain nombre d'hypothèses sont posées. Celles-ci se réfèrent au type de marché sur lequel cet actif est échangé et à la nature des transactions réalisées : le marché est supposé parfait, c'est-à-dire exempt de toutes frictions, que celles-ci se présentent sous forme de coûts de transactions, de taxes ou d'impôts ; aucune contrainte institutionnelle ne vient par ailleurs restreindre les ventes à découvert ; les taux de prêt et d'emprunt sont égaux ; tous les actifs sont parfaitement divisibles et chaque individu accède sans coût à toute l'information relative aux prix et aux caractéristiques des titres ; les actifs sont échangés en continu, de telle sorte que les opérateurs peuvent en permanence rééquilibrer leur portefeuille ; il n'y a pas d'opportunité d'arbitrage.

La transposition de ce cadre théorique aux options réelles n'est pas immédiate. Il est difficile en effet d'affirmer que l'hypothèse de marchés parfaits reste parfaitement adéquate. Tout d'abord, la conception de la structure du marché qui en résulte n'est pas réaliste si l'analyse est centrée sur les actifs réels. Plus encore, l'imperfection du marché peut être une condition nécessaire à l'apparition et à l'exploitation d'opportunités d'investissement. Ainsi que le souligne Myers (1977), certaines opportunités de croissance doivent leur existence à celle de pouvoirs de marché, de rentes ou de quasi rentes. A la limite, il n'y a pas d'opportunités

d'investissement offrant une VAN positive si les marchés des produits et des facteurs sont parfaitement compétitifs et en situation d'équilibre continu. Triantis et Hodder (1990) prennent d'ailleurs explicitement en considération cet élément et étudient les options réelles dans un contexte de marché oligopolistique. Ensuite, au-delà de la structure du marché lui-même, l'hypothèse des marchés parfaits n'est pas respectée, dans le domaine des actifs réels, parce qu'elle suppose une parfaite divisibilité des actifs. Or, une partie au moins de la valeur d'un actif réel est bien souvent due à sa complémentarité avec d'autres.

Au-delà des hypothèses sur lesquelles elle repose, la méthode adoptée pour valoriser une option financière, brièvement présentée en deuxième section, doit être utilisée avec précaution dans le cas des options réelles. En effet, les actifs réels ne sont pas l'objet de transactions aussi fournies que les titres financiers.

Des difficultés surgissent dès la première étape de la valorisation, lors de l'identification de la principale source d'incertitude affectant l'option réelle. Rien ne permet en effet de penser, *a priori*, que cette source d'incertitude s'identifie aux seules fluctuations de la valeur du support. Elle peut par exemple dépendre des stratégies des concurrents. Et quand bien même la valeur du support constituerait l'incertitude majeure, de nouveaux obstacles apparaissent. Comment modéliser la dynamique de ce prix ? La valorisation externe par le marché peut se révéler tout simplement impossible avec des actifs réels, lorsque l'actif est spécifique. Dans le meilleur des cas, s'il existe effectivement un marché, il est fort probable que celui-ci est étroit et imparfait et que la transaction sera effectuée en présence d'asymétrie d'information. Pour cette raison, le raisonnement d'arbitrage qui constitue la seconde étape de la valorisation et qui repose sur l'existence d'actifs échangés en l'absence d'opportunité d'arbitrage doit être mené avec précaution. Il est fort probable que la valorisation ne peut être réalisée dans un univers neutre au risque ou que plusieurs probabilités risque-neutre coexistent. Quand bien même un modèle de valorisation satisfaisant serait élaboré, le problème de l'estimation des paramètres de ce modèle resterait entier.

L'étude des principes de valorisation des options montre ainsi que cette dernière ne peut raisonnablement être envisagée que dans des conditions relativement restrictives : une structure de marché compétitive dans laquelle l'incertitude joue de façon exogène, un marché suffisamment liquide pour l'actif support, et la prise en considération d'une option réelle suffisamment simple.

Fort heureusement pour les options réelles, les hypothèses élaborées pour valoriser des options financières sont elles aussi des hypothèses. L'écart entre la théorie et la réalité observée est sans doute moins important dans le domaine financier, mais il existe néanmoins. Par conséquent, nombreux sont les travaux ayant pour objet de se dégager des contraintes théoriques et de se rapprocher de la réalité empirique. Ces travaux constituent autant de champs d'exploration pour les options réelles.

2.2. Les différentes catégories d'options réelles

La littérature distingue sept catégories d'options réelles. Ce paragraphe les présente en les classant par degré de complexité croissante et montre ce qui les distingue les unes des autres, qu'il s'agisse de leur nature, de leur impact sur la décision d'investissement, ou de l'influence prépondérante d'un déterminant sur leur valeur. D'autres revues de la littérature ont été réalisées par Copeland et Antikarov (2001), Goffin (2001), Grinblatt et Titman (2001), Trigeorgis (1999).

2.2.1. L'option de reporter

L'option de reporter l'investissement est sans doute celle la plus fréquemment invoquée. Dans ce contexte, la flexibilité est due à la possibilité d'attendre avant de s'engager. L'investissement est reporté dans l'espoir d'obtenir des informations pertinentes concernant par exemple le coût du projet, les prix des produits, ou les conditions du marché. L'option de reporter prend donc en considération la capacité d'apprentissage des investisseurs.

L'option de reporter est un *call*. Son détenteur, lorsqu'il exerce son droit, s'approprie la valeur actuelle nette du projet servant de support. Inversement, l'opérateur reportant son investissement suppose implicitement que le bénéfice retiré de l'attente est supérieur à son coût, lequel a diverses origines. Premièrement l'investisseur renonce aux revenus d'un investissement immédiat. Deuxièmement, il subit le coût d'opportunité associé à la détention de l'option. Troisièmement, l'attente est parfois risquée : de nouveaux concurrents ou de nouvelles technologies peuvent surgir. Ce dernier élément permet de souligner que la valeur de cette option varie selon la structure de l'industrie, en fonction de l'éventuelle présence de barrières à l'entrée et à la sortie.

La définition même de cette option permet de comprendre que celle-ci sera particulièrement importante dans les industries caractérisées par une réelle possibilité d'attendre, comme celle des ressources naturelles, de l'immobilier, de l'agriculture, et du bois. Le principal mérite de l'option de reporter est de souligner qu'une valeur temps est souvent associée aux projets d'investissement. De plus, elle confirme que la détention d'un actif réel, même s'il n'est pas exploité, génère un revenu.

2.2.2. L'option d'abandonner

Cette option est associée à la possibilité de renoncer définitivement à un investissement et éventuellement de le revendre sur le marché secondaire. C'est une option de vente.

Exercer le droit conféré par l'option d'abandonner permet soit de recueillir les revenus issus d'une revente du projet, soit d'annuler les coûts associés à son maintien. Il est donc pertinent de considérer cette option dans deux cas : lorsque la spécificité de l'actif est faible et

que sa revente dans des conditions avantageuses peut être envisagée ; lorsque le projet exige de continuelles mises de fonds pour être maintenu en état. Inversement, l'option d'abandonner ne peut être exercée lorsqu'un projet présente un attrait, matérialisé par des recettes ou correspondant à des éléments moins quantifiables tels que le savoir-faire technologique ou les compétences organisationnelles.

L'apport de la démarche optionnelle est ici de montrer que l'abandon peut être un choix, et suscite une réflexion sur les conséquences possibles d'un tel acte. Dans l'analyse traditionnelle, l'abandon d'un projet est plutôt considéré comme une fatalité apparaissant une fois atteint le terme de la durée de vie d'un projet.

2.2.3. L'option de renoncer à l'investissement en cours

L'option de renoncer à l'investissement en cours de réalisation s'intéresse au fait que bien souvent, un investissement est effectué en procédant par étapes successives.

Dans ce contexte, la flexibilité résulte de l'alternative se présentant à chaque étape : renoncer à poursuivre le développement du projet si de nouvelles informations défavorables se révèlent ou consentir aux dépenses permettant de passer à l'étape suivante. Le champ d'application de cette option est particulièrement vaste : il couvre tous les domaines où les investissements sont séquentiels, tels ceux réalisés dans les industries intensives en recherche et développement comme la pharmacie, où dans celles caractérisées par une forte intensité capitalistique comme l'aéronautique. Cette option concerne également les projets à grande échelle.

L'option de renoncer à l'investissement en cours est une option de vente. Elle doit être exercée lorsque la somme à dépenser pour atteindre l'étape suivante est supérieure à la valeur accordée à la poursuite du projet. En revanche, ne pas l'exercer, c'est manifester un intérêt et des anticipations positives quant à l'évolution future du projet.

L'option de renoncer à l'investissement en cours est plus complexe que la précédente. En effet, si chaque étape du projet peut être considérée comme une option sur l'étape suivante, l'étape suivante est elle-même une option... sur l'étape à venir. Une construction en abîme peut être ainsi mise en évidence... Faut-il souligner que si son champ d'application est très large, les possibilités de valorisation d'une telle option apparaissent comme restreintes ?

2.2.4. L'option de modifier l'intensité de l'exploitation

Les options de modifier l'intensité de l'exploitation recouvrent la possibilité d'augmenter, de réduire ou de fermer temporairement une exploitation. Ces options consistent à passer d'un état de production à l'autre, ce changement étant soit continu (dans le cas d'une montée en puissance de l'intensité d'utilisation des capacités) soit discret (dans le cas d'une

fermeture temporaire de certaines unités). La valeur de ces options est élevée dans toutes les industries caractérisées par une demande ou une offre cycliques, telles que les ressources naturelles, la mode, certains biens de consommation.

La flexibilité peut être liée à un outil de production offrant une possibilité d'adaptation face aux évolutions de l'environnement. Dans ce cas, le coût à consentir pour bénéficier de la flexibilité est celui de l'investissement dans des capacités de production sophistiquées. Le coût peut être lié aux dépenses entreprises pour profiter de technologies plus performantes, aux coûts d'ajustements supportés lors du passage d'un état à l'autre ou au fait de renoncer à des économies d'échelle. La flexibilité peut également être créée à partir de relations avec des partenaires commerciaux, en recourant par exemple à la sous-traitance.

2.2.5. Les options d'échange

Les options d'échange résident dans la possibilité de modifier les produits finis ou les facteurs de production. La flexibilité est dans ce cas apportée par le processus de production.

La valeur de l'option d'échange associée aux facteurs de production est élevée pour toutes les industries qui recourent à des inputs ayant un substitut proche. C'est le cas, en particulier, dans le domaine des matières premières. Une centrale électrique fonctionnant au gaz naturel ou au charbon offre une série d'options d'échange. Le choix de recourir à l'un ou l'autre dépend des fluctuations relatives de leur prix. Compte tenu de leur caractère substituable, ces fluctuations sont relativement corrélées. Des écarts de prix peuvent cependant se manifester momentanément et être exploités en utilisant la matière première la moins coûteuse.

Les options d'échange de produits finis sont importantes dans les industries caractérisées par une demande soit saisonnière (agriculture), soit segmentée (jouets, composants de machines, automobiles). La possibilité d'utiliser la terre pour cultiver différents fruits et légumes selon la période donne des options d'échange de produits finis au jardinier. Une chaîne de montage produisant plusieurs types de voitures est une série d'options d'échange pour le constructeur.

Comme pour la modification de l'intensité de production, le coût de passage d'un facteur à l'autre ou d'un produit fini à l'autre influence la valeur d'un projet. Chaque possibilité de changement d'état représentant une option, un projet s'identifie à une somme d'options d'échéances différentes, et une difficulté peut surgir si les coûts d'ajustement de la production diffèrent selon l'état dans lequel on se trouve (il peut être par exemple plus coûteux de passer du gaz au charbon que l'inverse). La valeur d'une option d'échange donnée dépend alors de celles précédemment exercées ou abandonnées, et la valorisation est d'autant plus délicate que le nombre d'options est important.

2.2.6. Les options de croissance

Les options de croissance sont centrées sur la stratégie de développement de la firme et regroupent de ce fait plusieurs options réelles. Leur champ d'application est extrêmement vaste.

Trois éléments permettent de définir les options de croissance. Premièrement, elles proviennent de ce qu'une entreprise a souvent la possibilité de renoncer à une activité ou d'en développer une nouvelle. De ce point de vue, l'option de croissance s'apparente à celle de l'abandon en cours, car le processus d'investissement comporte plusieurs stades successifs. Chaque étape correspond cependant à un projet et constitue le maillon d'une chaîne permettant à la firme de se situer sur un sentier de croissance ou d'améliorer sa position stratégique dans l'industrie. Deuxièmement, les options de croissance reflètent la possibilité de choisir entre plusieurs projets concurrents, mutuellement exclusifs. Sur ce point, elles se rapprochent des options d'échange. Troisièmement, si elles intègrent la capacité de fermer temporairement une ou plusieurs unités de production, les options de croissance peuvent être apparentées aux options de modifier l'intensité de l'exploitation.

La décision d'investissement étant considérée à long terme, et dans tous ses aspects, la théorie des options réelles offre ici plus un cadre conceptuel qu'un instrument de valorisation. La réflexion peut par exemple porter sur la taille de la firme : faut-il entreprendre un investissement de grande capacité générateur d'économies d'échelle mais coûteux si la demande a été mal évaluée ou faut-il initier une séquence d'investissements réduits permettant d'exercer ou d'abandonner des options de croissance ? La réflexion peut également porter sur la nature des relations contractuelles à entretenir avec les partenaires commerciaux : faut-il privilégier une relation forte et durable ou la sous-traitance ? Elle peut aussi s'intéresser à la possibilité de créer des rentes, momentanément au moins, le temps que dure un brevet par exemple. Elle peut enfin conduire à s'engager dans des projets dont la VAN est négative, mais qui ont une valeur optionnelle positive car ils constituent des tremplins pour une production à moindre coût, de meilleure qualité, voire pour de nouveaux produits.

2.2.7. Les options interactives

La prise en considération d'options interactives suppose un pas supplémentaire vers le caractère universel des options réelles, en reconnaissant explicitement que la décision d'investissement recouvre la possibilité d'exercer, simultanément ou non, plusieurs catégories d'options.

Soit ces options font partie d'un seul projet (l'exploitation d'une mine de cuivre comporte par exemple une option de reporter, une option de fermeture temporaire, une option de renoncer à l'investissement en cours, une option d'abandon...), soit elles appartiennent à plusieurs projets (la recherche sur la résistance des matériaux est une option d'abandonner en cours qui affecte toutes les catégories de voitures produites par un constructeur). De même, ces

options réelles peuvent être la propriété d'une seule firme (le propriétaire de la mine de cuivre) ou au contraire se répartir entre plusieurs concurrents : c'est le cas pour les produits non protégés par une licence ou un brevet (les vêtements de mode et les innovations financières par exemple) ou qui sont facilement substituables.

Ces options sont interactives car elles exercent une influence les unes sur les autres. Dans ce contexte émergent deux questions. La première est relative à l'additivité de la valeur. La réunion de plusieurs options réelles est-elle égale à la somme des valeurs individuelles ? Childs, Ott et Triantis (1998) répondent à cette question en proposant un modèle intégrant l'effet de l'interdépendance entre différentes options réelles sur les décisions d'investissement. Les projets examinés peuvent être mutuellement exclusifs ou complémentaires. Les auteurs montrent que les valeurs des options s'additionnent en général lorsque les options sont de nature différente (une option d'achat est plutôt exercée dans un contexte de hausse des prix, une option de vente plus souvent en cas de baisse), lorsque leurs dates d'exercice sont rapprochées, et lorsqu'elles sont profondément en dehors de la monnaie. Quant à la valeur additionnelle de chaque option, Trigeorgis (1993) montre que celle-ci est une fonction inverse du nombre d'options.

La présentation des options réelles les plus fréquemment invoquées dans la littérature illustre aisément le caractère multiforme du concept. L'un de ses attraits est de montrer qu'à la limite, chaque projet peut être considéré comme un « gisement d'options » (Goffin, 2001).

Troisième partie. Modéliser le *convenience yield* comme une option réelle

Après avoir présenté l'intérêt du *convenience yield* pour la compréhension du comportement des prix dans un marché de matières premières, cette dernière partie du rapport s'attache à montrer que le *convenience yield* peut être conçu comme une option réelle. Nous commençons par exposer le raisonnement économique sous-tendant une telle formalisation. Nous présentons ensuite les travaux qui ont permis, progressivement, d'en arriver à l'utilisation d'une option réelle pour représenter le *convenience yield*, ainsi que les rares travaux ayant déjà eu recours à la notion d'option réelle. Enfin, nous proposons une voie de recherche originale, visant à modéliser le *convenience yield* comme une combinaison d'option d'achat et d'option de vente. A notre connaissance, une telle formalisation n'a jamais été utilisée, ni pour le *convenience yield* ni, plus généralement, pour une option réelle.

3.1. Les raisons justifiant de modéliser le *convenience yield* comme une option

Les raisons justifiant de modéliser le *convenience yield* comme une option sont simples. Elles tiennent à une caractéristique spécifique des marchés de matières premières : les difficultés des opérations d'arbitrage. Ces imperfections ont un impact significatif sur les prix, et sur le *convenience yield*.

3.1.1. Les difficultés de l'arbitrage dans les marchés de matières premières

Les sources d'imperfection et les difficultés de l'arbitrage qui en résultent sont nombreuses dans les marchés de matières premières. Il est possible d'en dénombrer au moins six.

L'arbitrage est tout d'abord imparfait parce que les produits ne sont pas homogènes. Un pétrole brut de qualité soufrée n'offrira par exemple pas du tout le même rendement pour un

raffineur, en terme d'essence produite, qu'un brut léger. Et le fait qu'une qualité bien spécifique de matière première soit associée à un contrat à terme peut susciter des phénomènes d'étranglement (*squeeze*) et avoir un impact sur les prix, d'autant plus complexe que peuvent également jouer des difficultés liées à la localisation des points de livraison. Autre conséquence de ces différentiels de qualité, le phénomène de la marchandise la moins chère à livrer, ou *cheapest to deliver*. Lors de la livraison, l'acheteur peut rationnellement s'attendre à ce que le vendeur cherche à livrer la marchandise de la moins bonne qualité possible (ce qui n'est pas toujours possible pour ce vendeur, s'agissant de matières premières). Ce problème, très souvent mentionné dans le cas des contrats à terme sur titres notionnels, a toujours existé dans le domaine des matières premières. Et l'on ne résout pas la question du *cheapest* sur le seigle ou sur l'avoine grâce au simple calcul d'un facteur de concordance.

L'arbitrage peut par ailleurs être freiné par des difficultés liées à la localisation des points de livraison de la matière première. Pour réaliser un arbitrage entre le marché physique et le marché papier (*cash and carry*), il est en effet nécessaire de procéder à une livraison à l'échéance du contrat à terme. Mais pour livrer le blé servant de sous-jacent au contrat à terme négocié au Chicago Board of Trade, il n'y a que deux possibilités : Duluth ou Chicago. Or, ces deux villes sont suffisamment éloignées l'une de l'autre pour qu'il ne soit pas du tout équivalent, pour un acheteur, de réceptionner la marchandise en l'un ou l'autre de ces deux points. En revanche, les métaux non ferreux utilisés comme support des contrats négociés au London Metal Exchange (LME) peuvent être livrés en plus de 60 destinations réparties dans la plupart des régions du monde... ceci donne a priori plus de flexibilité. La livraison n'en est cependant pas évidente pour autant. Que dirait un acheteur français se voyant proposer une livraison à Gdansk ? La question de la livraison ne se pose donc pas du tout de la même façon pour les matières premières et pour une obligation du Trésor, même sans accorder une importance démesurée à des cas un peu particuliers comme celui du bétail vivant, que la chambre de compensation doit pouvoir accueillir, nourrir plusieurs fois par jour, abreuver et nettoyer.... processus un peu lourd sachant qu'un contrat à terme correspond à une quantité de 40 bœufs.

Le coût de stockage et la nécessité de disposer de capacités peuvent eux aussi entraver, au moins de façon momentanée, les opérations d'arbitrage. A cet égard, tous les opérateurs ne sont pas égaux face aux opportunités qui peuvent se manifester. En effet, si pour les actifs financiers le coût de stockage ne varie pas d'un opérateur à l'autre, et se résume bien souvent en un simple coût de financement de la position, tel n'est pas le cas pour les matières premières. Le coût de stockage n'est par exemple pas du tout le même, pour le blé, selon que l'on dispose de capacités automatisées ou non. Il diffère fortement, pour le pétrole, selon que l'on se trouve dans une région à climat froid ou chaud. Dans le premier cas en effet, il faudra chauffer le pétrole pour éviter qu'il ne gèle. Enfin, tous les opérateurs ne disposent pas de capacités de stockage.

Le problème du transport, des capacités et des structures nécessaires à sa réalisation est un autre obstacle éventuel aux opérations d'arbitrage. Là encore, tous les opérateurs ne sont dans une situation identique car tous ne possèdent pas nécessairement de capacités de transport. Et, outre le fait que pour louer un bateau il faut s'assurer que celui-ci se trouve dans un état de fonctionnement satisfaisant, les bateaux ne se trouvent pas nécessairement au bon endroit au bon moment, quand il y en a de libres ! Une pénurie de bateau peut par exemple se transformer en un déport immédiat et extrêmement prononcé (on a assisté, dans ce type de situation, à des hausses de 40% sur le prix à terme rapproché de l'aluminium) sur les métaux du LME. Une grève interdisant l'utilisation de l'unique voie ferrée utilisée pour transporter les marchandises peut rendre une livraison impossible en l'absence d'autres moyens de transport disponibles. Et le vendeur annonçant alors à la chambre de compensation qu'il ne peut répondre à son engagement de livraison risque de se voir signifier qu'une grève ne constitue pas un cas de force majeure et qu'il est dans son tort. De même, une grève affectant la production peut avoir un impact très important sur les prix... Il n'y a pas de grève dans la production des bons du Trésor ou des obligations assimilables du Trésor.

L'arbitrage peut également être rendu particulièrement délicat par le caractère non stockable de la marchandise considérée. C'est le cas de l'électricité. Dans ce contexte, pour profiter d'une situation de prix non justifiée économiquement, il faut disposer de capacités de production qui soient à la fois non utilisées et suffisamment flexibles pour pouvoir produire rapidement face à une évolution donnée des prix. L'hydraulique est sans doute, dans ce contexte, l'outil le plus utile. Mais il faut supporter les coûts fixes de cette capacité d'appoint pendant toute la période où elle n'est pas utilisée...

Enfin, pour réaliser des opérations d'arbitrage, dans la plupart des marchés financiers, il est possible de réaliser des emprunts de titres et d'effectuer des ventes à découvert. Tel n'est pas le cas dans le domaine des matières premières. Qui, en situation de déport, prendra le risque de se délaisser de ses marchandises pendant quelques semaines ou quelques mois, au risque de subir une interruption de production ?

Toutes ces sources d'imperfection ont naturellement un impact sur le comportement des prix, lequel mérite d'être pris en considération.

3.1.2. Les conséquences de ces difficultés sur les prix et sur le *convenience yield*

Les difficultés de l'arbitrage, dans les marchés de matières premières, ont pour conséquence un comportement asymétrique de la base, comme cela fut souligné en première partie de ce rapport. Ce phénomène résulte de ce que les arbitrages entre le marché physique et le marché à terme, simples à mettre en œuvre en situation de report, lorsque les stocks sont abondants, deviennent plus difficiles à initier en déport, lorsque les stocks sont rares. Par conséquent, alors que la base est stable en situation de report, elle devient volatile en situation de déport, lorsque les stocks ne suffisent plus à absorber les fluctuations de prix. Comme le

souligne Gerda Blau, dès 1944 :

“Arbitrage can always be relied upon to prevent the forward price from exceeding the spot price by more than net carrying cost... [but] can not be equally effective in preventing the forward price from exceeding the spot price by less than net carrying cost.”

De cette asymétrie de la base, il est possible de déduire celle du *convenience yield*, en s'appuyant sur le raisonnement suivant. Le prix au comptant et le *convenience yield* sont positivement corrélés et sont tous deux une fonction inverse du niveau des stocks. Par conséquent, le *convenience yield*, tout comme le prix au comptant, devrait être élevé et volatil en déport, et plus faible et plus stable en report.

Le prix au comptant est en effet élevé en cas de pénurie de stocks, car les opérateurs sont soucieux de s'approvisionner pour assurer la continuité de leurs opérations d'exploitation. Parce que l'intérêt accordé à la détention de stocks est alors prononcé, le *convenience yield* est élevé. De plus, le prix au comptant est volatil lorsque les stocks ne sont pas suffisamment abondants pour absorber les fluctuations de la demande. Et lorsque les prix au comptant sont volatils, le bénéfice retiré de la vente de stocks l'est tout autant. Ces différents éléments étant liés à la faiblesse du niveau des stocks, ils disparaissent en situation de report, ce qui confère un comportement asymétrique au *convenience yield* : celui-ci est faible et stable en situation de report, lorsque les stocks sont abondants ; inversement, il est élevé et volatil lorsque les stocks sont rares, en situation de déport.

3.2. Les travaux précédents

Considérer que le *convenience yield* est asymétrique ou, en d'autres termes que c'est une option, actif asymétrique par excellence, n'est pas réellement une nouveauté. Cette conception trouve en effet son origine dans des travaux qui datent du début des années 1990. Deux catégories de travaux peuvent être identifiées, selon qu'ils présentent explicitement ou non le *convenience yield* comme une option.

3.2.1. Le *convenience yield* non linéaire

Une première catégorie de travaux considère le *convenience yield* comme non linéaire, ou asymétrique, ce qui préfigure sa représentation comme une option. Ces travaux ont été initiés par Brennan en 1991, puis poursuivis par Routledge, Seppi et Spatt (2000) et par Lautier et Galli (2001). Tous ces travaux ont en commun de s'intéresser à la structure par terme des prix des matières premières.

En 1991, Brennan se réfère à ses propres travaux, datant de 1958, dans lesquels il est explicitement supposé que le *convenience yield* devient nul lorsque les stocks sont abondants. Il en déduit que le *convenience yield* a un comportement non linéaire, et teste cette hypothèse sur différents marchés de matières premières. L'absence de linéarité provient de ce que les stocks ne peuvent pas devenir négatifs. Par conséquent, le *convenience yield* est borné à la baisse. Plus précisément, le *convenience yield* net des coûts de stockage ne peut être inférieur à l'opposé des coûts de stockage. Ces derniers sont supposés être constants pour une large fourchette de niveaux de prix, tant que les capacités de stockage ne sont pas saturées. Dans la formulation de Brennan, le *convenience yield* est donc, soit proportionnel au prix au comptant, soit égal à l'opposé des coûts de stockage.

Routledge, Seppi et Spatt (2000) introduisent quant à eux un *convenience yield* asymétrique dans un modèle de structure par terme des prix des matières premières. Dans ce modèle, l'asymétrie du *convenience yield* est introduite dans la corrélation associant le prix au comptant et le *convenience yield*. Cette corrélation est plus élevée en déport qu'en report. Le *convenience yield*, tout en étant stochastique, est donc une variable endogène, déterminée par le processus de stockage. Les deux facteurs, dans le modèle de Routledge *et alii*, sont le prix au comptant et des chocs exogènes transitoires affectant l'offre et la demande.

Lautier et Galli (2001) considèrent quant à eux le *convenience yield* comme une variable stochastique exogène, laquelle est caractérisée par un mouvement de retour vers une valeur moyenne. Par ailleurs, le *convenience yield* agit comme un dividende stochastique sur le rendement associé au prix au comptant. Ce modèle constitue donc une généralisation de celui proposé par Schwartz en 1997. L'asymétrie est mesurée par un paramètre, β . Lorsque ce dernier est égal à zéro, le modèle se réduit à celui de Schwartz. Lorsque, en revanche, le coefficient d'asymétrie est positif, le *convenience yield* devient plus élevé et plus volatil en situation de déport qu'en situation de report.

Tous ces travaux prennent donc en considération le caractère asymétrique du *convenience yield*, sans toutefois le modéliser directement comme une option. C'est ce que d'autres chercheurs ont fait, en parallèle à ces travaux.

3.2.2. Le *convenience yield* comme option réelle

Certains auteurs (Heinkel, Howe et Hughes (1990), Milonas et Tomadakis (1997), Milonas et Henker (2001)) ont proposé de représenter explicitement le *convenience yield* comme une option, actif asymétrique par excellence.

Dans tous ces travaux, le *convenience yield* est assimilé à une option réelle d'achat. Dans ce contexte, on considère que posséder un stock non utilisé, c'est détenir une option d'achat. L'actif support de l'option est le stock de marchandise. Le droit associé à l'option est celui d'utiliser ce stock. C'est une option d'achat, car l'utilisation du stock permet de

s'approprier les revenus sur cet actif.

Heinkel, Howes, et Hughes (1990) sont les premiers à considérer le *convenience yield* comme une option. Pour ces auteurs, l'option réside dans la possibilité qu'offrent les stocks (contrairement aux contrats à terme) de profiter d'une hausse inattendue de la demande. Les auteurs proposent un modèle économique à deux périodes dans lequel des entreprises identiques, en situation de concurrence, possèdent un certain volume de stocks. Dans ce modèle, des chocs temporaires sur la demande peuvent survenir entre la date où un contrat *forward* est mis en place et celle de la livraison. Il peut de ce fait être avantageux de détenir des positions sur le marché au comptant pour satisfaire la demande inattendue. Ainsi les stocks, détenus dès le départ, en 0, peuvent soit être revendu à une date intermédiaire, pour profiter d'une hausse de la demande, soit être détenus jusqu'à la fin du cycle de production.

Ce modèle permet tout d'abord de montrer que le *convenience yield* est une fonction décroissante du niveau de stocks initial, ce qui corrobore les prédictions de la théorie du stockage. Il met ensuite en évidence le fait que le *convenience yield* est une fonction croissante des coûts de production. En effet, des coûts de production élevés induisent un *convenience yield* élevé, car dans ce contexte, il n'est possible de répondre à la demande qu'à l'aide de stocks. Enfin, le modèle montre que le *convenience yield* sera d'autant plus élevé qu'il y aura des corrélations sérielles dans les prix au comptant. Cette corrélation dans les prix vient d'une corrélation dans les chocs sur la demande. Une corrélation faible ou négative des prix au comptant implique qu'un prix au comptant inhabituellement élevé avant la maturité du contrat à terme n'est pas supposé se maintenir lorsque le contrat parvient à maturité. Dans ce cas, il y a un avantage certain associé à la détention de la matière première plutôt qu'à celle d'un contrat à terme, et ceci se traduit dans un *convenience yield* élevé.

L'une des critiques que l'on peut adresser à ce travail réside dans le fait qu'il n'est l'objet d'aucune validation empirique. En reprenant le même cadre d'analyse, Milonas et Henker, en 1997, répondent à cette critique. Ils testent en effet les déterminants et le comportement du *convenience yield* pour quatre matières premières stockables, dont trois agricoles (le soja, le maïs et le blé) et une industrielle (le cuivre).

Les auteurs démontrent que les *convenience yield* observés sont valorisés comme des options d'achat à partir d'une extension du modèle de valorisation de Black et Scholes : le modèle proposé par Fisher en 1978, dans lequel le prix d'exercice est supposé être stochastique. L'option d'achat liée aux stocks est comprise de la façon suivante : les stocks détenus initialement peuvent soit être revendus à la date intermédiaire, soit détenus jusqu'à la date finale. En l'absence d'une rupture des stocks, la valeur de l'option est nulle. La valorisation optionnelle implique en effet que si les stocks augmentent, la probabilité d'une rupture diminue, tout comme la valeur de l'option. De même, plus la variabilité du prix du sous-jacent augmente, plus la valeur de l'option augmente.

Les auteurs effectuent des tests empiriques à partir de données de prix et de stocks. Ils utilisent pour cela des prix à terme ajustés des coûts de financement des stocks et de l'inflation. Ils confirment que le *convenience yield* est une fonction inverse du niveau des stocks, et montrent également que la composante option d'achat a sur le *convenience yield* un pouvoir explicatif supérieur à celui du niveau des stocks. Enfin, les tests s'avèrent particulièrement probants pour les matières premières agricoles, mais moins convaincants pour le cuivre.

La principale limite de ce cadre d'analyse est qu'il se restreint à un cycle de production unique, débutant lorsque les stocks sont achetés, et finissant lorsqu'ils sont entièrement vendus. Un tel cadre convient bien aux matières premières saisonnières, mais n'est pas parfaitement adapté à des matières premières industrielles telles que le cuivre, dont les cycles de production n'ont pas une influence sensible sur les prix.

Enfin, même s'ils mentionnent le fait que le *convenience yield* peut être assimilé à une option d'achat, et montrent, à partir de tests empiriques sur les deux marchés à terme du pétrole brut (le West Texas Intermediate négocié au New York Mercantile Exchange et le Brent négocié à l'International Petroleum Exchange) que tel est le cas, Milonas et Henker (2001) s'intéressent plus à l'intégration des deux marchés qu'au *convenience yield* lui-même.

Aujourd'hui, le fait de considérer le *convenience yield* comme une option réelle est donc assez largement admis. Il semble cependant que personne n'ait envisagé la possibilité de l'assimiler à une option légèrement plus complexe qu'une simple option d'achat.

3.3. Vers une nouvelle modélisation

Considérer le *convenience yield* comme une option d'achat c'est supposer, comme l'a fait Brennan en 1991, que le *convenience yield* est borné à la baisse. Il ne peut devenir inférieur à l'opposé des coûts de stockage. Il est cependant surprenant de se rendre compte qu'en 1991, lorsque Brennan a proposé cette représentation, il s'est référé à son texte de 1958. En effet, dans le texte de 1958, Brennan ne se contente pas de dire que le *convenience yield* est plus faible lorsque le niveau des stocks est élevé. Il ajoute également qu'il existe une prime de risque associée à la détention de stocks, qui peut devenir élevée si les stocks sont abondants.

En 1958, Brennan montre que pour obtenir une explication satisfaisante de la relation entre le prix à terme et le prix au comptant, il est nécessaire d'introduire une autre variable que le *convenience yield* : une prime de risque. En effet, pour accepter de détenir des stocks en situation d'incertitude, et de supporter le risque de variation de prix associé, les détenteurs de stocks, s'ils sont averses au risque, exigent une prime de risque rémunérant le service qu'ils rendent en conservant la marchandise. Selon Brennan, pour comprendre la relation entre prix à terme et prix au comptant, les notions de coût de stockage et de *convenience yield* ne sont donc

pas suffisantes : il faut également prendre en considération une prime de risque.

La prime de risque est une fonction croissante du niveau des stocks détenus par la firme. Lorsque ce niveau est faible, la perte associée à une baisse inattendue du prix des marchandises est relativement réduite ; le risque associé aux stocks est limité. Lorsqu'à l'inverse la quantité de stocks détenue représente une part importante des ressources de la firme, une baisse de prix de la même ampleur que la précédente constitue une perte considérable.

L'auteur réalise des tests empiriques pour valider cette hypothèse, mais son étude ne permet cependant pas de distinguer la prime de risque du *convenience yield* : c'est la différence entre les deux variables qui est étudiée, et non chacune séparément. De là à supposer que le *convenience yield* et la prime de risque ne sont qu'une seule et même variable, qui est positive lorsque les stocks sont rares (ce que prédit la théorie du stockage) et qui devient négative lorsque les stocks sont trop importants, il n'y a qu'un pas. Cette approche rejoint alors celle proposée par Weymar, dès 1968. Dans cette conception, le *convenience yield* ne serait donc pas borné à la baisse, du fait du risque associé à la détention de stocks. Modéliser le *convenience yield* comme une option d'achat, dans ce cas, ne permettrait pas de représenter tous les comportements possibles de cette variable.

A l'option d'achat, il faudrait ajouter une option de vente. Une telle modélisation permettrait, à nos yeux, de mieux représenter le comportement du *convenience yield*. D'un point de vue économique, elle permettrait de tenir compte du fait qu'un détenteur de stocks a toujours la possibilité d'allouer ses stocks comme il le souhaite : il peut les conserver, les transformer, ou les revendre en l'état. Par ailleurs, une telle modélisation n'a jamais été envisagée, ni pour le *convenience yield*, ni pour une option réelle.

Pour effectuer un tel travail, nous pourrions cependant nous aider des recherches entreprises dans le domaine des taux de change, ou de telles options, combinant un *call* et un *put*, sont négociées et valorisées. Il nous faudra cependant adapter les modélisations existantes au cas des matières premières, et surmonter une difficulté propre à ces marchés : le *convenience yield* ne correspondant, en effet, à aucune variable observable, il nous faudra trouver une méthode pour l'estimer. Il est possible que les techniques développées dans le premier rapport que nous avons écrit pour l'IFE en 2002 puissent nous être, une fois encore, utiles.

Conclusion

Ce rapport préliminaire a permis de mettre en évidence l'importance que revêt le concept de *convenience yield* pour la compréhension des relations de prix dans le temps dans les marchés de matières premières. Cette variable est en effet indispensable pour comprendre le fait que des stocks soient détenus en situation de déport. Elle peut également être exploitée dans le contexte de matières premières non stockables, telles que l'électricité, dans la mesure où elle ne limite pas aux stocks, mais s'étend également aux capacités de production. Enfin, elle est utile pour établir des passerelles conceptuelles et méthodologiques entre les marchés dérivés de matières premières et les marchés dérivés d'actifs financiers. Or de telles passerelles peuvent être riches d'enseignements, comme le montre l'analogie entre options financières et options réelles. Les options réelles permettent par exemple de mieux apprécier la flexibilité associée à la détention d'un actif réel.

L'objectif de notre travail est d'exploiter ces passerelles pour améliorer la compréhension du comportement des prix dans les marchés de matières premières. L'information contenue dans les prix à terme est en effet utile, aussi bien pour les opérations de couverture, pour la gestion des stocks, que pour la gestion de la production. Dans le prolongement de ce rapport, nous nous proposons de tester l'hypothèse qui y a été formulée, à savoir que le *convenience yield* peut être considéré comme une combinaison d'options réelles d'achat et de vente. Cette hypothèse s'appuie sur la littérature existante. Sa pertinence ne fait donc pas vraiment de doute, d'un point de vue théorique. Il serait cependant intéressant de la confronter aux données empiriques.

Si cette hypothèse était validée, nous améliorerions ainsi la représentation du comportement du *convenience yield*. D'un point de vue économique, cela nous permettrait de tenir compte du fait qu'un détenteur de stocks a toujours la possibilité d'allouer ses stocks comme il le souhaite : il peut les conserver, les transformer, ou les revendre en l'état. Par ailleurs, ce travail constituerait un apport original, car une telle modélisation n'a jamais été envisagée, ni pour le *convenience yield*, ni pour aucune option réelle.

Bibliographie

- Bessembinder H. (1993). An empirical analysis of risk premia in futures markets, *Journal of Futures Markets*, 13(6), 611-630.
- Black F., Scholes M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, vol 81, pp 637-659, May-June.
- Blau G. (1944). Some aspects of the theory of futures trading. *Review of Economic Studies*, vol. 12, 1-30.
- Bodie Z. & Rosansky V.I. (1980). Risk and return in commodity futures. *Financial Analyst Journal*, 36(3), 27-39, May-June.
- Brealey R., Myers S. (2000). *Principles of corporate finance*, McGraw Hill, New York, 6^e Ed.
- Brennan M.J. (1958). The supply of storage. *American Economic Review*, 47, 50-72.
- Brennan M.J. (1991). The price of convenience and the valuation of commodity contingent claims, in D. Land, B. Øksendal (Ed.), *Stochastic Models and Options Values*, Elsevier Science Publishers.
- Brennan M.J., Schwartz E.S. (1985). Evaluating natural resources investments. *The Journal of Business*, vol 58, n°2.
- Brennan D., Williams J. & Wright B.D. (1997). Convenience yield without the convenience: a spatial-temporal interpretation of storage under backwardation. *Economic Journal*, 107(443), 1009-1022.
- Childs P.D., Ott S.H., Triantis A.J. (1998). Capital budgeting for interrelated projects : a real option approach, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, vol 33, n°3, pp 305-334, September.
- Copeland T., Antikarov V. (2001). *Real options : a practitioner's guide*, Texere, 372 p.
- Dusak K. (1973). Futures trading and investor returns: an investigation of commodity market risk premiums. *Journal of Political Economy*, 81(6), 1387-1406.
- Fama E.F. & French K.R. (1987). Commodity futures prices: some evidence of forecast power, premiums, and the theory of storage, *Journal of Business*, 60(1), 55-74.
- Frechette D.L. & Fackler P.L. (1999). What causes commodity price backwardation? *American Journal of Agricultural Economics*, 81(4), 761-771.

- Gibson R. & Schwartz E.S. (1989). Valuation of long-term oil-linked assets. Working Paper, Anderson Graduate School of Management, UCLA.
- Gibson R. & Schwartz E.S. (1990). Stochastic convenience yield and the pricing of oil contingent claims. *Journal of Finance*, 45, 959-975.
- Goffin R. (2001). *Principes de finance moderne*, Economica, 3^e édition, 655 p.
- Grinblatt M., Titman S. (2001). *Financial markets and corporate strategy*, 2nd edition, Mc Graw Hill, 880 p.
- Heinkel R., Howe M.E. & Hughes J.S. (1990). Commodity convenience yields as an option profit, *Journal of Futures Markets*, 10(5), 519-533.
- Kaldor, N. (1939). A note on the theory of the forward market. *Review of Economic Studies*, 8, 196-201.
- Keynes J.M. (1930). *A Treatise on Money: The applied Theory of Money*, Londres, Macmillan, vol. 2.
- Litzenberger H.R. & Rabinowitz N. (1995). Backwardation in oil futures markets: theory and empirical evidence, *Journal of Finance*, 50(5), 1517-1545, December.
- Milonas N.T. & Thomadakis S.B. (1997). Convenience yields as call options: an empirical analysis, *Journal of Futures Markets*, 17(1), 1-15.
- Milonas T.N. & Henker T. (2001). Price spread and convenience yield behaviour in the international oil market. *Applied financial economics*, 11, 23-36.
- Myers S.C. (1977). Determinants of corporate borrowing, *Journal of Financial Economics*, vol 5, pp 147-175.
- Ng V.K. & Pirrong S.C. (1994). Fundamentals and volatility: storage, spreads, and the dynamics of metals prices. *Journal of Business*, 67(2), 203-230.
- Richard S. F. & Sundaresan M. (1981). A continuous time equilibrium model of forward prices and future prices in a multigood economy. *Journal of Financial Economics*, 9(4), 347-371.
- Routledge B.R., Seppi D.J. & Spatt C.S. (2000). Equilibrium Forward Curves for Commodities, *Journal of Finance*, 55(3), 1297-1338.
- Schwartz E.S. (1997). The stochastic behavior of commodity prices: implications for valuation and hedging. *Journal of Finance*, 52, 923-973.
- Triantis A., Hodder J. (1990). Valuing flexibility as a complex option, *Journal of Finance*, vol 45, pp 549-565.
- Trigeorgis L. (1993). The nature of option interactions and the valuation of investments with multiple real options, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, vol 28, n°1, pp 1-20.
- Trigeorgis L. (1999). *Real options*, MIT Press.

Wright B.D. & Williams J.C. (1989). A theory of negative prices for storage. *Journal of Futures Markets*, 9(1), 1-14.

Williams J. & Wright B. (1991). *Storage and commodity markets*, Cambridge University Press.

Weymar H. (1968). *The dynamics of the World Cocoa Market*, MIT Press

Williams J. (1986). *The economic function of futures markets*, Cambridge University Press.

Working H. (1949). The Theory of the Price of Storage. *American Economic Review*, n°31, December, 1254-1262.