

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Faculté d'administration

**LA FISCALITÉ MINIÈRE AU QUÉBEC : Analyse comparative des effets des
régimes de redevances minières par la méthode du *Modern Asset Pricing*.**

par

Mahamat PODDA ABOUNA

Mémoire présenté au département d'économique
en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

Codirigé par

Dorothée BOCCANFUSO

Luc SAVARD

Sherbrooke, Québec, Canada

Septembre 2014

SOMMAIRE

De nombreuses études analysent la fiscalité dans le secteur minier en utilisant la méthode du cash-flow actualisé (Otto et al., 1997 ; 2006 ; Allaire, 2013 ; Pricewaterhouse Coopers, 2013). Cette dernière est réputée avoir des limites pour actualiser correctement pour le risque inhérent au secteur. La méthode du *Modern Asset Pricing*, développée à partir du modèle Black-Scholes est considérée dans la littérature comme meilleure pour mener des tels travaux. Dans sa mise en application, cette méthode se limite cependant aux différents types de prix et contrats pour prédire les changements futurs des prix de matières premières. Nous utilisons une version révisée dudit modèle stochastique pour analyser le système fiscal minier québécois. Notre modèle intègre l'inflation mondiale ainsi que le taux de change entre le dollar US et l'euro pour prédire les changements futurs des prix. Nous l'utilisons pour analyser comparativement deux régimes de redevances minières du Québec selon trois critères : les rentrées fiscales, la rentabilité économique et le risque pour les parties prenantes. Nous construisons des scénarios pour notre analyse en faisant varier les paramètres de prix et de volatilité de prix du minerai dans le modèle de prévision. Les prix prédits pour ces scénarios sont ensuite utilisés dans un modèle de coût de mine pour construire le modèle financier. L'application des régimes de redevances à ce modèle financier permet ensuite de déterminer les revenus revenant aux différentes parties prenantes. Nous appliquons ces régimes aux données d'une mine d'or située dans la province et faisons aussi appel aux techniques de simulation de Monte-Carlo pour prendre en compte les non-linéarités induites notamment par l'environnement fiscal conformément à Samis et al., (2007). Nos résultats montrent que le nouveau régime de redevance est le plus efficace en ce qui concerne les rentrées fiscales pour le gouvernement, quel que soit le scénario de prix. L'ancien régime de redevance est celui qui favorise la rentabilité économique des projets miniers. Il génère également un taux d'imposition effectif moyen plus compétitif et favoriserait ainsi l'investissement minier. Nous ne trouvons pas de conclusion définitive pour le critère de partage de risque. Ces résultats sont robustes au choix du taux de variation dans nos différents scénarios.

Mots clés : fiscalité minière, redevances minières, prix du risque, évaluation par les options réelles.

REMERCIEMENTS

J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.

En premier lieu, je remercie Mme Dorothée Boccanfuso et Mr. Luc Savard, professeurs à l'université de Sherbrooke. En tant que directeurs de mémoire, ils m'ont guidé tout au long de ce travail par leurs remarques, conseils et suggestions. Je leur témoigne toute ma reconnaissance pour la qualité de l'encadrement, leur disponibilité et leur soutien.

Je remercie aussi Mr. Martino Pelli, professeur à l'université de Sherbrooke pour avoir accepté d'être lecteur pour ce mémoire.

Je remercie tout particulièrement Mr. Michael Farrell de la World Mine Cost Data Exchange (MINECOST) qui m'a aidé en me fournissant les données minières.

Nous remercions le Bureau de la recherche (BRIO) de l'université de Sherbrooke pour son soutien pendant la rédaction de ce travail.

Je ne peux terminer sans remercier ma famille pour son soutien de tout instant.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE	ii
REMERCIEMENTS	iii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
I.INTRODUCTION	1
II.FISCALITÉ MINIÈRE ET SECTEUR MINIER AU QUÉBEC	5
1. Le secteur minier au Québec	5
2. Les caractéristiques du secteur minier	7
3. Les instruments fiscaux utilisés dans le secteur minier	8
4. Propriétés de l'instrument fiscal dans le secteur minier	11
5. Le système fiscal minier du Québec et le nouveau régime de redevances minières	12
III. REVUE DE LITTÉRATURE	15
IV. MÉTHODOLOGIE ET DONNÉES	22
1. Démarche.....	23
1.1. Le choix du bon modèle stochastique de prévision.....	23
1.2. Calcul des paramètres pour estimer le <i>prix du risque</i> (PRisk) du prix de l'or	27
1.3. Détermination des paramètres nécessaires pour déterminer le facteur d'actualisation du risque (RDF)	28
1.4. Utilisation du modèle stochastique de prévision des changements futurs du prix de matières premières pour déterminer les prix futurs du minerai	29
1.5. Construction du modèle financier du projet minier et application du régime de redevances fiscales.....	31
2. Scénarios	32
2.1. Scénarios sur l'appréciation du prix de l'or.....	35
2.2. Scénarios sur la volatilité des changements du prix de l'or	37
3. Données.....	39
3.1. Données du modèle	40
3.2. Hypothèses du modèle.....	44
V. RÉSULTATS	45

1.	Situation de référence	45
1.1.	Viabilité économique	45
1.2.	Recettes fiscales générées pour le gouvernement.....	48
1.3.	Risque pour les parties prenantes	50
2.	Analyse des différents scénarios	53
VI.	CONCLUSION.....	64
VII.	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	68
VIII.	ANNEXES	68

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

ADF	Augmented Dickey-Fuller test
ARCH	Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving Average
CAPM	Capital Asset Pricing Model
CRB	Commodity Research Bureau future index
GARCH	Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
ISQ	Institut de la Statistique du Québec
MAP	Modern Asset Pricing
MIC	Modèle intersectoriel du Québec
MRRT	Minerals Resource Rent Tax
PIB	Produit Interieur Brut
RDF	Risk Discount Factor
ROV	Real Option Valuation
RRT	Resource Rent Tax
S&P500	Indice boursier basé sur 500 grandes sociétés cotées sur les bourses américaines
TIEM	Taux d'imposition effectif moyen
TVA	Taxe sur la valeur ajoutée
VPTP	Valeur de la production à la tête du puits

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classement des taxes selon leur objectif et base fiscale	10
Tableau 2 : Nouveau régime de redevances minières du Québec.	13
Tableau 3: Paramètres du modèle.....	31
Tableau 4 : Synthèse des scénarios et valeurs de ses paramètres	34
Tableau 5 : Effets des régimes de redevances dans le scénario de référence	52
Tableau 6: Scénarios non hybrides (variation d'un seul paramètre à la fois, α ou σ) et $\alpha=25\%$	54
Tableau 7: Scénarios hybrides (variation simultanée des paramètres α et σ) et $\alpha=25\%$	56
Tableau 8: Scénarios non hybrides (variation d'un seul paramètre à la fois, α ou σ) et $\alpha=50\%$	59
Tableau 9: Scénarios hybrides (variation simultanée des paramètres α et σ) et $\alpha=50\%$	60
Tableau 10: Synthèse des principaux résultats (les revenus sont en millions de dollars).	62

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Évolution du prix de l'or sur la période 1979-2013	25
Figure 2: Évolution des variables d'inflation et de taux de change sur la période 1990-2013.....	43
Figure 3: Évolution des variables de coût du projet minier sur la période 1990-2013.....	43
Figure 4: Simulations du cash-flow net annuel avant impôt sur la période lorsqu'on applique l'ancien régime de redevances minières (en millions de dollars canadiens).....	46
Figure 5: Simulations du cash-flow net annuel avant impôt sur la période lorsqu'on applique le nouveau régime de redevances minières (en millions de dollars canadiens).	46
Figure 6 : Évolution comparative de la moyenne des simulations du cash-flow net annuel avant impôt pour les deux régimes de redevances.	48
Figure 7 : Évolution des recettes fiscales générées par chaque régime sur la période.	49
Figure 8 : Évolution du coefficient de variation des recettes fiscales perçues pour chaque type de régime fiscal.	51
Figure 9 : Évolution du coefficient de variation de la part du revenu revenant aux investisseurs selon le régime de redevance mis en œuvre	52
Figure 10: Rendement de l'ancien régime selon la valeur des paramètres	58
Figure 11: Rendement du nouveau régime selon la valeur des paramètres.....	58

I. INTRODUCTION

La thématique de l'imposition du secteur minier au Québec a occupé une place de choix ces derniers mois, en raison notamment de la modification du régime de redevances minières¹. L'adoption du nouveau régime de redevances minières était précédée d'un forum² qui a réuni les différentes parties prenantes (gouvernement, compagnies minières, spécialistes de la question, le monde associatif, etc.). Ce forum qui s'est tenu du 15 au 16 mars 2013 remet dans l'actualité les questions cruciales de la fiscalité minière et celle de savoir comment le gouvernement pourrait tirer un meilleur parti de ses ressources minières au travers de l'impôt.

Ce débat sur la fiscalité dans le secteur des industries extractives ne se limite pas au Québec et touche ces dernières années un grand ensemble de pays riches en ressources naturelles. Parmi ces pays, nous pouvons citer l'Australie, la RD Congo, la Zambie, le Zimbabwe, le Kenya, la Côte d'Ivoire, le Gabon, le Ghana, la Guinée, le Sénégal (Geourjon et al., 2013; Vadcar, 2013). Ce débat coïncide avec la flambée des prix des matières premières (minérales notamment) enregistrée ces dernières années. Cette coïncidence n'est pas fortuite dans la mesure où la flambée des prix des matières premières minérales conduit souvent les gouvernements à modifier le système fiscal qu'ils appliquent au secteur des industries extractives pour profiter également de cette hausse (Samis et al, 2007). Ce phénomène est connu dans la littérature sur la fiscalité minière, sous le nom de *risque politique* (Daniel et al., 2010). Ce risque politique se produit pour de nombreuses raisons qui vont de la pression du monde associatif³ (pour que le pays tire un meilleur profit de ses ressources naturelles et pour la préservation de l'environnement) à la volonté dudit gouvernement de profiter de cette manne financière

¹ Il s'agit du projet de loi n°70 – *Loi modifiant la Loi sur les mines* adopté le 10 décembre 2013 et le projet de loi n°55 – *Loi modifiant la Loi sur l'impôt minier* déposé à l'Assemblée nationale du Québec le 12 novembre 2013 et qui est entré en vigueur le 1^{er} janvier 2014.

² *Forum sur les redevances minières - des redevances plus équitables pour tous*, s'est tenu le 15 et 16 mars 2013 aux HEC Montréal. <http://forumredevancesminieres.gouv.qc.ca/>.

³ Voir pour le cas du Québec :

- 1) <http://www.ledevoir.com/politique/quebec/377581/quebec-a-cede-sous-la-pression-du-lobby-denoncent-les-environmentalistes>.
- 2) <http://www.quebecmeilleuremine.org/content/troisi%C3%A8me-tentative-de-r%C3%A9forme-de-la-loi-sur-les-mines-de-qu%C3%A9bec>.

inespérée induite qui lui permettra de desserrer sa contrainte budgétaire (Baunsgaard et al., 2012 ; IMF, 2012b).

Le débat reste toujours vif quant à savoir quelle part des revenus tirés de l'exploitation des ressources naturelles doit revenir aux différentes parties prenantes, c'est-à-dire le gouvernement et les investisseurs privés. Les arguments varient selon la partie prenante. Les gouvernements, en tant que propriétaires de la ressource, qui est non renouvelable, estiment qu'une part significative doit leur revenir, et ce même si la firme minière ne réalise pas de profit annuel (Québec, 2013). Quant aux minières⁴, elles mettent davantage l'accent sur le caractère risqué de ce secteur (et de leurs investissements) ainsi que sur son intensité capitalistique (Pricewaterhouse Coopers, 2011). Elles estiment par conséquent normal de se rémunérer à la hauteur du risque pris et des fonds investis. Cela renvoie au débat sur la « bonne » formule fiscale à appliquer aux industries extractives (Blake et Roberts, 2006; Daniel et al., 2010). En effet, plusieurs types d'instruments fiscaux sont appliqués au secteur des industries extractives à travers le monde (Otto et al., 2006 en énumèrent 18). Chacun de ces instruments a des avantages et des inconvénients et est plus ou moins apprécié par l'une des deux parties.

Dans un tel contexte, il nous a semblé intéressant de mener une analyse de l'impact des régimes de redevances minières du Québec. Nous constatons en effet, que peu d'études ont été consacrées à la question de la fiscalité minière au Québec. Les études existantes sont essentiellement comptables et présentent souvent des limites d'ordre méthodologique reconnues dans la littérature portant sur la question (Laughton, 2000 ; Samis et al., 2007). L'une des raisons motivant ce travail vient du constat que les quelques études qui ont analysé la fiscalité minière au Québec utilisent l'approche du cash-flow (DCF) actualisé⁵ (Allaire, 2013 ; Pricewaterhouse Coopers, 2013). Or de nombreux auteurs (Laughton, 1998a ; Laughton 2000 ; Samis et al., 2006) démontrent que cette approche présente plusieurs limites, notamment des biais dans l'évaluation qui peuvent fausser l'analyse du régime fiscal étudié. Il importe par conséquent, pour analyser rigoureusement le régime fiscal, d'utiliser des techniques plus sophistiquées. La méthodologie la plus complète à ce jour pour mener de telles analyses reste la méthode dite du *Modern Asset Pricing (MAP)*. Cette approche utilise des données des marchés

⁴ Les avis de l'Association minière du Québec durant le processus d'élaboration du nouveau régime de redevances.

- 1) http://www.amq-inc.com/index.php/71-accueil/publications/communiqu%C3%A9s/214-fin-consultations-paticulieres-1-oct_fra
- 2) <http://www.amq-inc.com/index.php/71-accueil/publications/communiqu%C3%A9s/208-projet-loi-sur-les-mines-septembre2013>
- 3) <http://www.amq-inc.com/index.php/71-accueil/publications/communiqu%C3%A9s/231-propositions-caq-pl43-22novembre2013>

⁵ L'étude de Deloitte et E&B Data (2012) sur le Québec utilise quant à elle le modèle intersectoriel du Québec.

financiers et de matières premières pour valoriser les projets de production de ressource naturelle. L'approche *MAP* actualise différemment les coûts et les revenus qui n'ont pas le même profil de risque. Elle prend en compte dans un modèle stochastique de prévision de la dynamique du prix de minerai, l'effet sur la valeur du projet de l'interaction entre le risque et l'incertitude. Elle tient ainsi compte des limites de l'approche DCF (Laughton, 1998a ; Laughton, 2000 ; Samis et al., 2007). Or, il n'existe pas à ce jour (dans le domaine public) d'étude menée sur la fiscalité minière au Québec utilisant la méthode *MAP*. D'autre part, le modèle intersectoriel du Québec (MIC) ne permet pas de mener une analyse sur l'impact fiscal du régime de redevance du côté de l'offre (c'est un modèle de demande)⁶.

Ainsi, la méthode DCF conduit à des conclusions biaisées quant aux effets d'un régime fiscal dans le secteur minier. Quant au modèle intersectoriel, il ne capte pas les recettes provenant des redevances ainsi que de l'impôt sur le revenu versé par les minières⁷ (Deloitte et E&B Data., 2012). Nous considérons donc notre travail comme un complément à ces deux types d'études.

Nous analysons dans ce travail deux régimes de redevances minières du Québec. Il s'agit de l'ancien régime de redevances minières qui était en vigueur dans la province jusqu'au 31 décembre 2013 et le nouveau régime entré en vigueur le 1^{er} janvier 2014. Cette analyse comparative se fait selon trois critères à savoir la viabilité économique du projet, les rentrées fiscales que générerait un régime relativement à l'autre et le niveau de risque de la part des revenus générés par un régime pour chacune des parties prenantes (le gouvernement et les investisseurs). Nous traitons cette problématique en utilisant l'approche *MAP* dans une version révisée. Nous rajoutons en effet au modèle stochastique de prévision des changements de prix de matière première, des variables macroéconomiques déterminant l'évolution de son prix dans le temps. Nous appliquons également la méthode de simulation de Monte-Carlo à la variable incertaine du modèle de prévision pour générer plusieurs prix possibles pour chacun de nos scénarios de prix. Nous analysons ensuite les effets de chaque régime de redevance dans des scénarios de prix pour chacun de nos critères. Nous construisons des scénarios de situation des prix et de leur volatilité sur les marchés à partir du modèle stochastique de prévision. Ces scénarios dépendent de la variation des paramètres (de prix et de volatilité) du modèle autour

⁶ Le MIC est un modèle utilisé notamment pour analyser l'impact économique et fiscal du secteur minier dans l'économie du Québec. Ce modèle ne capte que les revenus totaux et recettes fiscales générés par les opérations de dépenses directes et indirectes (dépenses d'investissement des compagnies minières, dépenses des fournisseurs ainsi que celles des travailleurs du secteur).

⁷ Nous reviendrons plus en détail sur ces points dans la suite de ce mémoire.

de leur niveau moyen sur la période. Nous avons ainsi des scénarios non hybrides (variation d'un seul paramètre à la fois) et hybrides (variation simultanée des deux paramètres). Les prix prédits par le modèle sont utilisés ensuite dans le modèle de coût de mine (contenant les données réelles sur le projet minier) pour construire le modèle financier. Nous appliquons les deux régimes de redevance au modèle financier et l'on calcule les revenus nets ainsi que les parts revenant à chacune des parties prenantes au projet. Nous appliquons notre méthodologie à un projet de mine d'or situé dans la province du Québec. Nos résultats montrent que l'ancien régime favorise la viabilité économique du projet tandis que le nouveau régime est le plus performant selon le critère de rentrées fiscales pour le gouvernement. Il n'y a pas de tendance claire concernant le critère de partage de risque entre le gouvernement et les investisseurs. Ces résultats sont robustes au choix du taux de variation utilisé dans la construction de nos scénarios.

Ce travail apporte des contributions à plusieurs niveaux.

Sur le plan pratique, il constitue à notre connaissance, la première étude qui analyse la fiscalité minière au Québec en utilisant l'approche *MAP*. Notre travail est également un complément aux études sur l'impact fiscal et économique du secteur minier qui utilisent le modèle intersectoriel du Québec (MIC). Ce dernier est incapable d'estimer les recettes qui proviennent des redevances ainsi que de l'impôt sur le revenu versé par les compagnies minières. Le MIC est un modèle de demande qui ne capte que les effets de dépenses (dépenses d'investissements miniers, des fournisseurs des compagnies minières, des travailleurs des secteurs et ainsi que les dépenses indirectes).

Notre travail se distingue également par sa méthodologie. L'approche *MAP* se limite généralement aux données sur les différents types de prix du minerai pour prévoir les prix futurs. Elle n'intègre pas d'autres variables macroéconomiques qui peuvent influencer les cours du prix de la matière première dans la prévision. C'est fut le cas de Samis et al. (2007) qui utilisent des données d'un projet minier situé en Mongolie. Blais et al. (2005), Blake et Roberts (2006), et Bradley (1998) suivent la même démarche pour analyser des systèmes fiscaux dans le secteur des industries extractives. Contrairement à ces études, nous utilisons l'approche *MAP* mais avec un modèle stochastique de prévision qui intègre des déterminants économiques de la variation des prix du minerai. Notre méthodologie combine ainsi la méthode *MAP* avec celle sur les déterminants des prix de matières premières.

C'est aussi l'une des rares études dans la littérature sur l'analyse de la fiscalité minière par l'approche *MAP* qui utilise des données réelles tirées d'un projet localisé dans la province qui le met en œuvre⁸. Notre méthodologie prend en compte l'environnement stochastique dans l'analyse de l'impact du système fiscal ainsi que la structure des coûts en vigueur dans le secteur minier du Québec par son utilisation de la méthode dans une approche par scénario. Elle peut alors compléter des études telles que Deloitte et E&B Data (2012). Cette dernière évalue les impacts économiques et fiscaux du secteur minier au Québec. Elle utilise le modèle intersectoriel du Québec et ne peut par conséquent, capter les recettes fiscales provenant notamment des redevances et de l'impôt sur le revenu comme le soulignent les auteurs de cette étude.

Le reste de notre travail se présente comme suit. La section II traite de la fiscalité minière et du secteur minier au Québec. La littérature sur la fiscalité dans le secteur des industries extractives est présentée dans la section III. La section IV présente la méthodologie ainsi que les données utilisées. La section V analyse les résultats obtenus et la section VI conclut.

II.FISCALITÉ MINIÈRE ET SECTEUR MINIER AU QUÉBEC

Les outils fiscaux utilisés dans le secteur minier sont extensibles au secteur des industries extractives en général. Nous discutons dans cette section du secteur minier au Québec, ses caractéristiques, les instruments fiscaux utilisés et leurs propriétés. Nous terminons par la présentation des deux régimes de redevances minières.

1. Le secteur minier au Québec

Le secteur minier a des effets non négligeables dans l'économie du Québec. Les investissements miniers ont connu une hausse continue depuis 2004⁹. Ils ont atteint 3 981 milliards de dollars en 2011 (Ministère des Ressources Naturelles, 2013). Les prévisions pour 2012 portaient sur des investissements miniers de 4 819 milliards de dollars (annexe B1). Le secteur minier représentait respectivement 0,81 % et 0,83 % du PIB du Québec en 1997 et 1998. Cette part a connu une baisse régulière jusqu'en 2002 où elle a représenté environ 0,55 % du PIB. Elle a ensuite progressivement crû à partir de cette date jusqu'à représenter 1,06 % du PIB du Québec en 2007. Les activités du secteur minier ont contribué pour l'année 2008 pour

⁸ La plupart des études (70 % d'après Shafiee et al., 2009) sur le sujet ont pour but de montrer la supériorité de l'approche *MAP* par rapport à la méthode *DCF*. Elles utilisent souvent des données et un régime fiscal fictifs.

⁹ L'annexe B présente l'ensemble des données que nous analysons dans cette section.

1,6 % au PIB de la province (Québec, 2011). De cette contribution au PIB, 1,5 % était dû aux activités liées à la production minière et 0,1 % dus aux investissements en immobilisations et réparations. (Annexes B5 et B6).

Le secteur génère également des recettes conséquentes même s'il existe peu d'études qui documentent son apport fiscal. D'après Québec (2011), les activités minières et les investissements des sociétés minières représenteraient pour le gouvernement du Québec des revenus de 250 millions de dollars par année en taxation des dépenses des sociétés minières et en imposition sur les salaires et traitements des travailleurs du secteur. Toujours selon Québec (2011), les rentrées fiscales auraient été de 501 millions de dollars en 2009 d'après des simulations à partir du Modèle Intersectoriel du Québec (MIC) selon les paramètres d'imposition 2009. De ce montant, 348 millions (69 %) seraient payés par les sociétés minières et 153 millions (31 %) par les fournisseurs. Quant aux droits miniers perçus par le gouvernement du Québec, ils sont passés de 99 millions de dollars pour l'exercice 2009 - 2010 à 304 millions de dollars pour l'exercice 2010-2011, et à un montant estimé de 365 millions de dollars pour l'exercice 2011-2012 d'après Secor (2012).

Sur le plan spatial, les données de Québec (2011) montrent que ces activités se concentrent dans quelques régions qui accueillent une part significative de ces investissements. Ainsi, l'Abitibi-Témiscaminque, la Côte-Nord et le Nord-du-Québec sont les trois principales régions minières du Québec. Ces trois régions concentrent une grande partie des investissements dans le secteur minier. Elles ont représenté depuis 2003 plus de 90 % des investissements miniers effectués au Québec (annexe B2).

Ces trois régions ont bénéficié de plus du 3/5 des investissements miniers au Québec en 2000. Cette part n'a fait que s'accroître depuis l'an 2000 pour atteindre plus de 90 % des investissements miniers depuis 2003. Ces régions administratives ont représenté en 2010, 68,72 % de la valeur des expéditions de produits miniers et 71,7 % en 2011¹⁰.

En matière d'emplois, les activités du secteur minier au Québec ont également généré 34 021 emplois au total dont 18 271 emplois directs et 15 751 emplois indirects (combinaison des données recensées par l'ISQ et des données estimées à partir du Modèle Intersectoriel du Québec). Les trois principales régions minières du Québec recensaient en 2012 environ 52 %

¹⁰ Les expéditions minières représentent la valeur des livraisons (ventes) des établissements miniers. Elles peuvent donc être légèrement différentes de la production minière en fonction de l'accumulation ou de la liquidation de stocks.

des emplois directs créés dans le secteur (Québec, 2011). Toujours selon Québec (2011), environ 70 % des emplois indirects générés le sont dans le secteur des services. En comptant l'ensemble des emplois directs et indirects, les activités minières représentent environ 1 % de l'ensemble des 3,9 millions de travailleurs québécois.

Concernant la répartition de la masse salariale du secteur minier par région, en 2008 les trois principales régions minières du Québec représentaient 59 % de la masse salariale (21 % pour l'Abitibi-Témiscaminque, 24 % pour la Côte-Nord et 14 % pour le Nord-du-Québec). Les autres régions administratives représentent 41 % de la masse salariale. De même, le secteur minier représentait en 2008, 5,8 % de la masse salariale en Abitibi- Témiscaminque, 13,9 % de celle de la Côte-Nord et 18,5 % de la masse salariale dans la région du Nord-du-Québec (annexes B3 et B4).

Le Québec est l'un des principaux producteurs de minerai métallique du Canada. Ses principales productions en ce qui concerne les rentrées fiscales sont l'or et le fer. Ainsi pour l'année 2012, le Québec fut la quatrième province canadienne en termes de production de minéraux ¹¹ (métalliques et non métalliques) derrière l'Ontario, la Colombie-Britannique et la Saskatchewan, avec une production évaluée à 8,18 milliards de dollars canadiens ¹². La province du Québec occupe également le deuxième rang au Canada, juste derrière l'Ontario, en termes de production de minéraux métalliques (or, minerai de fer, cuivre, nickel, uranium, zinc, autres métaux). Le Québec a produit en 2013, 18,9 % de la production de minéraux métalliques du Canada, ce qui le classe deuxième juste derrière l'Ontario qui en a produit 22,5 %.

2. Les caractéristiques du secteur minier

Le secteur minier présente deux principales caractéristiques : il est risqué et intensif en capital. Les projets miniers nécessitent en effet d'importants capitaux en plus de délais souvent très longs entre les premiers investissements et les premiers flux de gains générés par le projet. Les investisseurs récupèrent leurs mises avec un grand retard, ce qui peut nécessiter un retour sur investissement plus élevé. Selon Daniel et al. (2010), de l'étape d'exploration à celle de production, les promoteurs du projet de production de ressource naturelle doivent faire face à

¹¹ Les minéraux se décomposent en *minéraux métalliques* (or, minerai de fer, cuivre, nickel, uranium, zinc, autres métaux) *minéraux non métalliques* (Potasse, diamants, sable et gravier, ciment, pierre, sel, autres non-métaux) et *combustibles* (charbon).

¹² Données du site internet de Ressources naturelles Canada, Statistiques Canada, 2013.
<http://sead.nrcan.gc.ca/prod-prod/ann-ann-fra.aspx>.

une multitude de risques. Ces auteurs identifient plusieurs types de risque à savoir le risque géologique, le risque politique, les risques commerciaux, le risque souverain et le risque de prix.

Dans l'analyse des effets d'un système fiscal appliqué au secteur des industries extractives, il devient capital de tenir compte de son impact en termes de partage du risque entre le gouvernement et les investisseurs. L'incertitude inhérente au secteur (volatilité des prix, risque géologique, etc.), en plus de la durée du temps avant le premier retour sur investissement, peut conduire à un effondrement des investissements dans le secteur si ce nouveau régime accroît le risque porté par les investisseurs ou réduit de manière significative la rentabilité du projet (Hogan, 2007).

3. Les instruments fiscaux utilisés dans le secteur minier

Cette question a été souvent traitée dans la littérature sur les effets du système fiscal sur la valeur des projets de ressources naturelles (Otto et al., 2006 ; Hogan, 2007). Plusieurs instruments fiscaux sont utilisés dans le secteur des industries extractives à travers le monde (tableau1). Otto et al. (2006) expliquent que ces différents outils fiscaux sont regroupés dans le secteur minier en deux catégories : *in rem* tax et *in personam* tax.

Toujours selon Otto et al. (2006), les taxes *in rem* sont des charges ou frais fonction du gisement de minerai ou des inputs ou actions nécessaires pour exploiter ce gisement. Ces taxes prennent rarement en compte le concept de rentabilité. Ces auteurs les divisent en deux groupes :

- 1) les taxes qui affectent les coûts **variables** du projet tels que les redevances basées sur l'unité, des redevances *ad valorem*, les taxes sur les ventes et les impôts indirects et
- 2) les taxes qui affectent les coûts **fixes** du projet tels que les taxes sur la propriété, les taxes sur l'importation, les frais d'enregistrement, les loyers fonciers, la taxe sur la valeur ajoutée, certains type de droits de timbre et retenues d'impôts sur les intérêts et les services de l'emprunt.

Toujours selon Otto et al. (2006), les taxes *in personam* sont des charges ou frais sur certaines définitions des revenus nets (les revenus moins les coûts admissibles). Les exemples incluent notamment la taxe sur le revenu, la taxe progressive ou régressive sur les profits, les retenues à

la source sur les dividendes versés, les redevances basées sur certaines mesures du profit et les redevances basées sur certaines mesures du revenu.

Parmi ces instruments fiscaux, les plus utilisés de par le monde sont : les redevances, l'impôt sur le revenu, la taxe sur la rente de ressource (RRT), le partage de production, la prise de participation du gouvernement, les taxes indirectes (Hogan, 2007 ; Otto et al., 1997 ; 2006).

Les redevances sont très prisées des gouvernements qui les appliquent tant pour les compagnies minières, gazières que pétrolières (Otto et al., 2006). Ce type d'instruments fiscaux peut prendre plusieurs formes selon l'objectif du gouvernement qui les applique. Pour le secteur minier, les redevances existant à l'heure actuelle peuvent être décomposées selon Otto et al. (2006) comme suit :

- Les redevances basées sur des unités (redevances spécifiques);
- Les redevances basées sur la valeur de la production (redevances *ad valorem*);
- Les redevances basées sur les profits;
- Les redevances basées sur la rente des ressources ou « profits exceptionnels¹³ »;
- Les redevances hybrides, combinaison d'une redevance *ad valorem* et d'une redevance sur les profits ou sur la rente des ressources.

La redevance trouve son fondement dans le concept économique de la rente. Cette dernière est définie comme la valeur d'une ressource au point de production moins tous les coûts antérieurs engagés, y compris un rendement approprié sur l'investissement¹⁴. Le gouvernement exige alors de l'exploitant une redevance comme compensation de l'exploitation d'une ressource dont il est le propriétaire. Il l'exige également d'après Nakhle (2011) comme compensation, car la ressource est non renouvelable. La redevance est prisée, car elle génère pour le gouvernement des recettes plus régulières. En effet, elles sont perçues par le gouvernement dès le début de la phase de production (pour les redevances sur la production). Ce type de redevances est préféré par le gouvernement aux redevances sur les profits qui proviennent tardivement puisqu'elles ne sont prélevées que lorsque le projet minier commence à réaliser des profits.

¹³ *Minerals Resource Rent Tax (MRRT)* en Australie.

Tableau 1 : Classement des taxes selon leur objectif et base fiscale

Type de taxe	Objectif	Base
<i>IN REM TAXES</i>		
Redevance spécifique	Pour fournir des revenus stables et certains (stables parce que les fluctuations du prix du minerais n'ont pas d'impact); un paiement de transfert de paiement	charge par unité
Redevance <i>ad valorem</i>	Pour fournir au moins une partie des recettes, un paiement de transfert de propriété	% de la valeur du minerais (la définition de la valeur peut varier)
Taxes sur les ventes et droits d'accise	Pour fournir des revenus basés sur le volume de l'activité économique; une taxe sur les inputs	% de la valeur des ventes
Taxe foncière	Pour fournir des revenus stables basés sur la valeur physique à l'usine. va souvent au niveau du gouvernement local	% de la valeur de la propriété ou du capital
Droits d'importation	Pour fournir des revenus; pour donner un avantage aux producteurs nationaux;	% de la valeur des importations (généralement)
Droits d'exportations	Pour fournir des recettes; encourage le financement local.	% de la valeur de l'intérêt du prêt
Retenues sur les services importés	Pour fournir des recettes; pour encourager l'utilisation des services locaux.	% de la valeur des services
Taxe sur la valeur ajoutée	Pour fournir des recettes; pour capter une portion de la valeur ajoutée.	% de la valeur du bien ou du service
Frais d'enregistrement	Pour fournir des recettes d'exploitation aux bureaux administratifs	charge par événement enregistré
Frais d'usage ou de location	Pour assurer des revenus stables, souvent aux collectivités locales pour l'utilisation des terres	Charge par unité de surface
Timbre fiscal	Pour fournir des revenus sur la valeur transactionnelle	charge par transaction or % de la valeur de la transaction.
<i>IN PERSONAM TAXES</i>		
Impôt sur le revenu	Pour fournir des recettes basées sur la capacité à payer	% du revenu
Impôt sur les gains en capital	Pour capturer les profits sur cession d'immobilisations	% du profit sur cession d'immobilisations
Impôt sur les bénéfices supplémentaires	Pour capturer une partie des profits exceptionnellement élevés	% de profits supplémentaires
Impôt sur les bénéfices exceptionnels	Pour capturer une partie des profits exceptionnellement élevés	% de profits excédentaires
Redevance sur les bénéfices nets	Pour fournir des recettes basées sur la capacité à payer	% de la valeur du minerais moins les coûts des allocations
Retenues sur les bénéfices ou les dividendes versés	Pour fournir des recettes basées sur la capacité à payer, pour encourager la conservation du capital dans le pays	% de la valeur remise

Source : Otto et al.,(2006).

Le Tableau 1 montre que les taxes utilisées dans le secteur se distinguent par l'assiette fiscale sur laquelle elles sont appliquées. Elles se distinguent aussi par leur objectif spécifique. En effet, ces taxes n'ont pas les mêmes propriétés. Le gouvernement qui adopte un type de taxe,

peut l'avoir fait en raison de ses propriétés économiques ou de son impact en termes de rentrées fiscales.

4. Propriétés de l'instrument fiscal dans le secteur minier

La littérature sur la fiscalité dans le secteur des industries extractives présente également les propriétés d'une taxe idéale. Ainsi, selon Nakhle (2011), une taxe qui a les bonnes propriétés économiques doit être :

- Neutre, car elle ne doit pas distordre les décisions d'investissement.
- Juste et équitable dans la mesure où elle doit être progressive en ce sens que les compagnies qui exploitent les ressources les plus précieuses (et qui ont une plus grande capacité à payer) doivent avoir une obligation fiscale plus élevée. Elle doit répartir de manière égale le risque entre le gouvernement et les investisseurs.
- Claire et simple, c'est à dire efficace sur le plan administratif. Cela signifie qu'elle doit être facile à comprendre et à administrer.
- Stable, car l'instabilité du régime fiscal appliqué au secteur accroît le risque politique (ou fiscal) et affecte négativement la confiance des investisseurs. Cela peut se traduire par une baisse des investissements dans le secteur, une baisse des explorations et même à des fermetures temporaires des mines. C'est surtout un mauvais signal pour les investisseurs potentiels.

De même, chaque outil fiscal a au moins trois impacts d'après Otto et al. (2006), à savoir :

- Son coût administratif (collecte d'informations) pour le gouvernement et pour les investisseurs.
- Son impact en termes d'efficience économique (rentabilité, impact sur les décisions d'exploration, de développement et d'exploitation futures).
- Son effet en termes de répartition du risque entre le gouvernement et les investisseurs.

Par conséquent, toujours d'après Otto et al. (2006), l'évaluation d'un outil fiscal peut se faire par rapport à :

- son efficience économique,

- sa répartition du risque entre le gouvernement et les investisseurs,
- la plus ou moins grande facilité dans son administration.

Sur le plan pratique cependant, il existe un paradoxe pour un instrument fiscal dans le secteur des industries extractives entre le caractère distortionnaire d'une taxe et son coût administratif (voir Hogan, 2007). Les instruments les moins distortionnaires et qui sont adéquats du point de vue économique (la taxe sur la rente de ressource par exemple) sont également ceux qui sont les plus coûteux sur le plan administratif (en terme de collecte de données, de surveillance, etc.). Ainsi, les taxes idéales n'existeraient qu'en théorie, mais en pratique, une combinaison de plusieurs instruments fiscaux peut s'avérer nécessaire (Nakhle, 2011).

5. Le système fiscal minier du Québec et le nouveau régime de redevances minières

Jusqu'à la fin de l'année 2013, le Québec disposait d'un régime de redevances minières qui imposait les profits miniers à un taux fixe de 16 %. Ce régime s'inscrit dans la philosophie des redevances qui imposent uniquement la rente générée par l'exploitation minière. Ces types d'instruments fiscaux essaient d'être les moins distortionnaires possible en imposant la rente pour ne pas affecter les décisions des firmes minières (Boadway et Flatters, 1993). Le gouvernement qui les met en place partage une partie des risques encourus par les investisseurs en acceptant de ne percevoir des recettes que s'ils réalisent un profit dans le cadre de leurs activités.

Le Québec a depuis le début de l'année 2014 un nouveau régime de redevances minières¹⁵. Il s'agit d'un régime hybride qui impose à des taux fixes, la valeur de la production et de manière progressive, les profits miniers (Tableau 2). Ce nouveau régime s'inscrit dans une logique différente de l'ancien régime. Son objectif est double. D'une part, générer un minimum de recettes fiscales quel que soit le prix du minerai sur le marché mondial (rôle de la redevance sur la production). D'autre part, tirer un meilleur parti de ses ressources en cas de hausse significative de prix du minerai (rôle de la redevance sur les profits à taux progressifs).

¹⁵ Ce régime est calqué sur celui qui a été mis en place en Australie ces dernières années (la taxe sur la rente de ressource ou *Resource Rent Tax*).

Dans le nouveau régime d'impôt minier du Québec, tous les exploitants miniers paieront désormais une redevance minimale, l'impôt minier minimum¹⁶, ce qui n'était pas le cas jusqu'ici. D'après Québec (2013) ce nouveau régime se présente comme suit:

1) *Impôt minier minimum*

- 1 % à l'égard des premiers 80 millions de dollars de valeur de la production¹⁷ à la tête du puits. La redevance sera calculée sur une base annuelle.
- 4 % à l'égard de la valeur de la production à la tête du puits excédant 80 millions de dollars;

2) *Impôt minier sur le profit*

L'impôt minier sur le profit aura une structure de taux progressifs. Il sera basé sur la même assiette d'imposition que l'ancien régime. La structure de taux progressifs est fondée sur la rentabilité de la production annuelle de l'ensemble des mines d'un exploitant. Ainsi, plus la rentabilité d'un exploitant sera élevée, et plus élevé sera le taux d'impôt marginal applicable sur le profit minier. Les taux varieront de 16 % à 28 % selon la marge bénéficiaire.

Tableau 2 : Nouveau régime de redevances minières du Québec.

Marge bénéficiaire	Taux applicables	Taux effectifs au centre de la tranche	Taux effectifs au maximum de la tranche
Tranche de 0 à 35 %	16 %	16 %	16 %
Tranche de 35 % à 50 %	22 %	17,10 %	17,80 %
Tranche de 50 % à 100 %	28 %	21,20 %	22,90 %

Source : *Le régime d'impôt minier du Québec, 2013.*

Le but de ce nouveau régime, tel que souligné par le gouvernement du Québec, est d'être appliqué au secteur « afin que l'ensemble des Québécois puisse tirer profit d'une plus grande part des bénéfices provenant des ressources minières lorsque l'exploitation dégage des profits élevés. L'existence d'un impôt minier minimum et d'un impôt minier progressif sur le profit aura l'avantage d'assurer au Québec des redevances importantes, quel que soit le niveau mondial des prix des matières premières » (Québec, 2013).

¹⁶ L'impôt minier minimum versé sera reportable et applicable à l'encontre de l'impôt minier sur le profit futur.

¹⁷ La valeur de la production à la tête du puits ne pourra être inférieure à 10 % du total de la valeur brute de la production annuelle de l'exploitant, pour l'exercice financier, à l'égard de chaque mine qu'il exploite au cours de cet exercice.

Après avoir caractérisé le secteur minier et la fiscalité dans le secteur, nous présentons dans la partie suivante une revue de la littérature sur cette problématique. Cette littérature traite aussi bien de l'aspect normatif que positif de la fiscalité dans le secteur des industries extractives en général.

III. REVUE DE LITTÉRATURE

Les études sur l'évaluation des projets dans le secteur des industries extractives ont utilisé pendant longtemps l'approche DCF pour valoriser les projets dans ce secteur. Cette approche est très prisée par les praticiens du secteur en raison de sa simplicité (Allaire, 2013 ; Otto et al., 1997 ; 2006 ; Pricewaterhouse Coopers, 2013). Elle consiste, pour la simulation de l'impact fiscal, à appliquer le régime fiscal étudié au modèle financier d'un projet minier (ou toute autre ressource naturelle) et effectuer ensuite les calculs pour déterminer ses effets en terme de rentrées fiscales ou de rentabilité du projet. L'avantage d'une telle approche (lorsqu'on utilise des données réelles et non fictives) est la calibration des paramètres du modèle avec des données qui reflètent la structure des coûts (d'exploitation, d'exploration, en capital) locaux ainsi que la teneur en minerai de la région dans laquelle ce régime est appliqué. Il faut pour cela utiliser les données d'un modèle de coût de mine d'un projet existant dans cette région (Smith, 2012). Otto et al. (2006) utilisent cette approche pour quantifier l'impact des différents types de redevances minières sur le cash-flow, la rentabilité, le taux d'imposition effectif et les recettes fiscales dans le secteur minier. Ils utilisent des données issues de trois projets de mine d'or, de cuivre et de bauxite. Les paramètres de la mine d'or proviennent des données d'un projet situé en Afrique du Sud. Quant aux paramètres des modèles de mine de cuivre et de bauxite, ils proviennent de mines fictives. Les auteurs calculent pour chaque scénario de prix, le cash-flow que génère le projet chaque année et sur la période.

Une étude commandée par le ministère des Finances du Québec à Pricewaterhouse Coopers en 2013 propose également l'approche DCF (en dynamique) pour faire une analyse comparative des régimes de redevances minières du Québec et de l'Australie-Occidentale. Les auteurs de cette étude évaluent comparativement ces deux régimes en termes de rentrées fiscales générées notamment, en utilisant deux projets de mine de fer, l'un situé au Québec et l'autre en Australie. Cette approche présente des limites malgré sa popularité dans le secteur. Ces lacunes d'ordre méthodologique peuvent conduire à une mauvaise évaluation de la valeur d'un projet de production de ressource naturelle et par conséquent fausser les conclusions quant aux effets du système fiscal. Selon Laughton (1998a) notamment, l'approche DCF présente de nombreuses limites qui la rendent inopérante. Elle utilise un taux d'actualisation unique tant pour les revenus générés par la vente de la production que pour les coûts (d'exploitation, en capital, etc.) encourus (Davis, 2007 ; Laughton 1998a ; Laughton, 2000 ; Samis et al., 2006). Or l'approche oblige à postuler dans ses hypothèses que les coûts sont fixes et seuls les revenus

sont incertains (car fonction du prix qui est supposé être la seule source d'incertitude dans le modèle). Par conséquent, elle actualise avec un même taux, les deux composantes du cash-flow (revenus et coûts) qui possèdent des profils de risque différents. De même, l'incertitude du prix de la matière première rend la prévision ponctuelle inadéquate, car les effets directs de l'incertitude sur la valeur du projet sous un système de redevances non-linéaires ne sont pas alors pris en compte (Bradley, 1998).

Dans des environnements incertains (ce qui est d'autant plus vrai pour le cas du prix de minerai), Samis et al. (2007) conseillent de prendre en compte les différents scénarios possibles concernant l'évolution du prix, d'où la nécessité d'avoir des probabilités pondérées. L'utilisation de l'espérance des variables aléatoires (telle que pratiquée dans la méthode DCF statique) entraîne des erreurs dans l'estimation de la valeur des actifs (ou du projet) surtout lorsqu'on a des redevances à échelle glissante ou des taxes sur les profits exceptionnels. Cela est généralement le cas lorsqu'un gouvernement modifie son système fiscal pour profiter également de la hausse du prix des matières premières minières ou pétrolières (Samis et al., 2007). Les cash-flows sont alors non linéaires et ne sont pas correctement pris en compte par l'approche DCF (Mackie-Mason, 1990 ; Samis et al., 2007). Il en résulte des conclusions erronées quant aux effets d'un nouveau système fiscal.

Ces limites ont conduit des chercheurs à s'intéresser à des techniques plus sophistiquées qui peuvent prendre en compte les différentes limites de l'approche DCF (Brennan et Schwartz, 1985 ; Laughton, 2000). L'étude de Brennan et Schwartz (1985) fut ainsi la première à faire appel à l'analyse Black-Scholes pour évaluer la valeur d'un investissement dans le secteur des ressources naturelles. En effet, le modèle de Black-Scholes (Black et Scholes, 1973 ; Merton, 1973) était jusque-là utilisé uniquement en finance moderne pour évaluer la valeur des actifs financiers. Brennan et Schwartz utilisèrent cette technique pour valoriser un actif réel (une mine de cuivre). Ils font appel à cette méthode pour essayer de prendre en compte le niveau d'incertitude élevé (concernant le revenu futur) qui jusque-là n'était pas pris en compte par l'approche DCF dans l'évaluation de projet de production de ressource naturelle. Leur objectif était de développer un modèle général pour valoriser les cash-flows d'un investissement en ressource naturelle en utilisant la théorie du contrôle optimal. Ils montrent comment valoriser les actifs dont les cash-flows dépendent fortement des prix incertains. Cette étude constitua un apport important pour l'évaluation de projet dans le secteur et fut le précurseur de la méthode dite *Real Options Valuation (ROV)*. Cette méthode fut développée à la suite de Brennan et Schwartz (1985). Sa principale caractéristique est la prise en compte de la flexibilité

managériale dans la valorisation du projet de production de ressource naturelle (Salahor, 1998). La flexibilité managériale est définie comme la possibilité pour le gestionnaire du projet de suspendre, reporter ou d'arrêter définitivement l'exploitation du projet lorsqu'il l'estime non rentable dans une conjoncture de prix donnée. McDonald et Siegel (1985) démontrent en faisant appel à la théorie microéconomique, qu'un projet devrait être fermé s'il rapporte moins que les coûts variables. Cette flexibilité a donc une valeur économique qui peut être estimée par la méthode *ROV*. Cette dernière possède plusieurs variantes dépendamment de l'objectif de recherche.

Ainsi, Laughton (1998b) illustre l'évaluation de projets pétrolier et gazier lorsque le gestionnaire a la possibilité de suspendre provisoirement ou d'abandonner l'exploitation du projet quand les prix connaissent une conjoncture défavorable. Plusieurs études appliquèrent la méthode *ROV* à des projets de production de ressource naturelle (pétrole, mine, gaz) et arrivèrent à la conclusion que la possibilité de suspendre, de retarder ou d'arrêter le projet accroît sa valeur (Cavender, 1992 ; Kulatilaka et Marcus, 1992 ; Kulatilaka et Trigeorgis, 1994 ; Mauer et Ott, 1995 ; Palm et Pearson, 1986; Pickles et Smith, 1993).

L'étude de Shafiee et al. (2009) utilise quant à elle une version de la méthode *ROV* qui permet de considérer le coût total comme une fonction du taux de production (et non plus comme fixe). Dans ce modèle, les fonctions de coûts, les coûts de fermeture temporaire ou permanente ainsi que le coût de réouverture sont estimés de manière endogène. Ils évaluent ensuite l'effet de rendre endogène les coûts sur la valorisation de la mine. Cette version présente aussi l'avantage de simuler le taux de production qui maximise la valeur de la mine.

Blais et al. (2005) étendent l'application de la méthode *ROV* en développant un modèle d'évaluation de Monte-Carlo pour une mine produisant deux minerais (l'or et le cuivre). Ils mettent en exergue la nécessité de reconnaître explicitement le risque spécifique ainsi que les caractéristiques d'incertitude de chaque type de minerai dans le calcul de la valeur d'un projet minier produisant également un minerai secondaire. L'industrie minière prend généralement l'habitude de convertir en équivalent du métal principal le minerai secondaire produit par le projet multi-mines. Ils montrent l'importance de valoriser le minerai secondaire en lui appliquant également l'approche *ROV*.

Ces études utilisant la méthode *ROV* varient donc dans leur approche selon la problématique qu'elles traitent. Cependant, un nombre conséquent de ces études fut consacré à la

démonstration de la supériorité de cette approche par rapport à la méthode DCF (Dimitrakopoulos et Sabour, 2007 ; Guj et Garzon, 2007; Samis et al., 2006).

Malgré sa puissance pour évaluer les projets dans le secteur des industries extractives, la méthode *ROV* reste cependant peu utilisée par les praticiens du secteur (Laughton, 2000). La raison en est sa complexité et son exigence en termes de données qui sont le plus souvent confidentielles et difficiles à obtenir (Laughton, 2000). Son gain en efficacité se fait ainsi au détriment de son accessibilité pour les praticiens du secteur dans la mesure où elle nécessite des connaissances avancées en techniques quantitatives. De plus, les gestionnaires de projets dans le secteur de ressources naturelles tendent à arbitrer entre deux options cruciales. Il s'agit d'une part de la prise en compte de la flexibilité managériale dans l'évaluation qui laisse peu de marge pour mener une analyse de l'impact du système fiscal. Dans cette optique, l'objectif principal du gestionnaire est de connaître la valeur réelle du projet dans lequel il investit. D'autre part, il s'agit de la flexibilité et la simplicité de l'approche DCF pour mener des analyses de l'impact fiscal qui seront biaisées (en raison des biais inhérents à l'approche DCF). Cette optique intéressera surtout les gouvernements qui veulent avoir une idée sur l'impact fiscal d'un instrument fiscal minier. Entre ces deux options extrêmes fut développé un cadre général appelé *Modern Asset Pricing Method (MAP)*.

Cette méthode est le résultat d'un long processus de recherche qui a commencé avec Jacoby et Laughton (1991 ; 1992 ; 1993) et la méthode d'*équivalence certaine*¹⁸. La méthode *MAP* présente toutes les propriétés de l'approche *ROV* sauf la flexibilité managériale (Laughton, 2000). En effet, elle prend en compte les différences dans le profil de risque des revenus et des coûts et actualise le risque à la source de l'incertitude. Elle utilise pour ce faire un modèle stochastique utilisant les informations des marchés (financiers, de matières premières) pour modéliser la dynamique d'évolution des changements futurs de prix. Cela lui permet de prendre en compte la variation de l'incertitude du cash-flow dans le temps et selon le type de cash-flow. Elle a aussi toute la flexibilité de l'approche DCF et offre la possibilité de procéder à une analyse par scénario. Elle combine ainsi les deux approches et est idéale pour comparer avec rigueur des systèmes fiscaux appliqués au secteur.

¹⁸ Cette méthode utilise les prix à terme du minerai pour construire le modèle financier. Il ne fait plus appel au modèle stochastique dans la mesure où le prix à terme est considéré comme le « vrai prix » du minerai. Hogan (2007) utilise cette approche pour le système fiscal minier de l'Australie. Le problème avec cette méthode réside dans la rareté de données sur le prix à terme. Ce dernier est disponible seulement pour quelques points d'observations.

Bradley (1998) utilise cette approche pour évaluer une série de projets d'exploitation pétrolière soumis à une variété de régimes de redevance. Il teste si des régimes supposés équivalents selon l'approche DCF ont des impacts différents sur les investisseurs à cause de leurs caractéristiques de risque telles que déterminées par la méthode *MAP*. Il cherche donc à estimer les effets directs de l'incertitude du prix sur la valeur du projet sous un système de redevances non linéaires. L'incertitude du prix, dans l'approche *MAP*, est modélisée à travers des modèles de changements de prix de matières premières. Plusieurs modèles alternatifs de changement de prix de minerai existent à cet effet (Baker et al., 1998). Dans ces modèles, le prix du minerai peut être modélisé comme suivant une marche aléatoire avec dérive (*random walk model*), comme un modèle de prix avec choc permanent (*Permanent Shock price Model*) ou encore comme un modèle de prix avec réversion (*Reverting Price Model*). Dans ce dernier cas, le prix revient à son niveau de long terme suite à un choc.

L'approche *MAP* a été utilisée ces dernières années notamment par Samis et al. (2007) pour analyser l'impact d'une taxe sur les profits exceptionnels en utilisant les données d'une mine de cuivre/or située en Mongolie. Ils démontrent qu'elle est la meilleure pour analyser les effets d'une taxe sur les profits exceptionnels comparativement à l'approche DCF. Ils montrent que la méthode DCF standard n'arrive pas à calculer correctement les flux de revenus non linéaires qui reviennent aux différentes parties prenantes aux projets. Le revenu imposable étant stochastique, on ne peut correctement estimer le fardeau fiscal, d'après ces auteurs, qu'en combinant la méthode *MAP* avec une simulation de Monte-Carlo. Le raisonnement est le suivant. Les taxes sont considérées généralement comme une fonction strictement convexe du flux de revenu imposable stochastique (Samis et al., 2007). Or l'inégalité de Jensen stipule qu'une valeur espérée d'une fonction strictement convexe calculée avec la valeur espérée d'une variable incertaine X est moins grande que la valeur espérée d'une fonction strictement convexe évaluée sur plusieurs réalisations possibles de la variable incertaine (Samis et al., 2007). Ainsi, la méthode DCF statique aura tendance à sous-estimer le niveau des recettes fiscales qui reviennent au gouvernement par rapport à la méthode DCF dynamique qui utilise la simulation de Monte-Carlo. L'impôt à un niveau de revenu espéré sera inférieur à l'impôt espéré étant donné tous les niveaux de revenu possibles. Par conséquent, dans l'analyse d'un système fiscal, Samis et al. (2007) conseille d'utiliser la simulation de Monte-Carlo si l'on veut tenir compte des non-linéarités introduites dans les flux de revenus générés par le projet. Cette non-linéarité peut être provoquée par des taux d'imposition qui dépendent du prix du minerai à l'exemple des redevances à taux progressif ou une taxe sur les profits exceptionnels (Mackie-Mason,

1990). En cas de non-linéarité de flux des revenus issus du projet, la solution consiste à utiliser la méthode de simulation de Monte-Carlo sur la variable ou les variables incertaines (le prix du minerai pour notre cas).

Ainsi, Samis et al. (2007) mettent en avant la nécessité de combiner la méthode *MAP* avec celle de simulation de Monte-Carlo pour analyser l'impact d'un instrument fiscal minier, notamment lorsqu'il est contingent. Cette combinaison d'approches permet de prendre en compte à la fois les non-linéarités et d'actualiser correctement pour le risque à la source de l'incertitude. Cela signifie par conséquent que chaque fois qu'on analyse un système fiscal appliqué à un projet de production de ressource naturelle en utilisant la méthode DCF statique (et même dynamique), on ne prend pas correctement en compte les effets de l'interaction entre le risque et l'incertitude. Or ne pas les prendre en compte dans l'évaluation de la valeur du projet conduira à une conclusion erronée quant aux effets du système fiscal étudié sur le secteur minier. L'apport de la simulation de Monte-Carlo est donc la prise en compte des effets de l'interaction de l'incertitude (du prix de minerai) et de la non-linéarité due entre autres à l'environnement fiscal (taxes contingentes, report des pertes fiscales, l'évolution du prix du minerai qui a des impacts sur le régime de déductions, dépréciations, etc.).

Cette dernière approche (combinaison approche *MAP* et simulation de Monte-Carlo) nous semble donc la plus appropriée pour analyser rigoureusement un régime fiscal tout en ayant la possibilité d'utiliser une approche par scénario. Notre travail s'inscrit dans la lignée de cette littérature. Elle diffère cependant des celles qui évaluent l'impact d'un instrument fiscal (Bradley, 1998 ; Samis et al., 2007) , en ce que nous utilisons un modèle révisé de prévision de prix. Notre modèle s'inspire de celui de Blais et al. (2005) mais intègre en plus un vecteur de variables macroéconomiques déterminant la dynamique du prix de l'or (Khan, 2013). Nous intégrons dans le modèle de Blais et al. (2007) les variables *Inflation mondiale* et *Taux de change* entre l'euro et le dollar US comme variables explicatives. Nous utilisons ce vecteur de variables soit dans un modèle de prix avec choc permanent (où le prix ne revient pas vers son niveau de long terme suite à un choc), soit dans un modèle de prix avec réversion (où le prix revient vers son niveau de long terme suite à un choc sur les marchés). Le choix du modèle de prix (avec ou sans réversion) dépendra du test de réversion (test de racine unitaire) que nous pratiquerons sur la série de prix de l'or.

Notre étude utilise des données réelles provenant d'un projet de mine d'or situé au Québec. Cette précision concernant les données utilisées a son importance (dans une approche par

scénario) pour deux raisons. D'une part, pour la validité externe de nos résultats dans la mesure où notre modèle est alors calibré par rapport à la structure des coûts locaux. D'autre part, parce que d'après Shafiee et al. (2009), environ 70 % des études qui utilisent cette approche utilisent des données hypothétiques pour estimer leur modèle; ce qui peut limiter la portée des résultats.

L'application de notre méthodologie nécessite ainsi deux types de données. D'une part des données sur les variables nécessaires pour estimer le modèle stochastique de prévision. D'autre part, des données sur le projet minier (le modèle de coût de mine) en vue de construire le modèle financier. La mise en œuvre de cette méthodologie ainsi que la présentation des données et hypothèses sous-jacentes à notre approche font l'objet de la prochaine section.

Une fois la littérature revue, nous présentons dans la quatrième partie de ce travail notre méthodologie ainsi que les données que nous allons utiliser. Cette partie présentera aussi bien la construction du modèle stochastique de prévision que celle du modèle financier. Les hypothèses des modèles ainsi que les différents scénarios de prix et de volatilité sont également présentés de manière explicite.

IV. MÉTHODOLOGIE ET DONNÉES

Notre méthodologie fait appel aux techniques de la *Real Options Valuation*. Elle intègre les résultats de la littérature sur les déterminants du prix de matières premières dans une approche par scénario.

Nous utilisons la méthode MAP plutôt que l'approche DCF car elle tient compte des limites de l'analyse DCF. Elle tient compte d'une spécificité cruciale du secteur des industries extractives : le risque. Elle actualise à la source de l'incertitude et intègre l'interaction entre le risque et l'incertitude dans la valorisation du projet. L'incertitude dans ce modèle provient du prix du minerai (considéré dans le modèle comme la seule variable incertaine). L'approche MAP prend en compte la différence entre les coûts (considérés comme certains) et les revenus (considérés comme incertains) dans l'actualisation. Avec cette méthode, on utilise un seul taux d'actualisation (le taux d'intérêt sans risque) pour actualiser tous les cash-flows pour le temps.

Nous combinons l'approche MAP avec la simulation de Monte-Carlo pour prendre en compte les non linéarités dans les cash-flows de revenus générés. La simulation de Monte-Carlo est appliquée sur la variable aléatoire du modèle stochastique de prévision. Ce dernier utilise des données des marchés (prix au comptant de l'or, rendement de l'indice du marché boursier, etc.) pour prédire les prix futurs de l'or. Le choix du modèle stochastique se fait à la suite d'un test de réversion. Ce dernier est en fait un test de racine unitaire sur la série de prix du minerai. Nous choisissons un modèle de choc permanent si la série de prix n'est pas stationnaire. Notre choix se porte par contre sur un modèle avec réversion si la série de prix revient, après un certain temps, vers son niveau de long terme suite à un choc sur les marchés.

Nous innovons sur le plan méthodologique en rajoutant au modèle stochastique (choisi après le test) un vecteur de variables économiques pour améliorer nos prédictions. Il s'agit de l'inflation mondiale et du taux de change entre le dollar US et l'euro.

Les paramètres de prix et de volatilité sont utilisés pour construire des scénarios sur l'état des marchés de matières premières. Nous faisons varier ces paramètres de 25% au-dessus (en dessous) de leur niveau moyen de long terme pour des situations de prix et ou de volatilité de prix élevés (faibles). Ces scénarios nous donnent différents prix que nous utilisons dans le modèle de coût de mine pour construire notre modèle financier. L'application de nos deux régimes de redevances à ce modèle permet de les caractériser suivant nos trois critères (viabilité

économique du projet, les rentrées fiscales pour le gouvernement et le partage du risque entre le gouvernement et les investisseurs).

Nous présentons successivement la démarche adoptée, les différents scénarios ainsi que les données utilisées.

1. Démarche

La démarche que nous adoptons peut être résumée en cinq points principaux, à savoir :

- le choix du modèle stochastique de prévision des changements du prix de minerai, (sous-section 1.1).
- la détermination du *prix du risque* de l'or par le modèle *CAPM* à partir des données financières (sous-section 1.2).
- la détermination du facteur d'actualisation du risque (*RDF*) à partir du *prix du risque* déterminé à l'étape précédente (sous-section 1.3).
- l'utilisation du modèle stochastique pour prévoir les changements futurs du prix de l'or pour notre période d'étude (sous-section 1.4).
- la construction du modèle financier à partir des prix prédits et du modèle de coût de mine d'un projet de production d'or au Québec (sous-section 1.5).

1.1. Le choix du bon modèle stochastique de prévision

Le choix du modèle stochastique pour des prévisions des changements du prix de matière première dépend du type de minerai étudié (Baker et al., 1998). Le critère de décision est la stationnarité ou non, de la série de prix. Ainsi, si le prix de la matière première présente une racine unitaire, on utilise un modèle de choc permanent, généralement un modèle de marche aléatoire avec dérive. Ce dernier implique que suite à un choc sur le prix de cette matière première, il n'y a pas de retour vers un niveau de prix de long terme. C'est généralement le cas du prix des actifs financiers comme les actions. D'après Baker et al. (1998), il n'y a pas de fondement économique à ce que des tels actifs aient un prix de long terme vers lequel tendre après un choc. À l'inverse, si le prix de la matière première ne contient pas de racine unitaire, on utilise plutôt un modèle de prix avec réversion. Ce modèle implique que le prix revient vers son niveau de long terme suite à un choc. La réversion est définie comme le temps que mettra le prix pour revenir vers son niveau initial. Baker et al. (1998) estiment que ce phénomène de réversion du prix du minerai sur les marchés peut être expliqué par la théorie économique. Ces auteurs expliquent en effet qu'on peut supposer qu'une période de hausse de prix peut être suivie par une période de baisse de prix. Si le prix augmente de manière significative, on peut

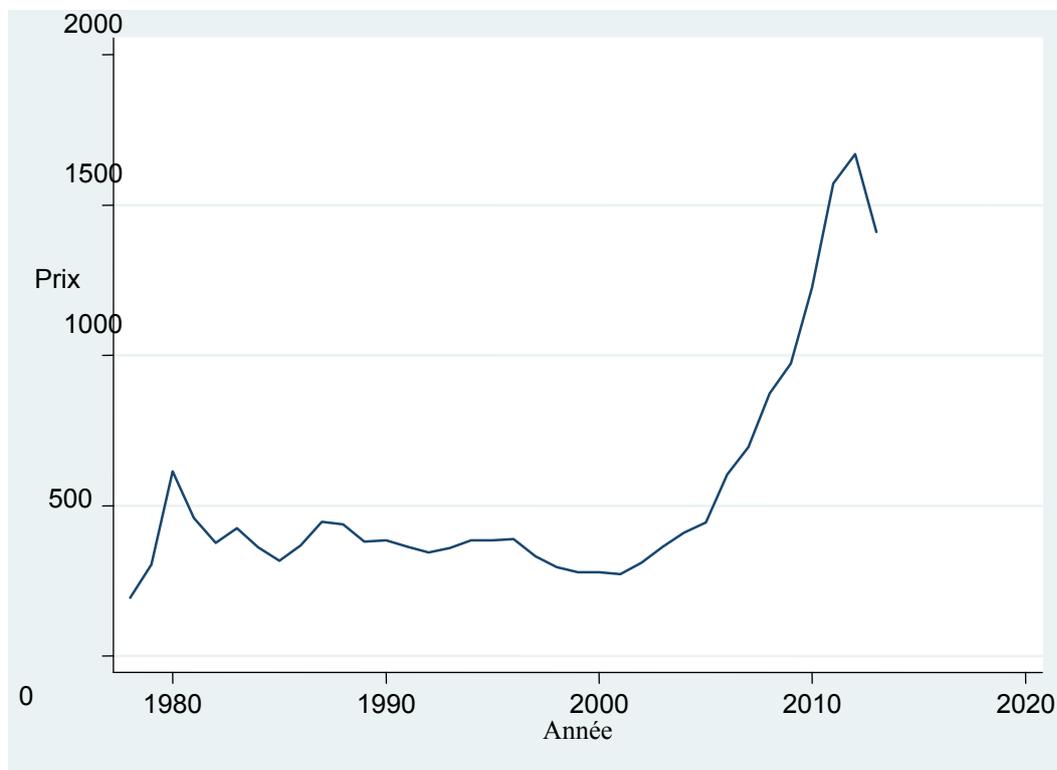
supposer que de nouvelles sources d'offre ainsi que des substituts deviennent compétitifs. Cela peut (pour l'exemple d'un minerai) rendre économiquement viable un projet minier qui ne l'était pas jusque-là en raison par exemple, d'un coût d'extraction très élevé. De même, si le prix diminue de manière significative, nous pouvons supposer que les firmes diminueront leur offre si elles enregistrent une baisse notable de leurs profits ; et ce, jusqu'à ce que la rentabilité augmente.

Pour décider du modèle à adopter pour notre étude, nous devons procéder à un test de réversion sur le prix de l'or. Il s'agit d'un test de stationnarité pour vérifier la présence d'une racine unitaire dans la série de prix de l'or. La littérature sur la prévision de prix de matières premières reconnaît la spécificité de l'or par rapport aux autres minerais (Baker et al., 1998 ; Schwartz, 1997). L'or se comporte comme un actif financier et son prix n'évolue pas par rapport à un prix moyen de long terme (absence de réversion ou de phénomène de retour vers une moyenne de long terme suite à un choc sur son marché). Pour Baker et al. (1998), l'or est le seul minerai qui est traité comme de la quasi-monnaie. Le prix de l'or est alors considéré comme étant non stationnaire. Par mesure de précaution, nous avons procédé au test de réversion pour nous assurer que cette propriété est vérifiée pour la série que nous utilisons (annexe A). Une série non stationnaire ne présente pas de réversion suite à un choc (d'où le nom de modèle de choc permanent). Cela est démontré notamment par Schwartz (1997). Dans notre cas, nous avons procédé en deux étapes pour nous assurer de la non-stationnarité de notre série de prix. La première étape fut une visualisation graphique de l'évolution de la série de prix dans le temps. La deuxième étape est un test classique de racine unitaire.

La première étape a donc consisté à observer l'évolution du prix de l'or sur la période 1979-2013. La figure d'évolution du prix de l'or sur la période nous donne un début de réponse. En effet, nous pouvons observer (Figure 1) que l'évolution du prix présente une tendance haussière sur la période¹⁹. Or, par définition, une série qui contient une tendance n'est pas stationnaire. Par conséquent, nous pouvons déduire à partir de la Figure 1 que la série du prix de l'or n'est pas stationnaire. Il en découle que la série n'a pas de prix d'équilibre ou prix à l'état stationnaire vers lequel tendre suite à un choc sur ce marché. Ce prix ne présente pas de réversion.

¹⁹ Nous observons dans la figure 1 une rupture structurelle dans la série de prix à partir de 2002.

Figure 1: Évolution du prix de l'or sur la période 1979-2013



La seconde étape a consisté à procéder au test de racine unitaire. Les tests de Dickey-Fuller augmenté²⁰ (test ADF) ainsi que celui de Phillips-Perron²¹ confirment l'existence d'une racine unitaire dans notre série de prix (Voir Annexe A). Ces deux tests confirment notre intuition et ne rejettent pas l'hypothèse de présence de racine unitaire dans la série de prix (série non stationnaire).

Les conclusions du test de réversion nous permettent par conséquent d'utiliser le modèle stochastique de prévision sans réversion dans les prix. Dans ce modèle, tel que le suggèrent Blais et al. (2005), la différence dans la prévision entre série stationnaire et non stationnaire est déterminée par la valeur du paramètre de réversion de prix γ . Ce paramètre dépend ou non du nombre d'années nécessaire pour que le prix de l'or revienne à sa moyenne suite à un choc de

²⁰ Ce test permet de vérifier l'hypothèse selon laquelle la variable prix de l'or suit un processus non stationnaire. L'hypothèse nulle est que la variable contient une racine unitaire. L'hypothèse alternative est que la variable est générée par un processus stationnaire.

²¹ Il teste les mêmes hypothèses nulle et alternative que le test ADF. Il se distingue par le fait qu'il prend en compte la corrélation sérielle grâce à l'application de la correction de Newey-West.

prix. Autrement, dit dans le cas d'une série stationnaire (prix avec réversion), $Y = \ln(2)/\text{half-life}^{22}$ sinon $Y = \ln(2)/1\,000\,000$ lorsque la série est non stationnaire. Comme nous le verrons plus en détails ultérieurement, le paramètre *half-life* mesure le nombre d'années qu'il faut pour que le prix de l'or revienne à sa moyenne suite à un choc de prix. Il capte donc la possibilité que le prix du minerai revienne vers son niveau de long terme suite à un choc sur le marché.

Notre modèle se distingue de ceux utilisés dans la littérature par l'ajout d'un vecteur de variables économiques qui peuvent expliquer l'évolution du prix de l'or. Nous utilisons comme variables explicatives l'*inflation mondiale* et le *taux de change* entre le dollar US et l'euro sur la période (Khan, 2013). En effet, le modèle de Blais et al., (2005), comme les autres études utilisant l'approche MAP, n'utilise comme variables explicatives que des variables de prix du minerai étudié. Plus généralement, l'approche *MAP* n'intègre pas de variables économiques autres que celles de prix dans son modèle de prévision stochastique du prix de la matière première. Elle se limite à estimer les paramètres à partir des informations financières et utilise uniquement les prix de la matière première (courant, à terme ou les contrats à terme) et les paramètres estimés pour faire les prévisions. D'un autre côté, nous distinguons deux littératures, l'une sur les modèles de prévisions et l'autre sur les déterminants du prix de matière première qui se limitent chacune à chercher uniquement soit les déterminants économiques les plus significatifs, soit le modèle le plus adapté pour le prix d'un minerai. La littérature sur les modèles de prévision du prix de matières premières analyse pour un minerai donné, le modèle le plus adapté (ARCH, GARCH, ARIMA, approche BOX JENKINS, etc.) pour modéliser la dynamique d'évolution de son prix (Du, 2012 ; Khan, 2013 ; Lineesh et al., 2010). Celle sur les déterminants économiques de la variation des prix d'une matière première analyse quant à elle, à travers des modèles de régressions multivariés, les déterminants les plus significatifs de la variabilité du prix (Ismael et al., 2009 ; Kanfmann et Winters, 1989 ; Schwartz et Smith, 2000 ; Shafiee et Topal, 2010). Ismaël et al. (2009) ont étudié les déterminants du prix de l'or en testant plusieurs variables économiques²³. Leurs résultats montrent que quatre variables économiques (l'indice CRB des prix, le taux de change euro/dollar US, l'inflation et l'offre de monnaie M1) expliquent de manière significative environ 70 % de la variabilité du prix de l'or. Or les études utilisant l'approche *MAP* (et *ROV*) n'intègrent jamais (à notre

²² Nous référons le lecteur à la section 1.3 pour plus de précision sur l'interprétation du paramètre *half-life*.

²³ Citons le Commodity Research Bureau future index (CRB); le USD/Euro Foreign Exchange Rate (EUROUSD); le Inflation rate (INF); la Money Supply (M1); le New York Stock Exchange (NYSE); Standard and Poor 500 (SPX); le Treasury Bill (T-BILL) et le US Dollar index (USDIX).

connaissance) de déterminants économiques tels que l'inflation ou le taux de change, dans leur modèle de prévision. Notre méthodologie se démarque par conséquent, par sa combinaison de l'approche « *déterminants économiques* » et l'approche *MAP* pour analyser la fiscalité minière au Québec à travers les effets de deux régimes de redevances minières.

Le choix de l'or comme minerai s'explique par son importance dans le secteur minier. En effet, il est l'un des deux plus importants minerais métalliques produits dans la province du Québec, l'autre étant le minerai de fer. Le Québec et l'Ontario sont à ce titre les deux principaux producteurs d'or du Canada. La production d'or combinée des deux provinces a représenté 82 % de celle du Canada en 2009 (Ressources Naturelles Canada, 2009). Il génère de recettes fiscales significatives pour le gouvernement provincial et nous paraît par conséquent significatif pour mener une analyse des effets du système fiscal minier.

1.2. Calcul des paramètres pour estimer le *prix du risque*²⁴ (*PRisk*) du prix de l'or

Une fois notre choix du modèle stochastique fait, nous devons calculer les différents paramètres permettant de l'estimer par l'économétrie des séries temporelles. Le premier paramètre que nous calculons est le *prix du risque* du prix de l'or appelé *PRisk*. C'est le risque de prix dû à l'incertitude dans l'évolution du prix de l'or sur la période. Pour déterminer ce prix du risque, la littérature sur l'approche *MAP* utilise le modèle *CAPM*. Sa formule déduite du modèle de Salahor (1998) est la suivante :

$$PRisk_{min} = \frac{R_{min}}{\sigma_{min}} = \frac{R_{mkt} - R_f}{\sigma_{mkt} \times \rho_{min, mkt}} \quad (1)$$

Pour obtenir ce $PRisk_{min}$ (l'indice *min* signifie minerai, donc le *prix du risque* du minerai (l'or)), nous utilisons les informations du marché financier (le rendement de l'indice de marché). En suivant la démarche telle que spécifiée dans Guj et Garzon (2007), nous calculons successivement :

- La corrélation entre les mouvements de l'indice du marché (S&P500) et les prix quotidiens de l'or ($\rho_{min, mkt}$).

²⁴ Le *prix du risque* d'une matière première (ou du prix d'une matière première) se définit comme les changements inattendus du prix de la matière première qui peuvent réduire la marge bénéficiaire du producteur.

- La volatilité (en terme annuel) de l'indice du marché (σ_{mkt}).
- La prime de risque moyen définie comme l'écart entre le rendement du portefeuille de marché (R_{mkt}) et le taux de rendement sans risque (R_f). Nous avons utilisé 6 % pour le niveau de cette prime. Ce taux annuel a été estimé par Officer (1989).
- Le paramètre R_{min} est le taux d'actualisation du risque entre le prix spot espéré et le prix à terme. Le prix spot est celui qui est fixé (sur un marché au comptant) pour une livraison immédiate de matière première. Le prix à terme est celui payé pour une livraison de matière première à l'échéance.
- Le paramètre σ_{min} est la volatilité du prix de l'or.

Ainsi, le rapport entre R_{min} et σ_{min} nous donne l'impact de l'interaction entre le risque et l'incertitude. C'est la définition du prix du risque de l'or.

1.3. Détermination des paramètres nécessaires pour déterminer le facteur d'actualisation du risque (RDF)

Une fois le $PRisk_{min}$ estimé, l'étape suivante consiste à déterminer le facteur d'actualisation pour le risque (RDF pour Risk Discount Factor). Pour calculer le RDF, nous avons besoin (en plus du $PRisk_{min}$) de déterminer le facteur de réversion du prix de minerai de fer. Ce facteur, noté γ (Blais et al., 2005), est déterminé par la formule suivante :

$$\gamma = \frac{\ln(2)}{halflife}$$

où *halflife* est le nombre d'années qu'il faut pour que le prix de l'or revienne à sa moyenne suite à un choc de prix. Ce paramètre mesure donc la vitesse de retour à la moyenne pour le prix du minerai suite à un choc. Le paramètre *halflife* peut également être interprété comme le temps nécessaire en années pour qu'un choc de prix de $x\%$ se dissipe de moitié d'après Blais et al. (2005). Dans la mesure où notre série de prix présente une racine unitaire, un choc aura des effets permanents. Il n'y aura pas de retour à la moyenne (pas d'effet de réversion). Blais et al. (2005) conseillent d'utiliser $halflife = 1\ 000\ 000$ s'il n'y a pas de réversion. Nous avons utilisé cette technique, ce qui change la formule de γ comme suit :

$$\gamma = \frac{\ln(2)}{1000000}$$

L'intuition derrière cet astuce méthodologique est la suivante : lorsqu'on a une série de prix non stationnaire, on peut toujours utiliser le modèle de Blais et al.(2005) qui était à l'origine

prévu pour un modèle avec réversion. La réversion étant captée par le paramètre γ , pour $\text{half-life} = 1\ 000\ 000$, γ tend vers zéro; par conséquent, on se retrouve avec un modèle de choc permanent. Cela nous permet d'utiliser ce modèle pour nos prix non stationnaires. Cette subtilité méthodologique nous permet d'éviter l'utilisation d'un modèle de marche aléatoire avec dérive qui présente des limites. En effet, Baker et al(1998) soulignent (dans le cas d'un modèle démarche aléatoire avec dérive), que l'estimation de la dérive est sensible à la période de temps choisie pour l'estimation. Ils soulignent également que l'estimation de la volatilité est également sensible à la fois au choix de la période de temps et à celui de l'intervalle de temps pour mesurer les changements de prix.

Le facteur d'actualisation du risque (RDF_{min}), facteur de réversion ou de retour vers la moyenne du prix de minerai est alors calculé avec la formule suivante :

$$RDF_{min} = e^{\left[\left(\frac{-PRisk_{min} \times \sigma_{min}}{\gamma} \right) \times (1 - e^{(-\gamma \times t)}) \right]} \quad (2)$$

1.4. Utilisation du modèle stochastique de prévision des changements futurs du prix de matières premières pour déterminer les prix futurs du minerai

Une fois le $PRisk_{min}$ et le RDF_{min} déterminés, nous disposons de tous les paramètres nécessaires pour spécifier et estimer par l'économétrie notre modèle stochastique de prévision. Le modèle est utilisé généralement dans la littérature comme suit (Blais et al.,2005):

$$\frac{dS}{S} = \left[\alpha^* + \frac{1}{2} \sigma^2 + \gamma \ln \frac{S}{S^*} \right] dt + \sigma dz \quad (3)$$

Avec:

- S : prix comptant actuel du minerai.
- S^* : prix médian de long terme courant.
- α^* : taux de croissance de court terme des médianes du prix.

- σ : volatilité du prix de court terme.
- γ : facteur de réversion.
- dz : variable aléatoire normale.

La méthode ROV a pour originalité d'ajuster pour le risque à la source de l'incertitude. Cela se traduit dans le modèle par l'introduction de la variable *RiskRate* dans l'équation de prévision de prix par Blais et al. (2005). Notre modèle de prévision du prix de minerai part de leur modèle, mais y intègre en plus un vecteur de variables économiques (\vec{X}). L'équation de notre modèle stochastique de prévision est alors la suivante :

$$\frac{dS}{S} = \left[\alpha^* + \frac{1}{2} \sigma^2 - \gamma \ln \left(\frac{S}{S^*} \right) + RiskRate \right] dt + \vec{X} + \sigma dz \quad (4)$$

Où

$$RiskRate = \frac{\ln (RDF_{min})}{d_t} \quad (5)$$

et

$$RDF_{min} = e \left[\left(\frac{-PRisk_{min} \times \sigma_{min}}{\gamma} \right) \times (1 - e^{(-\gamma \times t)}) \right] \quad (6)$$

Les équations (5) et (6) pour les mesures du risque sont identiques à celles utilisées par Blais et al. (2005).

Notre travail portant sur les données d'un vrai projet minier (et non pas hypothétique), nous devons par conséquent déterminer économétriquement à partir des données disponibles les paramètres du modèle (4) (voir les résultats dans le Tableau 3). Notre travail se distingue ainsi de Blais et al.,(2005) car ces auteurs utilisent des valeurs généralement trouvées dans la littérature pour calibrer leur modèle. Ils ne calculent pas les paramètres de leur modèle, mais conseillent de le faire si l'on travaille avec des données réelles. Cette approche (qui consiste à attribuer aux paramètres du modèle les valeurs généralement trouvées dans la littérature) est possible dans leur cas, car ils utilisent des données hypothétiques.

Tableau 3: Paramètres du modèle

Paramètres du modèle stochastique	Valeurs
S	362,26
S^*	362,26
α^*	0,046
σ_{mkt}	0,1
γ	ln(2)/1 000 000
$\rho_{minsmkt}$	0,6187
$PRisk_{min}$	0,37
σ	0,237

Dans le Tableau 3, le prix de l'or au comptant S n'est pas différent de son prix moyen de long terme. En effet, tel que souligné par Blais et al.(2005),le choc étant permanent, il n'y pas de prix de long terme vers lequel tendrait le prix après un certain temps (le paramètre γ tend vers zéro). Aussi, le prix moyen de long terme n'est pas différent du prix au comptant ($S=S^*$).

Pour le paramètre volatilité du marché financier (σ_{mkt}), nous gardons la même valeur que Blais et al.(2005). La valeur de ce paramètre tourne autour de 0,1 (Guj et Garzon (2007) trouvent une valeur de 0,13). Les autres paramètres du Tableau 3 à savoir α^* , $\rho_{minsmkt}$ et σ sont estimés à partir de nos données (voir annexe E). La valeur du paramètre $PRisk_{min}$ est déterminée à partir de l'équation (1).

1.5. Construction du modèle financier du projet minier et application du régime de redevances fiscales

Une fois les prévisions pour les prix futurs faites, nous les utilisons dans le modèle de coût de mine, pour construire le modèle financier du projet. Nous appliquons la méthode de simulation de Monte-Carlo²⁵ sur le modèle stochastique pour prédire n changements futurs de prix possibles que nous appliquons ensuite (après calcul des prix futurs) successivement aux ventes

²⁵ La méthode de simulation de Monte-Carlo est une technique de simulation qui s'appuie sur un échantillonnage aléatoire répété et l'analyse statistique. Elle consiste à identifier une distribution statistique qui sera utilisée comme source pour chaque paramètre d'entrée (la variable input). Nous tirons ensuite des échantillons aléatoires de chaque distribution, qui représentent alors les valeurs de ces paramètres d'entrée ou variables inputs. Nous obtenons n valeurs possibles (ou variable output) pour chaque variable input. Chaque valeur possible représente un scénario du résultat de la simulation. Pour notre cas, nous avons utilisé dz (la variable incertaine du modèle de prévision) comme variable input et avons tiré de manière aléatoire plusieurs échantillons suivant une distribution normale. Nous avons ensuite prédit nos prix pour chacun des échantillons aléatoires de dz .

annuelles d'or par le projet. Nous calculons ainsi les cash-flows générés par l'exploitation de la mine sur la période. Nous appliquons ensuite chacun des deux régimes de redevances minières du Québec pour déterminer la part revenant à chaque partie prenante. Ces revenus sont ensuite actualisés en utilisant le taux d'intérêt sans risque²⁶. Nous comparons alors les effets des régimes fiscaux selon nos critères (rentabilité économique, recettes fiscales générées, niveau de risque de la part revenant au gouvernement et aux investisseurs). Ces effets sont finalement comparés selon divers scénarios concernant la conjoncture de prix dans le temps.

2. Scénarios

Notre méthode repose sur une approche par scénario. Selon cette approche, les différentes dépenses du projet minier doivent refléter la structure de coût des mines de la région qui applique le régime fiscal. Ces informations contenues dans le modèle de coût de mine sont ensuite utilisées avec les prix du minerai sur la période pour construire le modèle financier selon des scénarios que nous pratiquons sur la dynamique des prix futurs de l'or. Nous appliquons le régime fiscal à ce modèle et déterminons les parts qui reviennent respectivement au gouvernement (recettes fiscales) et aux investisseurs. Le principal avantage de cette approche d'après Smith (2012), est la calibration du modèle financier qui reflète la structure des coûts locaux. Toujours selon Smith (2012), cette approche convient bien à une étude visant à déterminer l'impact fiscal d'un régime pour une région donnée en prenant en compte divers scénarios sur le prix. Nous proposons une situation (ou scénario) de référence ainsi que 8 scénarios alternatifs décomposés en scénarios non hybrides et hybrides. Le scénario de référence correspond à une situation où la valeur du paramètre de prix (α) est égale à son niveau moyen sur la période et la valeur du paramètre de volatilité (σ) est aussi égale à son niveau moyen sur la période. Un scénario correspond donc à la variation d'un paramètre du modèle stochastique par rapport à son niveau moyen sur la période. Le scénario non hybride correspond à la variation d'un seul paramètre à la fois (α ou σ) de $\pm 25\%$ par rapport à son niveau moyen sur la période. Le scénario hybride correspond quant à lui à la variation simultanée de deux paramètres (α et σ) du modèle de $\pm 25\%$ par rapport à leur niveau moyen sur la période. Cela nous donne 8 scénarios de prix et de volatilité de prix à prédire et appliquer

²⁶ Nous avons utilisé un taux de 3,22 %. Il s'agit du taux de rendements d'obligations types du gouvernement canadien à long terme. C'est le taux moyen calculé sur la période du 1er février 2009 au 1er janvier 2014 par la Banque du Canada.

au modèle de coût (nous aurons par conséquent 9 modèles financiers si nous incluons le scénario de référence).

Nous procédons ainsi pour analyser successivement les effets des régimes fiscaux dans chacun des 8 situations de prix que nous définissons²⁷. Nous pouvons ainsi comparer les effets des régimes fiscaux dans ces 8 scénarios avec le scénario de référence où nous avons une situation de prix moyen et de volatilité moyenne sur la période.

Les données historiques du prix de l'or nous permettent de calculer un taux de croissance moyen du prix de l'or pour le scénario de référence de 4,6 % ($\alpha^*=4,6\%$) sur la période et une volatilité de 23,7 % ($\sigma^*=23,7\%$). Ici, α^* et σ^* sont les valeurs calculées des paramètres α et σ à partir de nos données. Ce sont les valeurs pour la situation de référence.

Pour chacun des 8 scénarios alternatifs que nous testons (en plus du scénario de référence), nous ajoutons (resp. retranchons) ε à α^* , puis utilisons le paramètre avec cette nouvelle valeur pour prédire les variations futures des prix sur la période avec le modèle stochastique. Le paramètre ε est défini comme un choc (positif ou négatif selon le scénario) sur la valeur de α et σ . Il est égal à $0,25\alpha$ pour les scénarios de prix et $0,25\sigma$ pour les scénarios de volatilité de prix. Le taux de 25% a été choisi de façon arbitraire.

Le Tableau 4 synthétise notre approche par scénarios. Cette stratégie est basée sur l'équation (4) de notre modèle et la variation des paramètres α et σ .

$$\frac{dS}{S} = \left[\alpha^* + \frac{1}{2} \sigma^2 - Y \ln \left(\frac{S}{S^*} \right) + RiskRate \right] dt + \vec{X} + \sigma dz \quad (4)$$

²⁷ Pour les **scénarios non hybrides**, il s'agit de : situation de prix défavorables, situation de prix favorables, situation de faible volatilité des prix et situation de forte volatilité des prix.

Pour les **scénarios hybrides**, il s'agit de : situation de prix et volatilité élevés, situation de prix et volatilité faibles, situation de prix élevés et de faible volatilité, et enfin situation de prix faibles et de forte volatilité.

Tableau 4 : Synthèse des scénarios et valeurs de ses paramètres

Scénarios	Equation des paramètres	Valeur du paramètre ε ou ε^{**}	Valeur du paramètre α et σ
Scénarios de référence	$\alpha = \alpha^*$ et $\sigma = \sigma^*$		$\alpha = \alpha^* = 4,6\%$ et $\sigma = \sigma^* = 23,7\%$
Scénarios non hybrides			
scénarios de prix élevé	$\alpha = \alpha^* + \varepsilon$	$\varepsilon = 0,25\alpha^*$	$\alpha = 5,75\%$
scénarios de prix faible	$\alpha = \alpha^* - \varepsilon$	$\varepsilon = 0,25\alpha^*$	$\alpha = 3,45\%$
scénarios de volatilité élevée	$\sigma = \sigma^* + \varepsilon^{**}$	$\varepsilon^{**} = 0,25\sigma^*$	$\sigma = 29,6\%$
Scénarios de volatilité faible	$\sigma = \sigma^* - \varepsilon^{**}$	$\varepsilon^{**} = 0,25\sigma^*$	$\sigma = 17,78\%$
Scénarios hybrides			
Scénarios de prix et volatilité élevés	$\alpha = \alpha^* + \varepsilon$ et $\sigma = \sigma^* + \varepsilon^{**}$	$\varepsilon = 0,25\alpha^*$ et $\varepsilon^{**} = 0,25\sigma^*$	$\alpha = 5,75\%$ et $\sigma = 29,6\%$
Scénarios de prix et volatilité faibles	$\alpha = \alpha^* - \varepsilon$ et $\sigma = \sigma^* - \varepsilon^{**}$	$\varepsilon = 0,25\alpha^*$ et $\varepsilon^{**} = 0,25\sigma^*$	$\alpha = 3,45\%$ et $\sigma = 17,78\%$
Scénarios de prix élevés et volatilité faible	$\alpha = \alpha^* + \varepsilon$ et $\sigma = \sigma^* - \varepsilon^{**}$	$\varepsilon = 0,25\alpha^*$ et $\varepsilon^{**} = 0,25\sigma^*$	$\alpha = 5,75\%$ et $\sigma = 17,78\%$
Scénarios de prix faible et forte volatilité	$\alpha = \alpha^* - \varepsilon$ et $\sigma = \sigma^* + \varepsilon^{**}$	$\varepsilon = 0,25\alpha^*$ et $\varepsilon^{**} = 0,25\sigma^*$	$\alpha = 3,45\%$ et $\sigma = 29,6\%$

ε : choc de prix ε^{**} : choc de volatilité

Le tableau ci-dessus peut être résumé en quatre points :

- Un scénario correspond à la variation successive ou simultanée des paramètres α et σ par rapport à leur valeur dans la situation de référence.
- Les valeurs des paramètres α et σ dans la situation de référence sont calculées à partir des données sur le prix annuel de l'or (voir annexe E).
- Dans les scénarios non hybrides, le paramètre α augmente (resp. diminue) de 25% par rapport à sa valeur dans la situation de référence si on veut définir le scénario de prix favorable (resp. défavorable). Le paramètre de volatilité (σ) augmente quant à lui (resp. diminue) de 25% par rapport à sa valeur dans la situation de référence si on veut définir le scénario de forte (resp. faible) volatilité des prix sur les marchés. Les scénarios hybrides combinent ces deux types de variation (variation simultanée des deux paramètres).

- Nous effectuons des simulations de Monte-Carlo dans chaque scénario à partir de l'équation (4). Les revenus calculés sont par conséquent des moyennes des simulations.

Nous décrivons dans les lignes qui suivent ce mécanisme pour les scénarios non hybrides (variation d'un seul paramètre à la fois).

2.1.Scénarios sur l'appréciation du prix de l'or

Nous utilisons deux scénarios pour la conjoncture du prix de l'or. Ces scénarios sont basés sur la valeur du paramètre α . Cette valeur varie de $\pm \varepsilon$ selon qu'on est dans le cas d'un scénario de prix élevé ou de prix faible.

- Scénario de prix élevé

Pour cette situation de prix, nous utilisons dans le modèle stochastique de prévision (équation (4)) une valeur du paramètre α telle que :

$$\alpha = \alpha^* + \varepsilon \quad (7)$$

Avec α^* la moyenne de variation du prix de l'or sur la période.

La variable ε est le choc (en pourcentage) sur le paramètre α^* . Nous postulons arbitrairement que le paramètre ε est égal à $0,25 \times \alpha^*$. Ce choix revient à supposer dans nos scénarios que la conjoncture favorable équivaut à une situation dans laquelle le taux de croissance moyen du prix sur la période d'étude est supérieur de 25 % à celui que nous trouvons en utilisant les données historiques du prix de l'or sur la période. La conjoncture défavorable équivaut quant à elle à une situation dans laquelle le taux de croissance moyen du prix sur la période est inférieur de 25 % à la valeur trouvée lorsqu'on utilise les données historiques du prix de l'or sur la période d'étude.

Formellement, nous utilisons dans l'équation (4) des valeurs des paramètres α et σ telles que $\alpha = 5,75\%$ et $\sigma = 23,7\%$ (la valeur de α change mais celle de σ est la même que dans la situation de référence). La valeur de α pour ce scénario est calculée comme suit :

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \alpha^* + \varepsilon \\
 &= \alpha^* + 0,25\alpha^* \\
 &= 1,25 \alpha^* \\
 &= 1,25 * 4,6\% \\
 &= 5,75\%
 \end{aligned}$$

Nous utilisons successivement le paramètre α avec sa nouvelle valeur pour prédire les changements futurs de prix. Nous appliquons ensuite ces changements de prix au prix historique de l'année initiale de production du projet minier. Nous obtenons alors de nouveaux prix futurs selon ce scénario. Ces nouveaux prix sont ensuite utilisés dans le modèle de coût de mine pour construire le modèle financier selon ce scénario. Nous appliquons enfin successivement chacun des deux régimes de redevance au modèle financier et analysons ses effets sur les flux de revenus générés sur la période.

- Scénario de prix faible

Pour cette situation de prix, nous utilisons également dans le modèle stochastique de prévision une valeur du paramètre α telle que :

$$\alpha = \alpha^* - \varepsilon \quad (8)$$

Avec α^* la moyenne de variation du prix de l'or sur la période.

La variable ε est toujours le choc (en pourcentage) sur le paramètre α^* . Nous postulons toujours que le paramètre ε est égal à $0,25\alpha^*$. Par conséquent :

$$\begin{aligned}\alpha &= \alpha^* - \varepsilon \\ &= \alpha^* - 0,25\alpha^* \\ &= 0,75 \alpha^* \\ &= 0,75 \times 4,6 \% \\ &= 3,45 \%\end{aligned}$$

Nous utilisons donc, pour le scénario de prix faible, des valeurs des paramètres α et σ telles que $\alpha = 3,45 \%$ et $\sigma = 23,7 \%$ (seule la valeur de α change, celle de σ est la même que dans la situation de référence). Ces valeurs sont utilisées dans le modèle stochastique pour prédire les prix pour le scénario de prix faible. Ces prix sont ensuite utilisés dans le modèle de coût de mine pour construire le modèle financier.

2.2.Scénarios sur la volatilité des changements du prix de l'or

Le raisonnement de la section précédente reste également valide pour le cas des scénarios de volatilité de prix. Nous utilisons encore deux scénarios mais qui portent sur le niveau de volatilité des changements du prix de l'or. Ces scénarios portent désormais sur la valeur du paramètre σ . Cette valeur peut augmenter ou diminuer d'un montant ε^* selon qu'on est dans le cas d'un scénario de prix élevé ou de prix faible. Dans les scénarios de volatilité, la valeur du paramètre α est la même que dans la situation de référence. Seule la valeur de σ change.

- Scénario de forte volatilité du prix de l'or sur les marchés

Le paramètre ε^{**} représente le choc sur la volatilité du changement de prix de l'or. Nous fixons arbitrairement la valeur du paramètre ε^{**} à $0,25 \times \sigma^*$. Pour chacun des deux scénarios, nous ajoutons (resp. retranchons) ε^{**} à σ^* , puis utilisons la valeur du nouveau paramètre dans le modèle stochastique pour prédire les changements futurs du prix de l'or selon chacun de ces scénarios. Pour le scénario de forte volatilité de prix, la valeur du paramètre est déterminée par l'équation suivante :

$$\sigma = \sigma^* + \varepsilon^{**} \quad (9)$$

Formellement, pour le scénario de volatilité élevée, nous utilisons dans le modèle de prévision, des valeurs des paramètres α et σ telles que $\alpha = 4,6 \%$ et $\sigma = 29,63 \%$. La valeur de σ est calculée comme suit :

$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma^* + \varepsilon^{**} \\ &= \sigma^* + 0,25 \sigma^* \\ &= 1,25 \sigma^* \\ &= 1,25 * 23,7 \% \\ &= 29,63 \% \end{aligned}$$

Nous utilisons successivement le paramètre σ avec sa nouvelle valeur pour prédire les changements futurs de prix. Les variations futures des prix sont appliquées au prix de la première année de production pour obtenir la série de prix de l'or selon ces scénarios pour la période.

- Scénario de faible volatilité du prix de l'or sur les marchés

Nous utilisons pour ce scénario des valeurs des paramètres α et σ telles que $\alpha = 4,6 \%$ et $\sigma = 17,78 \%$. La valeur du paramètre α est la même que dans la situation de référence. Seule la

valeur de σ change dans ce scénario. Pour le scénario de faible volatilité de prix, la valeur du paramètre est déterminée par l'équation suivante :

$$\sigma = \sigma^* - \varepsilon^{**} \quad (10)$$

La valeur de σ est alors déterminée comme suit :

$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma^* - \varepsilon^{**} \\ &= \sigma^* - 0,25 \sigma^* \\ &= 0,75 \sigma^* \\ &= 0,75 * 23,7 \% \\ &= 17,78 \% \end{aligned}$$

Nous utilisons ces valeurs des paramètres dans l'équation (4) pour prédire les prix correspondants. Ces prix sont utilisés dans le modèle de coût de mine pour avoir le modèle financier.

Nous déterminons donc dans chacun des scénarios, les nouveaux prix stochastiques induits. Notre modèle prend ainsi en compte le « *prix du risque* » de l'or (le prix étant la seule variable incertaine dans notre modèle). Nous appliquons, simultanément à la variation des valeurs des paramètres, la méthode de simulation de Monte-Carlo sur le modèle de prévision du prix de l'or (modèle de prévision). Cette simulation a pour but de prendre en compte les non-linéarités induites par le système fiscal dans les cash-flows générés.

3. Données

Les données sont cruciales dans le contexte de cette littérature, en particulier celles sur les coûts et la production des compagnies minières. Nous présentons les données que nous avons utilisées, leurs sources ainsi que les hypothèses postulées.

3.1. Données du modèle

Nous utilisons deux types de données dans nos modèles. Il s'agit d'une part des données sur le projet minier (structure des coûts, quantités extraites, teneur en minerai, etc.) et d'autre part des données « économiques » notamment l'inflation, le taux de change, le prix de l'or et le taux d'intérêt sur les obligations du gouvernement canadien à long terme.

Nous utilisons les données minières pour construire le modèle financier et lui appliquer les deux régimes de redevances. Ces données sont contenues dans le modèle de coût de mine. Ce dernier contient différentes informations sur le projet de production d'or (les coûts d'exploration, de développement, en capital et d'exploitation, les productions annuelles de minerai, la teneur en minerai, la durée de vie du projet minier, le prix de vente, etc.). Ce modèle de coût de mine nous a été fourni par la firme MINECOST (*World Mine Cost Data Exchange*). Cette société est spécialisée dans la fourniture des modèles de production et de coûts pour les compagnies minières au niveau international. Les données contenues dans ce modèle portent sur un projet de production d'or situé dans la province du Québec.

Nous utilisons également des données annuelles sur le prix de l'or. Ces données proviennent de World Gold Council et couvrent la période 1979-2013. Elles sont en valeurs nominales.

Nous devons déterminer un taux d'actualisation pour le besoin d'actualisation des flux de revenus issus du projet. Le taux d'actualisation dans le cas de la méthode MAP est le taux d'intérêt sans risque. En effet, le risque est déjà pris en compte par le modèle stochastique de prévision. Ce taux d'actualisation est approximé par le taux d'intérêt sans risque. Nous utilisons pour ce faire, le taux d'intérêt sur les obligations du gouvernement canadien à long terme. Ce taux est estimé à 3,22% par la Banque du Canada. Il est construit comme le taux moyen calculé sur la période du 1^{er} février 2009 au 1^{er} janvier 2014.

Nous avons besoin de calculer la corrélation entre le prix de l'or et le rendement de l'indice boursier sur la période. Les données sur le rendement de l'indice boursier proviennent de Bloomberg. Ce paramètre de corrélation est ensuite utilisé dans le calcul du prix du risque.

Les données sur nos variables d'inflation proviennent de la base de données *World Development Indicators* (WDI) de la Banque Mondiale. Nous utilisons les données sur l'indice de prix au consommateur en terme annuel au Canada pour déflater nos variables nominales. Nous utilisons également les données sur l'indice de prix à la consommation en terme annuel

aux USA pour approximer l'inflation mondiale. Nous utilisons l'inflation aux USA comme variable proxy pour l'inflation mondiale car cela se fait déjà dans la littérature sur l'inflation comme le souligne Ward (2001). Ce dernier précise d'ailleurs qu'il existe d'autres mesures qui sont utilisées pour approximer l'inflation mondiale. Parmi ces variables, nous pouvons citer en plus de l'indice des prix à la consommation aux USA, le déflateur des droits de tirage spéciaux (*SDR deflator*), le déflateur global du PNB mondial (défini comme le PNB mondial agrégé en dollars US courants divisé par l'équivalent du PNB mondial en dollars US constants de 1995). Nous optons pour l'indice des prix aux USA pour deux raisons. La première raison (et la plus importante) de notre choix concerne le rôle du dollar US dans le monde. Le dollar US étant une monnaie de réserve, on peut supposer que l'inflation aux USA affectera le cours de l'or. En effet, on peut supposer qu'une politique de *quantitative easing* de la réserve fédérale aux USA peut accroître le taux d'inflation. Une telle politique monétaire peut réduire la confiance des Banques Centrales des pays qui détiennent des réserves en dollars (Chine, Algérie, Japon, Russie, Arabie Saoudite, Taiwan, Brésil, Inde, etc.). Ces pays peuvent alors vendre les dollars qu'ils détiennent et les remplacer par l'or. L'achat massif d'or peut ensuite affecter son cours. Une autre raison serait que la plupart de ces indicateurs sont libellés en dollars US pour des besoins de comparaisons et d'agrégations. De même, les USA représentent une part importante du PIB mondiale. De part leur construction, ces indicateurs peuvent donc être affectés par la politique monétaire des USA.

Les données sur le taux de change (nominal) entre le dollar US et le dollar canadien proviennent également du *World Global Council*. Nous utilisons cette variable de taux de change pour convertir nos revenus en dollars canadiens. La variable de taux de change entre le dollar US et l'euro proviennent également de Bloomberg. Nous utilisons cette variable comme une explicative dans le modèle stochastique.

Nous présentons dans l'annexe A, les statistiques descriptives de nos différentes variables. Le prix de l'or porte sur la période 1990 à 2013 (24 observations). Il varie entre 271,04 dollars et 1 668,98 dollars avec un écart-type de 437,4. Ce prix varie donc fortement sur la période de notre étude. L'inflation mondiale ainsi que celle au Canada sont mesurées en pourcentage annuelle. Elles ont été en moyenne sur la période de 2,72% et 2,14 % respectivement pour le monde et le Canada sur la période. Le taux de change entre le dollar US et l'euro varie de 0,889 dollar pour un euro à 1,458 dollars pour un euro, avec une moyenne à 1,244 dollars pour un euro. L'écart-type de la variable sur la période est de 0,156. Les détails sur les autres variables se trouvent en annexe A.

Nous présentons dans la Figure 2 et la Figure 3 l'évolution des certaines de nos variables sur la période. La Figure 2 présente l'évolution des variables d'inflation et de taux de change sur la période d'étude. Les variables d'inflation sont le taux d'inflation mondiale et le taux d'inflation pour le Canada. Les variables de taux de change sont le taux de change entre l'euro et le dollar US et le taux de change entre le dollar US et le dollar Canadien. La Figure 3 présente quant à elle l'évolution des variables portant sur le projet minier. Il s'agit du coût de production sur le site, les dépenses de remplacement et d'exploration, le fond de roulement ainsi que les taxes payées sur les dépenses engagées. Ces taxes sont considérées comme des coûts d'exploitation dans le modèle financier.

Figure 2: Évolution des variables d'inflation et de taux de change sur la période 1990-2013.

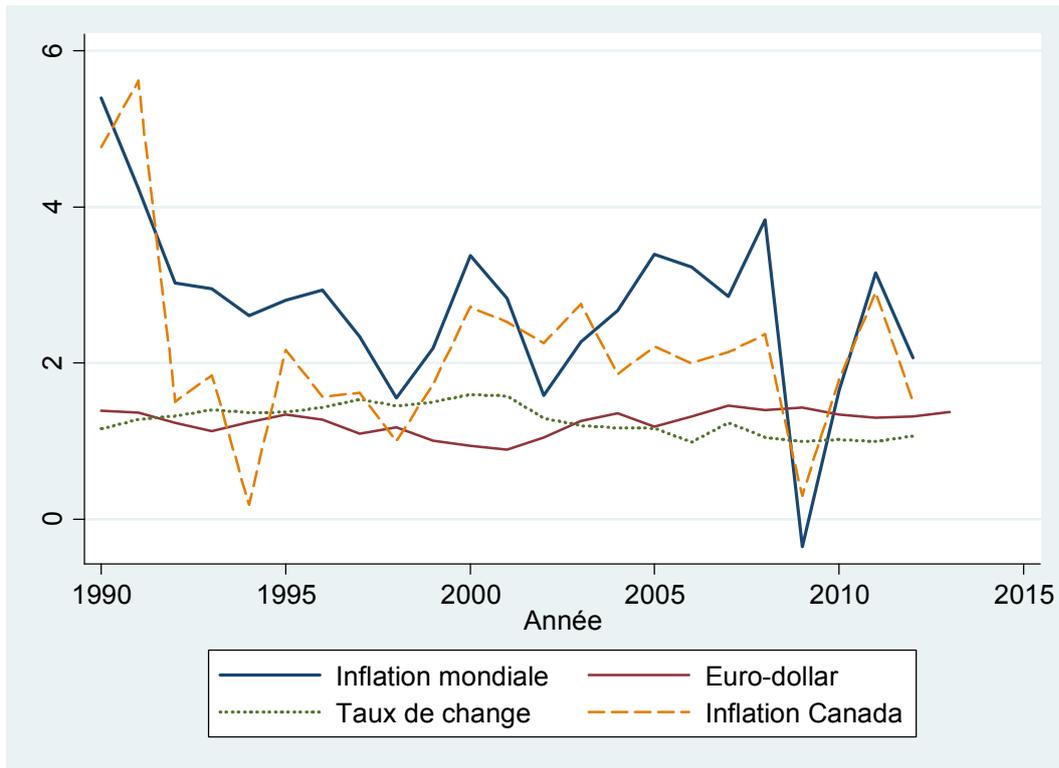
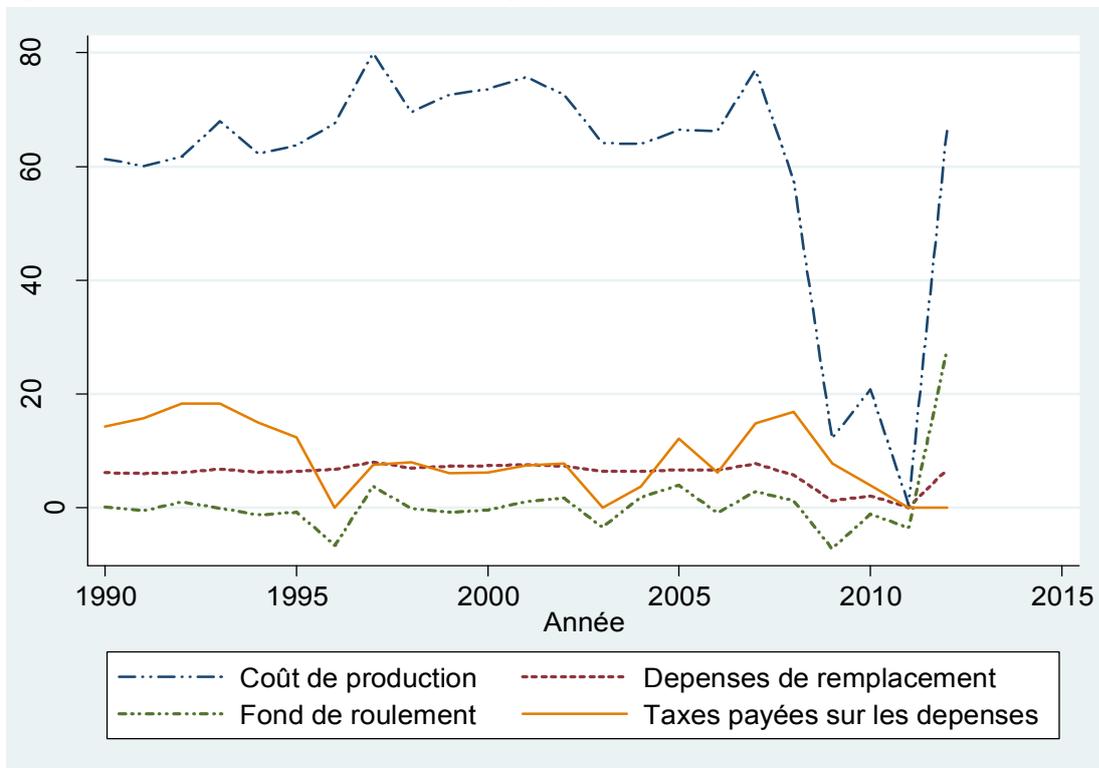


Figure 3: Évolution des variables de coût du projet minier sur la période 1990-2013.



3.2. Hypothèses du modèle

Notre modèle (et plus globalement notre démarche) comporte un certain nombre d'hypothèses inhérentes à la méthodologie *MAP*-approche par scénario. Ainsi, nous postulons que :

- Le prix du minerai est la seule variable incertaine dans le modèle.
- La production de l'or ainsi que les coûts (d'exploitation et en capital) sont connus avec certitude.
- Il y a un seul type de minerai exploité dans la mine étudiée.
- Il n'y a pas de flexibilité managériale (pas de possibilité d'abandon de la mine avant la fin de sa durée de vie, de suspension temporaire ou de possibilité d'exploitation d'un minerai secondaire, etc.).
- Le projet est financé sur fonds propres (les investisseurs possèdent 100 % des parts).
- Le taux de change entre les dollars canadien et américain est fixe sur la période.
- On ne prend pas en compte les coûts sociaux et environnementaux.

Une fois présentée, cette méthodologie a été mise en œuvre. Nous avons calculé les prix futurs et construit le modèle financier. Nous avons ensuite appliqué les régimes de redevance pour déterminer les revenus de chaque partie prenante pour les différents scénarios présentés ci-dessus. La section suivante présente les résultats de nos scénarios selon les critères de viabilités économiques, de rentrées fiscales et de partage du risque.

V. RÉSULTATS

Nous analysons nos résultats dans cette section. Nous commençons par le scénario de référence, puis analysons les effets des régimes pour différents scénarios du prix de l'or.

1. Situation de référence

Le scénario de référence correspond à notre situation avec un taux de croissance moyen du prix et une volatilité moyenne (sur la période) du changement de prix sur le marché de l'or. Dans ce scénario, nous y analysons les résultats obtenus en appliquant successivement chacun des deux régimes de redevances minières du Québec au modèle financier du projet de production minière. Cette analyse se fera suivant les 3 critères à savoir la viabilité économique du projet, le niveau de recettes fiscales générées et le niveau de risque de la part revenant au gouvernement et aux investisseurs.

1.1. Viabilité économique

Nous définissons la viabilité économique d'un projet comme la situation dans laquelle ce projet réalise un flux net de revenus actualisé sur la période de production supérieur à zéro. En nous basant sur ce critère, nous cherchons à vérifier l'impact économique des deux régimes de redevances. Autrement dit, nous voulons analyser l'effet de l'application d'un régime fiscal sur la rentabilité économique d'un projet de production minière. Ce critère est important dans la mesure où le cash-flow net actualisé sur la durée de vie du projet peut influencer la décision d'investir. Le secteur minier recense trois caractéristiques qui, combinées à une fiscalité lourde et instable, peuvent décourager l'investissement minier. Il est en effet risqué, volatile et intensif en capital. Les premiers investissements sont coûteux et les revenus annuels nets positifs ne sont généralement pas disponibles les premières années d'exploitation. Par conséquent, une fiscalité qui intervient (dans le modèle financier) comme un coût d'exploitation (une redevance *ad valorem*, par exemple) sur un projet de minerai (surtout s'il est de qualité moyenne ou faible et/ou coûteuse à extraire) peut affecter la rentabilité économique globale ou du moins allonger les années de gains négatifs. Dans la mesure où le risque et l'incertitude élevés demandent un rendement plus élevé pour compenser le risque encouru, la fiscalité peut décourager l'investissement dans le secteur²⁸. Nous montrons dans la Figure 4 (ancien régime de

²⁸ L'instabilité fiscale peut aussi décourager l'investissement dans le secteur minier. Dans la mesure où l'investisseur doit attendre longtemps avant de rentrer dans ses frais, un gouvernement qui modifie fréquemment son régime fiscal minier peut décourager les investisseurs qui ne peuvent plus considérer comme fixe la rentabilité du projet qu'il veut financer, en particulier si le minerai à exploiter est de qualité faible ou moyenne (Hogan, 2007).

redevances minières) et la Figure 5 (nouveau régime de redevances minières), l'évolution du cash-flow net annuel sur toute la durée de vie du projet minier en utilisant la simulation de Monte-Carlo sur la variable incertaine. Les résultats montrent quatre cash-flows nets simulés pour chaque régime de redevances. Ces résultats diffèrent légèrement même si les graphiques n'en donnent pas l'impression. En effet, dans la Figure 5 où l'on applique le nouveau régime de redevance, la redevance sur la production qu'elle implique intervient comme un coût d'exploitation dans le modèle financier. La redevance *ad valorem* mise en place par le nouveau régime intervient dans le calcul du cash-flow net (calculé comme la différence entre les recettes issues de la vente de la production annuelle et les différents coûts enregistrés cette année). Elle agit comme un coût d'exploitation dans le modèle financier et réduit donc le cash-flow net annuel généré. Par contre dans la Figure 4 où l'on applique l'ancien régime, il n'y a pas de redevance sur la production.

Figure 4: Simulations du cash-flow net annuel avant impôt sur la période lorsqu'on applique l'ancien régime de redevances minières (en millions de dollars canadiens).

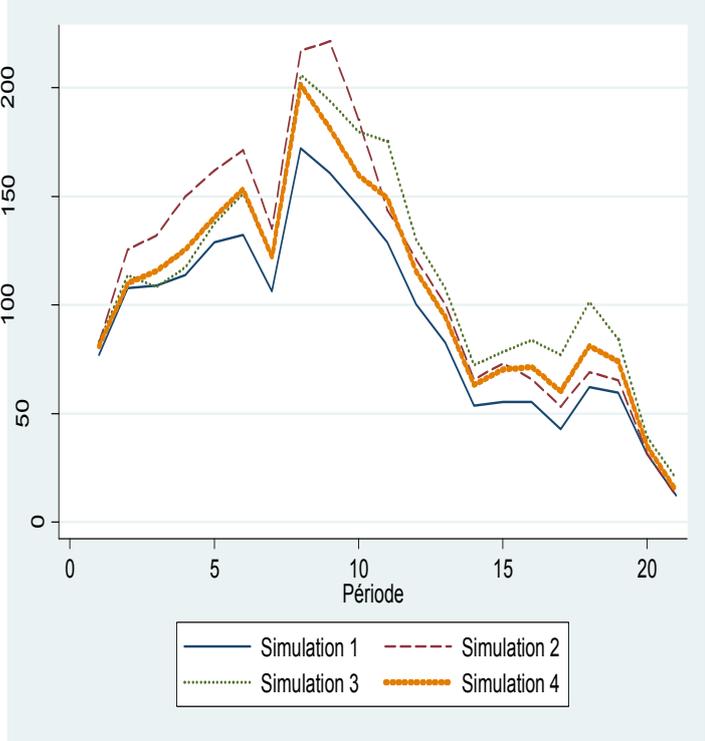
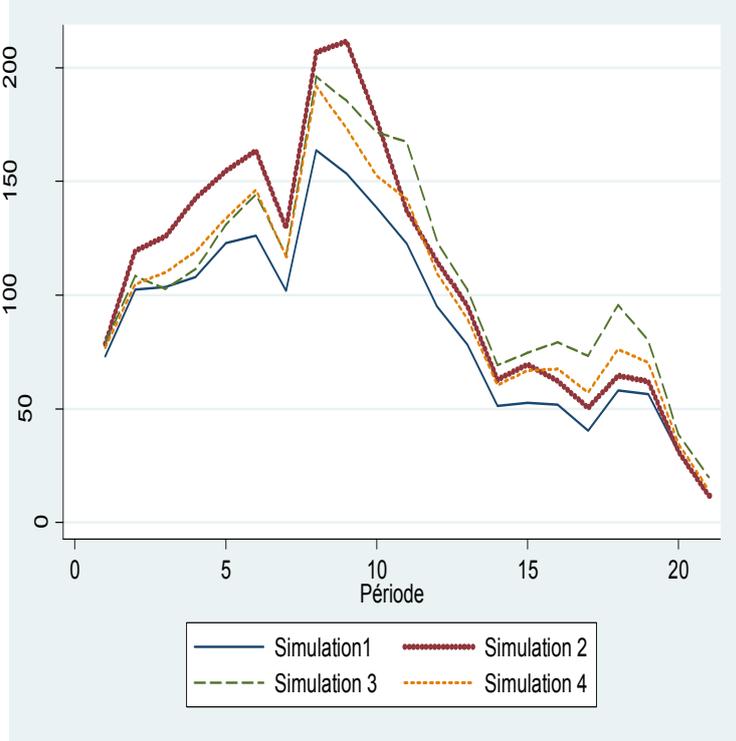


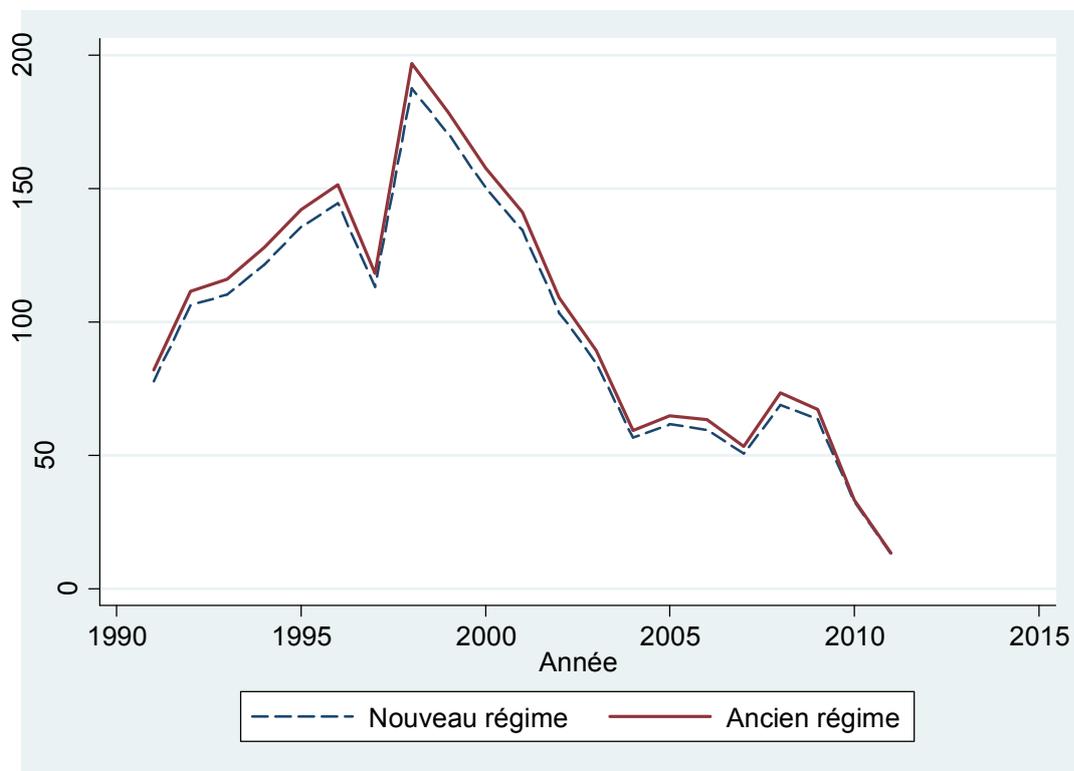
Figure 5: Simulations du cash-flow net annuel avant impôt sur la période lorsqu'on applique le nouveau régime de redevances minières (en millions de dollars canadiens).



En termes de cash-flows nets générés sur la durée d'exploitation de la mine, le projet minier génère sur la période 359,7 millions de dollars (CAD) lorsqu'on applique l'ancien régime de redevances et 342,3 millions de dollars lorsqu'il est imposé selon le nouveau régime. Nous constatons que lorsqu'on applique l'ancien régime de redevances minières, le projet minier génère plus de revenus nets qu'avec le nouveau régime. Cependant, dans les deux cas, le projet minier reste économiquement rentable. L'écart de revenu généré entre les deux types de régime s'explique par l'introduction dans le nouveau régime d'une redevance *ad valorem* sur la production qui agit comme un coût d'exploitation dans le calcul du cash-flow net annuel. Cette redevance sur la production assure au gouvernement un niveau minimum de recettes même en période de faible profit minier. Elle est indépendante du profit réalisé par le projet (et par conséquent du cours du prix de l'or sur les marchés). La différence de cash-flows nets générés par le projet selon le régime appliqué (l'écart entre les 359,7 millions et les 342,3 millions) représente les recettes fiscales générées par l'introduction de la redevance sur la production dans le nouveau régime. Cette différence de 17,4 millions de dollars est perçue par le gouvernement quel que soit la situation financière du projet minier. Les recettes fiscales de 17,4 millions sont par contre considérées comme des coûts dans le modèle financier. Cette situation explique pourquoi les redevances *ad valorem* sont prisées des gouvernements. Elles leur fournissent des recettes fiscales (qui sont des coûts d'exploitation du point de vue des investisseurs) même si le projet minier ne réalise pas de profit. Dans un tel cas, les investisseurs portent l'essentiel du risque encouru par le projet exploité.

La différence entre les deux régimes de redevances n'est pas évidente lorsque nous comparions la Figure 4 et la Figure 5 ci-dessus. Cette différence apparaît plus nettement dans la Figure 6. Cette dernière montre clairement l'écart de recettes fiscales entre les deux types de régime. Cet écart est dû à la redevance *ad valorem* imposée par le nouveau régime (elle est de 1% sur les 80 premiers millions de production et 4% sur le montant au-delà des 80 premiers millions). Lorsqu'on étudie l'évolution du cash-flow net annuel du projet selon chaque type de régime de redevances, il en ressort (Figure 6) que l'ancien régime génère légèrement plus de revenus nets en particulier pendant les premières années d'exploitation du projet. Les courbes dans la Figure 6 sont les moyennes des simulations de la Figure 4 et la Figure 5.

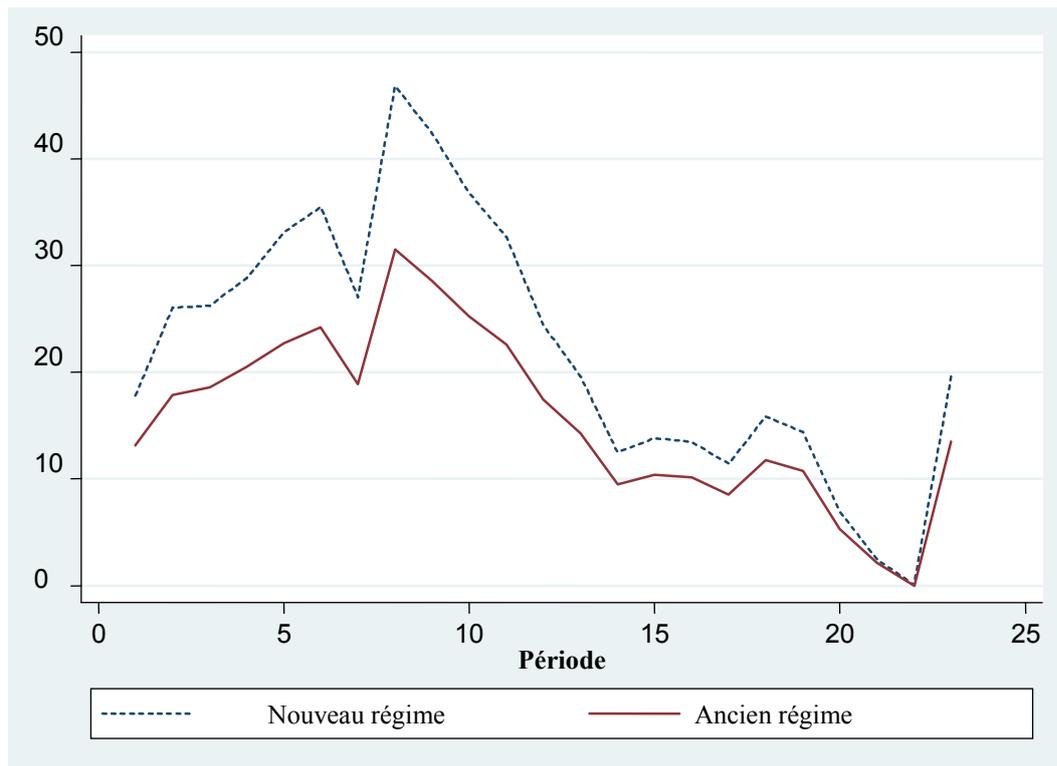
Figure 6 : Évolution comparative de la moyenne des simulations du cash-flow net annuel avant impôt pour les deux régimes de redevances.



1.2. Recettes fiscales générées pour le gouvernement

Le deuxième critère utilisé pour caractériser les deux régimes est le niveau de recettes fiscales que le gouvernement perçoit de leur mise en œuvre. Ces recettes proviennent d'un seul instrument fiscal (l'impôt sur les profits miniers utilisé) pour l'ancien régime et de deux instruments fiscaux (la redevance sur la production et l'impôt sur les profits miniers) pour le nouveau régime. Lorsqu'on applique l'ancien régime de redevances, nous trouvons que le gouvernement perçoit au total 56,5 millions de dollars de recettes fiscales sur la période. Ce montant est de 80,7 millions de dollars lorsqu'on met en œuvre le nouveau régime. Ce dernier génère donc plus de recettes fiscales, en partie grâce à l'introduction de la redevance *ad valorem* sur la production qui assure des niveaux minima de recettes même en période de faible prix de matière première. L'imposition selon la marge bénéficiaire quant à elle permet de mieux tirer parti des revenus générés par le projet en période de prix élevé.

Figure 7 : Évolution des recettes fiscales générées par chaque régime sur la période.



Nous pouvons observer ainsi dans la Figure 7 que le nouveau régime génère annuellement (sur presque toute la durée d'exploitation du projet minier) plus de recettes fiscales que l'ancien régime. Nous avons testé la significativité statistique de cet écart de recettes. La procédure du test est présentée dans l'annexe H (test t de Student apparié). Pour le scénario de référence, nous calculons un t de Student de 7,5. La statistique de Student lue sur la table est de 2,819 pour 22 degrés de liberté et une p-value de 1%. Par conséquent, l'écart de recettes fiscales entre les deux régimes est statistiquement significatif avec un niveau de confiance de 99%. Le nouveau régime génère donc plus de recettes que l'ancien régime. Le test de significativité sur les 8 scénarios alternatifs donne le même résultat. La statistique de Student calculée est à chaque fois supérieure à celle lue sur la table.

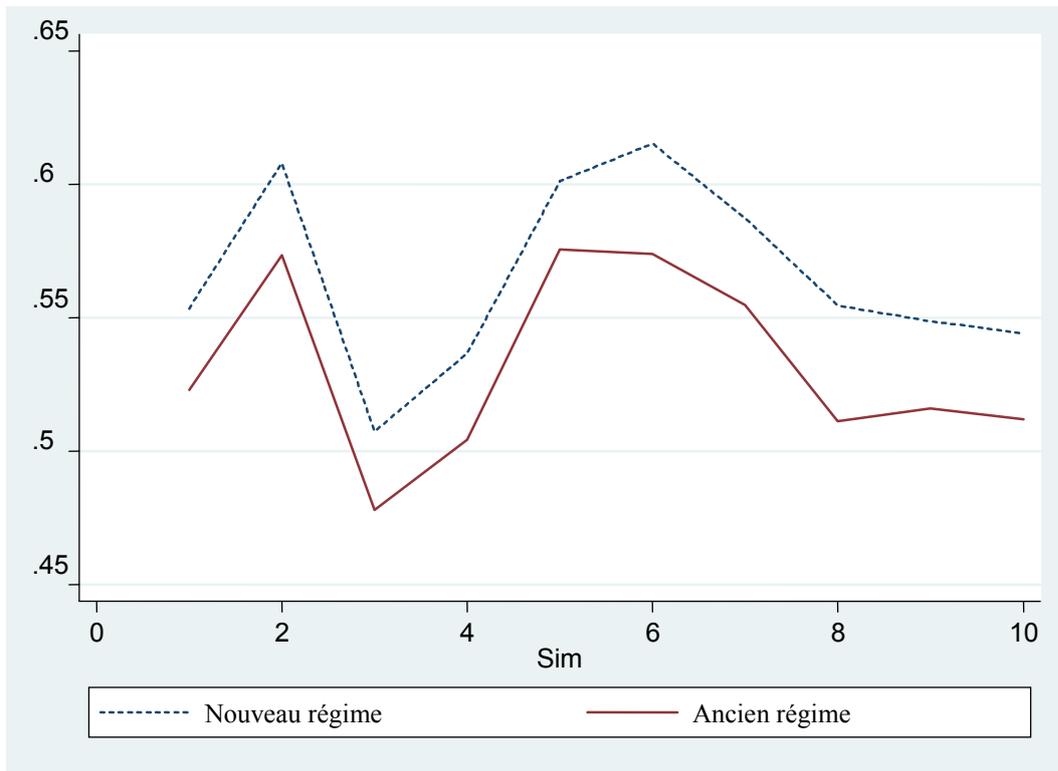
Nous présentons dans l'annexe F les statistiques descriptives des recettes fiscales et des revenus des investisseurs générés chaque année de production pour chaque régime et pour chacun de nos 9 scénarios. Pour ce scénario de référence, les recettes fiscales générées par le nouveau régime présentent une moyenne de 22,09 millions et un écart-type de 12,33. Sa valeur minimale est de 0,68 millions ; quant à sa valeur maximale, elle est de 46,86 millions. Sous l'ancien régime, les recettes fiscales générées atteignent une valeur minimale de 0 et une valeur maximale de 31,57 millions de dollars pour une moyenne de 15,54 millions. Elles présentent un écart-type de 8,17.

1.3. Risque pour les parties prenantes

Le troisième et dernier critère que nous utilisons est l'impact en termes de risque (ou de volatilité) de la part des revenus générés revenant à chacune des parties prenantes (gouvernement et investisseurs). Un régime fiscal peut accroître la part revenant à une partie tout en la rendant plus ou moins volatile (risquée). Ainsi, le gouvernement peut accepter de percevoir plus de revenus et de supporter en retour plus de risque ou au contraire vouloir moins de recettes, mais qui sont plus certaines (et laisser aux investisseurs porter l'essentiel du risque encouru). Nous avons, pour analyser ce critère, calculé le coefficient de variation des revenus revenant à chaque partie prenante pour caractériser son niveau de risque relatif. Le coefficient de variation d'une variable donnée est défini comme le rapport entre son écart-type et sa moyenne. Il fournit une indication de la dispersion du cash-flow. Nous le calculons pour les recettes fiscales perçues par le gouvernement ainsi que pour la part qui revient aux investisseurs. Plus la valeur calculée du coefficient est élevée, et plus élevée sera l'incertitude. Nous l'utilisons pour mettre en évidence le degré d'incertitude dans le cash-flow des parts du gouvernement et des investisseurs. Nous pouvons ainsi caractériser pour chaque scénario, le régime qui génère des revenus les plus incertains. Pour un même scénario de prix, le type de revenu (recettes fiscales ou part des investisseurs) qui a le coefficient de variation le plus élevé est celui qui est relativement le plus incertain.

Nous remarquons ainsi que le coefficient de variation des recettes fiscales dues à l'application du nouveau régime (0,558) est légèrement plus élevé que celui des recettes fiscales dues à l'application de l'ancien régime (0,525). Par conséquent, nous concluons que le nouveau régime de redevances génère des recettes fiscales plus risquées relativement à l'ancien régime. Cette conclusion peut être vérifiée par l'évolution des coefficients de variation des recettes fiscales annuelles sur la période d'exploitation du projet minier. Sa courbe est au-dessus de celle des coefficients de variations des recettes fiscales dues à l'ancien régime pendant toute la durée de vie du projet de production d'or (Figure 8). L'écart est assez faible mais statistiquement significatif. Nous calculons en effet une statistique de Student de 19,8 pour cet écart. Cette statistique calculée (suivant la méthode dans l'annexe H) est supérieure à celle lue sur la table de Student à 9 degrés de liberté et une p-value de 1% (nous lisons 3,25). Il existe par conséquent une différence significative entre les deux paramètres de risque.

Figure 8 : Évolution du coefficient de variation des recettes fiscales perçues pour chaque type de régime fiscal.



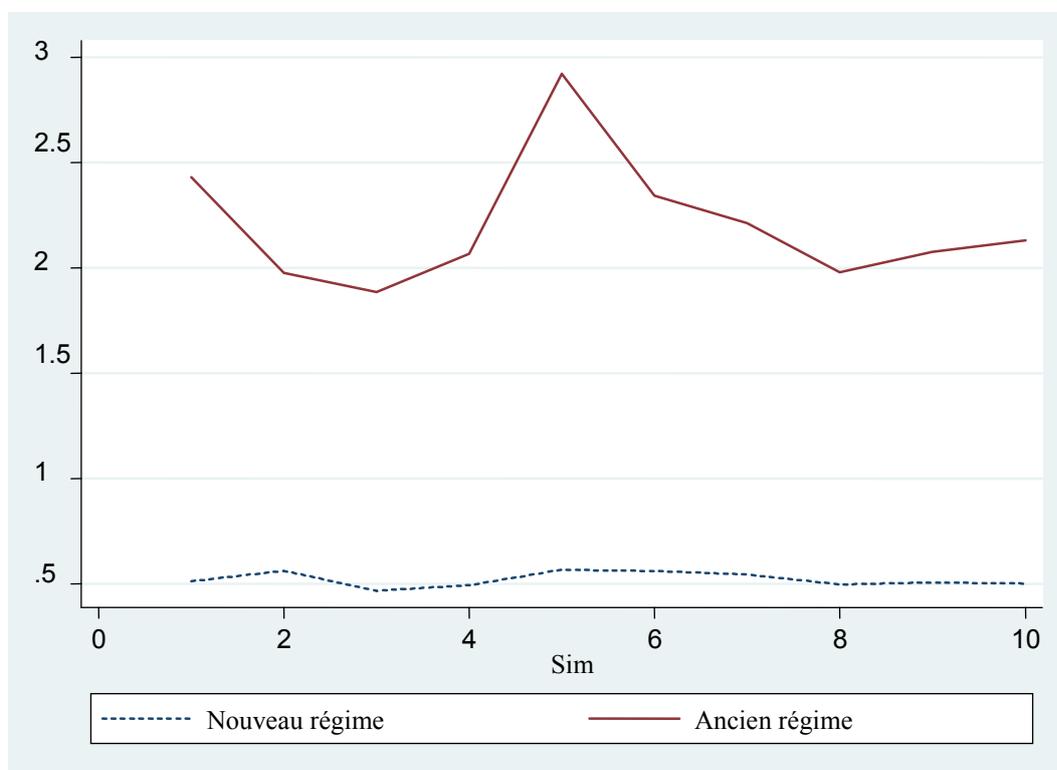
La conclusion par rapport à la part revenant au gouvernement est que l'ancien régime génère des recettes moins volatiles relativement au nouveau régime de redevances minières.

En ce qui concerne les revenus annuels des investisseurs, les résultats de l'annexe F montrent que leurs caractéristiques diffèrent selon le régime imposé. Ainsi, sous le nouveau régime de redevance ces revenus présentent une moyenne de 75,07 millions et un écart-type de 38,72. Ils varient entre 0 (valeur minimale) et 150,17 millions (valeur maximale) suivant les années. Par contre sous l'ancien régime, ces revenus présentent une moyenne de 59,66 millions de dollars et un écart-type de 129,12. Cette dispersion élevée est due à l'écart significatif entre sa valeur maximale (165,52) et sa valeur minimale (-504,98). Cette valeur minimale négative est le cash-flow net des coûts de la 22eme année de production. Cette année est celle du renouvellement du capital du projet minier. Les dépenses en capital de cette année expliquent les pertes de 504,98 subies cette année.

Nous avons également calculé les coefficients de variation de la part revenant aux investisseurs sur la durée de vie du projet. Nos calculs montrent que le coefficient de variation de la part revenant aux investisseurs dans l'ancien régime est de 2,16 et il est de 0,51 dans le nouveau régime. Ce résultat peut être vérifié avec la courbe (Figure 9) d'évolution des coefficients de

variation de la part annuelle des investisseurs sur la période. La courbe due à l'ancien régime est largement supérieure à celle due au nouveau régime. Par conséquent, nous pouvons conclure que la part du revenu revenant aux investisseurs est relativement moins incertaine dans le nouveau régime que dans l'ancien régime (2,16 étant supérieurs à 0,51). Le nouveau régime de redevances minières réduirait par conséquent le risque encouru par les investisseurs selon ce scénario de prix. Cela s'expliquerait par la structure du nouveau régime qui s'adapte au niveau des profits nets dégagés chaque année. La détermination du taux d'imposition du profit net en fonction de la marge bénéficiaire permet de prendre en compte la conjoncture de prix.

Figure 9 : Évolution du coefficient de variation de la part du revenu revenant aux investisseurs selon le régime de redevance mis en œuvre



Nous résumons les résultats pour le scénario de référence dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Effets des régimes de redevances dans le scénario de référence

	Viabilité économique	Recettes fiscales	Risque encouru	
			Gouvernement	Investisseurs
Ancien régime	meilleur		moins risqué	
Nouveau régime		meilleur		moins risqué

En résumé, pour ce scénario de référence, l'ancien régime est celui qui assure une meilleure viabilité économique et génère des recettes fiscales relativement moins volatiles pour le gouvernement. Cette viabilité économique est nécessaire pour inciter les investisseurs (compagnies minières) à aller au-delà de la phase d'exploration. Elle conditionne les investissements miniers à venir. Le niveau de volatilité des recettes fiscales quant à lui est crucial pour le gouvernement notamment pour des besoins de projection budgétaire.

Le nouveau régime de redevances est, quant à lui, le plus efficace pour dégager le maximum de recettes fiscales pour le gouvernement et pour réduire la volatilité (le risque) du revenu revenant aux investisseurs. Ainsi, ce nouveau régime est le plus adapté si l'objectif du gouvernement est d'obtenir le plus de recettes fiscales possible. Il peut cependant rendre les projets économiquement non viables, notamment les projets marginaux (ceux qui sont juste au-dessus du seuil de rentabilité financière). Cependant, dans la mesure où la marginalité d'un projet est liée à la conjoncture de prix, la juridiction concernée peut toujours préférer attendre la période favorable pour exploiter sa ressource naturelle.

Ce nouveau régime est aussi le meilleur pour réduire la volatilité des revenus perçus par les compagnies minières. Cela s'explique par le mécanisme de l'imposition selon la marge bénéficiaire. L'impôt sur le profit exceptionnel est perçu proportionnellement à la marge bénéficiaire réalisée chaque année.

Nous avons ensuite cherché à caractériser les deux types de régimes de redevances suivant nos 8 scénarios non hybrides et hybrides. L'idée étant de voir comment évolueraient nos conclusions lorsqu'on simule des chocs sur les paramètres du modèle stochastique de prévisions de changements de prix. Ces chocs correspondent aux 8 scénarios alternatifs que nous avons prévus.

2. Analyse des différents scénarios

Nous analysons dans cette partie les résultats des scénarios non hybrides et hybrides. A travers cette stratégie, nous cherchons à comparer les effets de chaque régime de redevances selon les différentes hypothèses relatives à l'évolution du prix de l'or.

Nous décomposons ces conclusions dans deux tableaux des résultats (Tableau 6 et Tableau 7) suivant que les paramètres de prix (α) et de volatilité (σ) varient simultanément (scénario hybride) ou de manière successive (scénario non hybride). Ces résultats sont présentés pour nos trois critères en vue de caractériser chacun de deux régimes.

Pour chacun de ces tableaux, la première colonne présente nos scénarios ainsi que les critères que nous utilisons pour caractériser les régimes de redevance. Ces derniers sont présentés dans la deuxième et troisième colonne du tableau. Le critère de viabilité économique mesure la VAN du cash-flow net (CFN) en millions de dollars généré par le projet sur sa durée de vie. Les CFN sont les revenus nets (des coûts totaux). Les recettes fiscales mesurent quant à elles les rentrées fiscales en millions de dollars pour le gouvernement sur la période d'étude. Enfin, le critère de partage de risque est approximé par deux coefficients de variation (CV) que nous calculons. Il s'agit du CV des recettes fiscales totales perçues par le gouvernement d'une part et du CV des revenus revenant aux investisseurs. Plus le coefficient est élevé pour un régime, et plus ce régime génère un type de revenu relativement plus risqué. Pour chaque critère, sa valeur en gras dans la colonne d'un régime de redevance signifie que ce régime est le meilleur pour ce critère relativement à l'autre.

Le Tableau 6 présente les résultats des scénarios non hybrides. Nous avons deux scénarios de prix et deux scénarios de volatilité du prix. Ces quatre scénarios sont comparés au scénario de référence pour chacun des critères.

Tableau 6: Scénarios non hybrides (variation d'un seul paramètre à la fois, α ou σ) et $\alpha=25\%$.

Scénarios	Ancien régime	Nouveau régime
Scénario de référence		
Viabilité économique (CFN)	359,7	342,3
Recettes fiscales	56,5	80,7
Niveau de risque des recettes générées(CV)	0,525	0,558
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	2,16	0,51
Scénario de prix défavorable		
Viabilité économique (CFN)	360,3	342,89
Recettes fiscales	56,57	80,5
Niveau de risque des recettes générées(CV)	0,52	0,55
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	2,14	0,51

Scénarios	Ancien régime	Nouveau régime
Scénario de prix favorable		
Viabilité économique (CFN)	323,35	342,37
Recettes fiscales	55,73	79,01
Niveau de risque des recettes générées(CV)	0,53	0,56
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	2,16	0,52
Scénario de faible volatilité de prix		
Viabilité économique (CFN)	367,2	349,5
Recettes fiscales	57,66	82,25
Niveau de risque des recettes générées(CV)	0,52	0,56
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	2,12	0,51
Scénario de forte volatilité de prix		
Viabilité économique (CFN)	343,28	326,55
Recettes fiscales	53,9	76,47
Niveau de risque des recettes générées(CV)	0,51	0,54
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	2,26	0,5

Dans le scénario de prix défavorable, l'application de l'ancien régime permet au projet minier de générer des revenus nets de 360,3 millions de dollars contre 342,89 millions lorsqu'on met en œuvre le nouveau régime. Pour le critère de viabilité économique, nous constatons donc que l'ancien régime est relativement plus efficace. Concernant le deuxième critère (entrées fiscales), la mise en œuvre de l'ancien régime permet au gouvernement de percevoir des recettes fiscales pour un montant de 56,57 millions sur la durée de vie du projet. Ces recettes fiscales perçues s'élèvent à 80,5 millions lorsqu'on applique le nouveau régime. Ce dernier est donc relativement plus performant pour ce critère. Nous avons pratiqué un test de significativité statistique (test de Student apparié) des écarts de recettes fiscales générées par chacun des régimes. Les résultats du test ne rejettent pas la significativité statistique des écarts de recettes.

Avec l'ancien régime, le CV des recettes fiscales générées est de 0,52 contre 0,55 avec le nouveau régime. Ce dernier génère par conséquent des recettes fiscales relativement plus risquées car son CV est supérieur. Nous trouvons que la significativité statistique des écarts de CV varie selon le scénario.

Concernant les revenus des investisseurs, ils sont moins volatils avec le nouveau régime (CV=0,51) qu'avec l'ancien régime (CV=2,14).

Ainsi, pour le scénario de prix défavorable, l'ancien régime est le plus performant suivant le critère de viabilité économique. Le nouveau régime l'est pour le critère de rentrées fiscales. Il n'y a pas de conclusion définitive concernant le critère de partage de risque.

Ces conclusions sont identiques à celles du scénario de référence. Elles sont également similaires aux conclusions des trois autres scénarios non hybrides (prix favorables, faible volatilité, forte volatilité). En effet, pour chacun de ces scénarios, les conclusions concernant les critères de viabilité économique et de rentrées fiscales ne changent pas. Quel que soit le scénario non hybride, il n'y a pas de tendance nette concernant le critère de partage de risque.

Le Tableau 7 présente les résultats des scénarios hybrides. Dans ces scénarios, nous avons fait varier simultanément les paramètres de prix et de volatilité.

Tableau 7: Scénarios hybrides (variation simultanée des paramètres α et σ) et $\alpha=25\%$.

Scénarios	Ancien régime	Nouveau régime
Scénario de référence		
Viabilité économique (CFN)	359,7	342,3
Recettes fiscales	56,5	80,7
Niveau de risque des recettes générées(CV)	0,525	0,558
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	2,16	0,51
Scénario de prix et volatilité élevés		
Viabilité économique (CFN)	359,67	343,76
Recettes fiscales	56,47	80,65
Niveau de risque des recettes générées(CV)	1,28	1,31
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	1,29	1,32
Scénario de prix et volatilité faibles		
Viabilité économique (CFN)	369,87	353,75
Recettes fiscales	58,35	83,46
Niveau de risque des recettes générées(CV)	1,33	1,32
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	1,34	1,33
Scénario de prix élevé et faible volatilité		
Viabilité économique (CFN)	357,8	340,48
Recettes fiscales	56,18	79,89
Niveau de risque des recettes générées(CV)	1,33	0,97

Scénarios	Ancien régime	Nouveau régime
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	1,33	1,33
Scénario de prix faible et forte volatilité		
Viabilité économique (CFN)	354,29	337,12
Recettes fiscales	55,63	79,03
Niveau de risque des recettes générées(CV)	1,33	1,32
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	1,34	0,52

Nous avons ainsi quatre scénarios que nous comparons à notre scénario de référence pour les trois critères. Pour chaque critère, sa valeur en gras dans la colonne d'un régime de redevance signifie que ce régime est le meilleur pour ce critère relativement à l'autre.

Nous remarquons que pour les scénarios hybrides, les conclusions ne diffèrent pas des scénarios non hybrides pour les critères de viabilité économique et de rentrées fiscales. Pour les quatre scénarios (prix et volatilité élevés, prix et volatilité faibles, prix élevé et volatilité faible, prix faible et volatilité élevée), le nouveau régime est toujours celui qui génère le plus de recettes fiscales pour le gouvernement. L'ancien régime favorise quant à lui toujours la viabilité économique du projet. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés dans la situation de référence. Nous ne trouvons pas non plus de tendance nette concernant le critère de partage de risque.

Ainsi, que ce soit dans les scénarios hybrides ou non hybrides, l'ancien régime de redevances minières du Québec favorise la rentabilité économique des projets exploités.

Le nouveau régime favorise quant à lui les rentrées fiscales quel que soit le scénario de prix et ou de volatilité de prix sur les marchés.

D'après ces scénarios, nous estimons que la performance d'un régime de redevances minières n'est pas linéaire. La Figure 10 (ancien régime) et la Figure 11 (nouveau régime) ci-dessous illustrent cette conclusion. Elles représentent les rendements fiscaux des deux régimes pour différentes valeurs des paramètres α et σ . Ces rendements dépendent du niveau et de la volatilité des prix autant que de la structure même du régime fiscal.

Une remarque par rapport à nos résultats concerne le scénario qui génère le plus de revenus nets totaux et de recettes fiscales. Contrairement à ce que l'on attend, les revenus nets ainsi que les recettes fiscales les plus élevés sont générés dans les situations de faible volatilité voir

Tableau 6 et Tableau 7. En effet, dans les scénarios non hybrides, les revenus nets et les recettes fiscales les plus élevés sont enregistrés dans la situation de faible volatilité. De même, dans les scénarios hybrides, les revenus nets et les recettes fiscales les plus élevés sont enregistrés lorsqu'on a une situation de prix et de volatilité faibles. Ce résultat peut paraître paradoxal si on ne tient pas compte de la spécificité du secteur minier. Ce dernier se distingue en effet par son niveau de risque élevé. Cela explique que le risque (que l'on peut approximer par la volatilité du prix) à un impact important sur la valeur du projet. Blais et al.(2005) ont à la base utilisés leur modèle pour tenir compte du risque dans la valorisation d'un projet de production de ressource naturelle. De plus, la non linéarité de la quantité de minerai extraite joue également un rôle dans ce phénomène observé. Les prix de l'or varient dans le temps, les revenus nets générés par le projet dépendent de la correspondance entre les fluctuations du prix et de la quantité extraite chaque année.

Figure 10: Rendement de l'ancien régime selon la valeur des paramètres

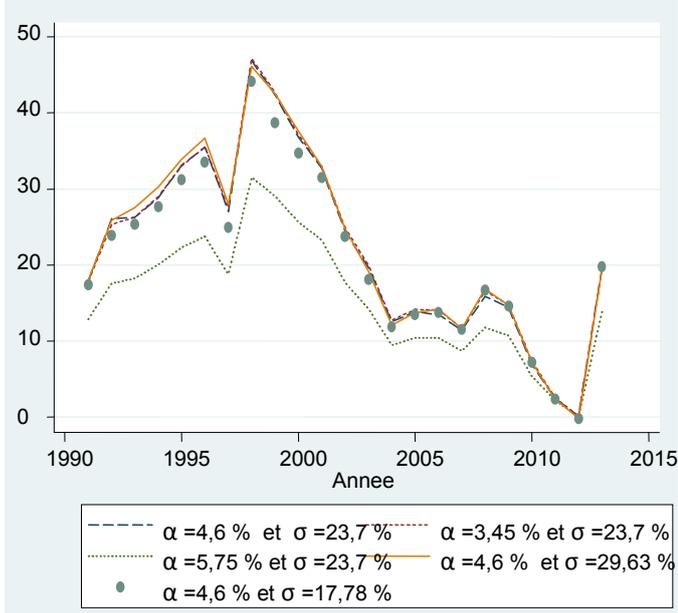
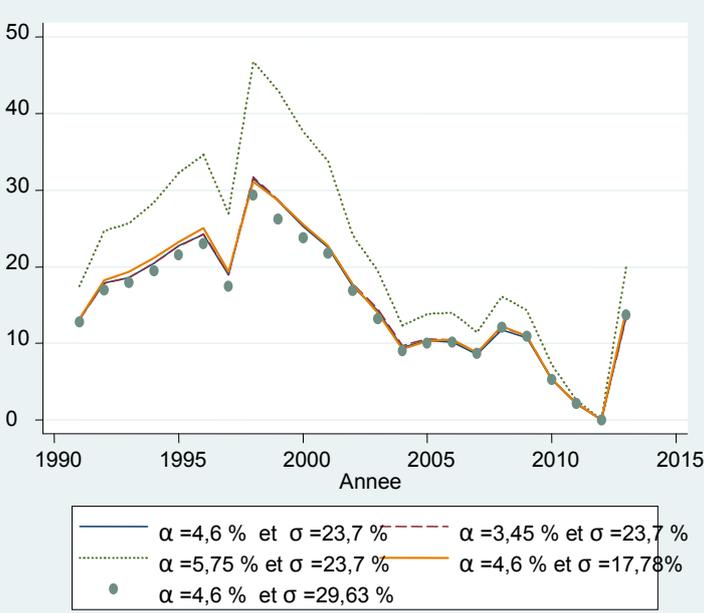


Figure 11: Rendement du nouveau régime selon la valeur des paramètres



En somme, la performance d'un régime fiscal dépend aussi et surtout de l'objectif que le gouvernement qui veut le mettre en œuvre considère comme prioritaire. Cet objectif peut être de:

- favoriser l'investissement dans le secteur minier (attirer les compagnies minières).
- obtenir le plus de recettes fiscales possible du secteur (tirer un meilleur parti de ses ressources minières).
- privilégier la stabilité des recettes fiscales perçues pour une meilleure prédictibilité et un renforcement des projections budgétaires.
- privilégier l'efficacité économique de l'instrument à son coût d'administration (à la fois pour le gouvernement et les compagnies minières) ou l'inverse²⁹.

Il y a pour le gouvernement un arbitrage inter temporel à faire concernant le régime de redevance à mettre en œuvre. Il peut obtenir des recettes fiscales conséquentes aujourd'hui avec le nouveau régime (quitte à décourager les investissements miniers qui déterminent les recettes fiscales futures). Il peut également appliquer un régime tel que l'ancien régime qui génère moins de recettes mais favorise la rentabilité des projets et donc les investissements dans le secteur minier. En procédant de la sorte, le gouvernement accepte de percevoir moins de recettes fiscales aujourd'hui mais des recettes plus conséquentes dans le futur.

Une question qu'on s'est posée était de savoir si nos conclusions sont robustes au choix du taux de variation de 25% par rapport à la moyenne du prix et de sa volatilité. Pour répondre à cette question, nous avons recalculé nos scénarios avec $\alpha=50\%$. Les résultats sont présentés dans le Tableau 8 et le Tableau 9.

Tableau 8: Scénarios non hybrides (variation d'un seul paramètre à la fois, α ou σ) et $\alpha=50\%$.

Scénarios	Ancien régime	Nouveau régime
Scénario de référence		
Viabilité économique (CFN)	359,7	342,3
Recettes fiscales	56,5	80,7
Niveau de risque des recettes générées(CV)	0,525	0,558
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	2,16	0,51
Scénario de prix défavorable		
Viabilité économique (CFN)	350,04	333,03
Recettes fiscales	54,96	77,95
Niveau de risque des recettes générées(CV)	1,33	1,32
Niveau de risque des revenus des	1,34	1,34

²⁹ Les instruments fiscaux les plus efficaces sur le plan économique sont également ceux qui sont les plus coûteux à mettre en œuvre et à administrer. Les instruments qui causent le plus de distorsion sont aussi les plus prisés par les gouvernements, car ils sont faciles à mettre en œuvre.

Scénarios	Ancien régime	Nouveau régime
investisseurs(CV)		
Scénario de prix favorable		
Viabilité économique (CFN)	359,59	342,2
Recettes fiscales	56,46	80,35
Niveau de risque des recettes générées(CV)	1,33	1,32
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	1,34	1,34
Scénario de faible volatilité de prix		
Viabilité économique (CFN)	363,13	345,6
Recettes fiscales	57,01	81,22
Niveau de risque des recettes générées(CV)	1,33	1,31
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	1,33	1,33
Scénario de forte volatilité de prix		
Viabilité économique (CFN)	362,97	345,45
Recettes fiscales	57	81,17
Niveau de risque des recettes générées(CV)	1,33	1,32
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	1,34	1,34

Tableau 9: Scénarios hybrides (variation simultanée des paramètres α et σ) et $\alpha=50\%$.

Scénarios	Ancien régime	Nouveau régime
Scénario de référence		
Viabilité économique (CFN)	359,7	342,3
Recettes fiscales	56,5	80,7
Niveau de risque des recettes générées(CV)	0,525	0,558
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	2,16	0,51
Scénario de prix et volatilité élevés		
Viabilité économique (CFN)	361,9	344,42
Recettes fiscales	56,82	80,87
Niveau de risque des recettes générées(CV)	1,32	1,3
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	1,33	1,32
Scénario de prix et volatilité faibles		
Viabilité économique (CFN)	355,49	338,27
Recettes fiscales	55,82	79,32

Scénarios	Ancien régime	Nouveau régime
Niveau de risque des recettes générées(CV)	1,32	1,31
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	1,33	1,33
Scénario de prix élevé et faible volatilité		
Viabilité économique (CFN)	360,59	343,18
Recettes fiscales	56,62	80,55
Niveau de risque des recettes générées(CV)	1,32	1,31
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	1,34	1,34
Scénario de prix faible et forte volatilité		
Viabilité économique (CFN)	339,35	322,77
Recettes fiscales	53,29	75,34
Niveau de risque des recettes générées(CV)	1,32	1,33
Niveau de risque des revenus des investisseurs(CV)	1,35	1,35

Nous remarquons que les principales conclusions ne changent pas. L'ancien régime est toujours le plus performant selon le critère de viabilité économique et le nouveau régime pour le critère de rentrées fiscales. Il n'y a pas non plus de conclusion nette concernant le critère de partage de risque.

Nos résultats sont cependant à relativiser, car ces recettes représentent seulement une partie des recettes fiscales totales provenant de ce secteur. Une partie importante des recettes fiscales (directes et indirectes) provient des dépenses d'investissements miniers, de celles des fournisseurs et travailleurs du secteur (ces recettes peuvent être estimées avec le MIC). Ces investissements (qui induisent les dépenses des fournisseurs du secteur notamment) peuvent être découragés lorsque le taux d'imposition effectif moyen (TIEM) est trop élevé.

La seconde remarque que nous faisons par rapport à nos résultats concerne le nouveau régime. Ce dernier est le plus performant en termes de recettes fiscales, et ce quel que soit le scénario. Or qui dit performance fiscale dit également pression fiscale sur les entreprises minières. Pour illustrer cette question, nous avons calculé pour chaque scénario et chaque régime, le TIEM. Ce dernier est généralement calculé comme le ratio des taxes perçues sur l'assiette fiscale (Daniel et al., 2010). Ce taux indique combien paiera en impôt une entreprise sur un investissement moyen. Nous le calculons tel que fait dans le secteur des industries extractives, c'est à dire comme le ratio de la VAN des taxes payées sur la VAN des cash-flows nets avant

impôt de notre projet (Devereux et Griffith, 2003). Pour nos différents scénarios, nous avons calculé le TIEM pour chaque régime de redevances minières. Nous trouvons (Tableau 10) un TIEM moyen de 23,46 % pour le nouveau régime de redevance. Ce taux est de 15,85 % en moyenne pour l'ancien régime (15,70% pour les différents scénarios sauf pour le cas de forte volatilité de prix où le TIEM était de 17,23 %). Le TIEM appliqué au secteur joue un rôle important pour la compétitivité des régimes d'imposition au niveau international (Ressources naturelles Canada, 2012).

Tableau 10: synthèse des principaux résultats (les revenus sont en millions de dollars).

		Valeur actuelle nette ($\alpha = 25\%$)		
		Revenus nets	Taxes payées	TIEM
Scénario de référence	Ancien régime	359,7	56,5	15,70%
	Nouveau régime	342,4	80,7	23,57%
Scénario de prix faible	Ancien régime	360,3	56,6	15,70%
	Nouveau régime	342,9	80,5	23,47%
Scénario de prix élevé	Ancien régime	323,3	55,7	17,23%
	Nouveau régime	342,4	79	23,08%
Scénario de faible volatilité	Ancien régime	367,2	57,6	15,70%
	Nouveau régime	349,5	82,2	23,53%
Scénario de forte volatilité	Ancien régime	343,3	53,9	15,70%
	Nouveau régime	326,6	76,5	23,41%
Scénario de prix et volatilité élevés	Ancien régime	359,67	56,47	15,70%
	Nouveau régime	343,76	80,65	23,60%
Scénario de prix et volatilité faibles	Ancien régime	369,87	58,35	15,78%
	Nouveau régime	353,75	83,46	23,60%
Scénario de prix élevé et faible volatilité	Ancien régime	357,8	56,18	15,70%

	Valeur actuelle nette ($\alpha = 25\%$)		
	Revenus nets	Taxes payées	TIEM
Nouveau régime	340,48	79,89	23,50%
Ancien régime	354,29	55,63	15,70%
Scénario de prix faible et forte volatilité			
Nouveau régime	337,12	79,03	23,34%

Revenus nets : somme des cash-flows actualisés, nets des coûts de production, générés par le projet sur la période.

Taxes payées : Somme actualisée des recettes fiscales totales perçues par le gouvernement sur la période.

TIEM : Le taux d'imposition effectif moyen. Il est calculé comme le ratio entre le VAN des recettes fiscales perçues et la VAN des revenus totaux nets avant impôts générés par le projet minier.

Le gouvernement doit tenir compte de ce critère (le fardeau fiscal) s'il veut attirer davantage d'investissements comparativement aux autres pays miniers. Le régime le plus performant en termes de recettes doit être celui qui rapporte plus par le canal de l'incitation à l'investissement dans le secteur. Cela passe nécessairement par la stabilité dans le temps du régime fiscal (pour rassurer les investisseurs) et un taux d'imposition attractif (pour attirer les compagnies dans le pays ou la région) et qui tient compte de la qualité relative du minerai dans le pays ou la province considérée. La conception du régime d'imposition du secteur doit également tenir compte de l'éloignement des projets miniers des marchés internationaux (cela joue sur le coût de fret et donc sur la compétitivité des firmes minières). La qualité du minerai ou la teneur en minerai, enfin, doit être prise en compte dans la mesure où elle affecte directement le coût d'extraction ainsi que la marge bénéficiaire.

VI. CONCLUSION

L'imposition du secteur des industries extractives constitue un défi important pour les pays riches en ressources naturelles. Ce secteur est souvent pourvoyeur en recettes fiscales pour ces pays. Ses effets du point de vue macroéconomique se font ressentir également au niveau de la balance des paiements (exportations, rentrées de devises, importations, effets sur le taux de change, etc.) et plus généralement sur leurs économies respectives à travers les différents fournisseurs du secteur. Les questions que peut soulever le débat sur la fiscalisation dudit secteur dépassent souvent le cadre purement économique. C'est souvent le cas en période de hausse conséquente du prix de matière première. Le gouvernement doit faire face aux critiques de la société civile, notamment sur l'aspect environnemental. Les gouvernements sont souvent tentés dans une telle conjoncture de prix favorable de modifier le système fiscal en vigueur en vue de profiter de l'embellie des cours. Ils font alors face aux doléances des compagnies qui exercent dans ce secteur. Ce phénomène est réel tant dans les pays développés que dans ceux en développement riches en ressources naturelles.

Nous nous sommes intéressés dans le cadre de ce travail à la question de fiscalité minière pour le cas du Québec. Cette question est primordiale pour la province qui a adopté un nouveau régime de redevances minières entré en vigueur le 1^{er} janvier 2014. L'adoption de ce nouveau régime procède d'un débat ayant impliqué différentes composantes de la société. Deux raisons justifient notre travail. D'une part, nous voulons fournir une étude rigoureuse de la question avec une méthodologie qui prend en compte les limites des méthodes utilisées dans certaines études consacrées à cette question. D'autre part, nous proposons une méthode complémentaire aux analyses qui utilisent le modèle intersectoriel du Québec.

Nos résultats montrent que l'impact d'un régime de redevance n'est pas linéaire. Que le régime de redevance soit hybride (cas du nouveau régime) ou basé uniquement sur le profit (cas de l'ancien régime), ses effets (par rapport à nos critères) dépendent de l'évolution du prix dans le temps. Nos résultats montrent également que le nouveau régime de redevances minières du Québec est plus performant en termes de recettes fiscales générées relativement à l'ancien régime, et ce quel que soit le scénario de prix utilisé. L'ancien régime est plus performant selon le critère de viabilité économique du projet. Il favorise l'exploitation des projets miniers marginaux. Il aura tendance à inciter l'investissement minier dans le secteur (et par conséquent les recettes fiscales futures). Nous ne trouvons pas de conclusions nettes concernant le critère de partage de risque. Ces résultats rejoignent les conclusions de Bradley (1998) sur

l'importance de l'approche MAP. Bradley (1998) montre que les évaluations par la méthode MAP des revenus nets diffèrent significativement entre régimes fiscaux, car ces régimes génèrent des cash-flows structurés différemment. Dans nos différents scénarios, le projet minier ne génère pas non plus des types de revenus (recettes fiscales, cash-flow net, part revenant aux investisseurs) identiques selon le régime fiscal qui lui est appliqué. Ce dernier résultat rejoint également les conclusions de Bradley (1998) qui montre à travers son étude que les effets des systèmes fiscaux distincts peuvent être identiques si l'on utilise l'approche DCF mais différer largement avec l'approche MAP. La raison en est, selon l'auteur, que l'approche MAP prend en compte les différentes caractéristiques du risque des flux de revenus des parties prenantes au projet et fournit une information supplémentaire à savoir comment différents systèmes fiscaux distribuent le risque parmi les parties prenantes au projet.

La première contribution de notre mémoire est de donner un aperçu des effets des régimes de redevances minières du Québec en utilisant l'approche MAP. Les études telles que celles d'Allaire (2013), Otto et al. (2006), et Pricewaterhouse Coopers (2013) analysent la fiscalité minière sans actualiser à la source de l'incertitude en utilisant l'approche DCF. Ils supposent alors que le risque est uniforme tant pour les revenus que pour les coûts d'exploitation et en capital. Or l'une des principales caractéristiques du secteur des industries extractives est son niveau de risque élevé. Cette limite quant à la bonne actualisation pour le risque (ainsi que de son interaction avec l'incertitude par un modèle stochastique de prévision de prix) peut mener à une évaluation erronée de la valeur du projet minier étudié. Cette mauvaise évaluation du projet se répercute sur le cash-flow net actualisé sur la durée de vie du projet. Or ce cash-flow net actualisé sur la période du projet (représenté par notre critère de viabilité économique du projet) joue un rôle important dans la décision d'investissement dans le secteur (et donc sur les recettes fiscales à venir). Ainsi, la non-prise en compte correcte du risque dans le secteur peut mener à des conclusions erronées sur les effets d'un système fiscal appliqué au secteur. Allaire (2013), qui utilise la méthode DCF statique, reconnaît le double intérêt de la prise en compte du risque dans la méthode d'analyse, car ce risque conditionne les décisions d'investissement dans ce secteur. Il estime en effet que « *la société minière peut avoir recours à des méthodes plus complexes, mais plus souples et flexibles pour évaluer l'à-propos d'un projet, comme le calcul dynamique du VAN ou encore en ayant recours au modèle dit «des options réelles [...]». Toutefois, quelle que soit la méthode utilisée, les investisseurs doivent apprécier la probabilité que le projet leur rapporte une prime suffisante pour les récompenser pour le risque assumé* ».

La seconde contribution de notre mémoire tient à son originalité méthodologique. L'originalité de notre travail vient de l'intégration des déterminants macroéconomiques autres que des variables de prix dans l'approche MAP. Nous avons combiné la méthode MAP avec une version révisée du modèle stochastique de prévision des changements de prix de matière première. Notre travail est (à notre connaissance) le premier à combiner l'approche *MAP* avec des déterminants macroéconomiques du prix de l'or. Des études telles que celles de Blais et al. (2005), Bradley (1998), et Samis et al. (2007) utilisent uniquement des variables de prix pour leurs modèles de prévision qui s'inspirent de Salahor (1998). L'étude de Khan (2013) quant à elle utilise les déterminants macroéconomiques, mais uniquement pour quantifier la significativité statistique de leur impact sur l'évolution du prix de l'or. Il n'utilise pas l'approche MAP mais un modèle de régression multivarié. Notre apport vient de l'ajout au modèle stochastique de prévision, d'un vecteur de variables déterminant l'évolution du prix. En utilisant une approche par scénario, nous analysons comparativement deux régimes de redevances minières du Québec suivant trois critères (rentabilité, risque et apport en recettes fiscales).

Notre travail peut être vu également comme un complément aux études menées sur l'impact économique et fiscal du secteur minier au Québec, notamment celle réalisée pour Minalliance (Deloitte et E&B Data, 2012). Ce type d'études, qui utilisent le MIC ne capte pas les recettes fiscales provenant des redevances minières et de l'impôt sur le revenu. En effet, le MIC ne prend en compte que les recettes fiscales provenant des opérations de dépenses à savoir les investissements des minières, les dépenses des fournisseurs, des salariés du secteur, l'impôt sur les salaires, etc. Dans ce sens, notre travail peut constituer un complément en plus d'innover en utilisant une version révisée du modèle stochastique de prévision des changements de prix.

Nous restons cependant prudents quant à la portée de ces résultats qui sont conditionnels à la méthode utilisée. Notre méthodologie constitue un apport à la littérature sur la fiscalité dans le secteur des industries extractives. Elle permet de mener des analyses plus robustes des systèmes fiscaux comme la plupart des études utilisant l'approche MAP-ROV tout en gardant une certaine souplesse. L'intégration des déterminants des prix de matières premières dans l'approche MAP renforcera les prédictions de prix et aboutira par conséquent à des analyses plus précises des effets des systèmes fiscaux. Cette méthodologie peut être améliorée. Tel le modèle *FARI*³⁰ du FMI, elle reste spécifique au projet de production de la ressource naturelle

³⁰ Le modèle FARI pour *Fiscal Analysis of Resource Industries* est construit et utilisé par le département Finances publiques du FMI. Ce modèle est utilisé par le FMI dans le cadre de son assistance technique aux pays. Il permet

étudiée. Elle s'inscrit dans un cadre d'analyse en équilibre partiel et ne prend pas en compte les autres facteurs qui influencent tant la production de minerai que le rendement du système fiscal. Il serait intéressant dans des travaux futurs d'essayer d'y intégrer d'autres instruments fiscaux tels que la TVA ou de rendre les coûts endogènes.

d'estimer les rentrées fiscales pour le gouvernement provenant d'un projet de production de ressource naturelle sous différents régimes fiscaux et prix alternatifs notamment.

VII. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdel Sabour, S.A. et R. Poulin. (2006). Valuing real capital investments using the least-squares Monte Carlo method. *The Engineering Economist*, 51 (2), pp.141-160.
- Allaire, Y. (2013). *Le Québec et ses ressources naturelles : Comment en tirer le meilleur parti*. Rapport.
- Anand, A. et P. Dharnidharka. (2012). *Forecasting Gold Prices using Time Series Analysis*.
- Baker, M.P., E.S. Scott, et J. Parsons. (1998). Alternative Models of Uncertain Commodity Prices for Use with Modern Asset Pricing Methods. *The Energy Journal*, 19(1), pp.115-148.
- Baunsgaard, T., M. Villafuerte, M. Poplawski-Ribeiro, et C.J. Richmond. (2012). Fiscal Frameworks for Resource Rich Developing Countries. IMF Staff Discussion Note 12/04 (Washington: International Monetary Fund).
- Black, F. et M. Scholes. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, 81 (4), pp.637-659.
- Blais, V., M. Samis., et R. Poulin. (2005). Using real options to incorporate price risk into the valuation of a multi-mineral mine. In *Orebody Modelling and Strategic Mine Planning*, 14, pp.9-15.
- Blake, A. J., et M.C. Roberts. (2006). Comparing petroleum fiscal regimes under oil price uncertainty. *Resources Policy*, 31(2), pp.95-105.
- Boadway, R. et F. Flatters. (1993). *The Taxation of Natural Resources: Principles and Policy Issues*. Policy Research Working Paper 1210. World Bank, Washington, D.C.
- Boadway, R. et M. Keen. (2010). Theoretical Perspectives on Resource Tax Design. In Philip Daniel, Michael Keen and Charles McPherson (eds.), *The Taxation of Petroleum and Minerals: Principles, Problems and Practice*. Abingdon UK: Routledge, Washington DC.
- Bradley, P. (1998). On the use of MAP for comparing alternative royalty systems for petroleum development projects. *Energy Journal*, 19 (1), pp.47-82.
- Brennan, M. J., et E.S. Schwartz.(1985). Evaluating Natural Resource Investments. *Journal of Business*, 58, pp.135-157.
- Cavender, B. (1992). Determination of the optimum lifetime of a mining project using discounted cash flow and option pricing techniques. *Mining engineering*, 44(10), pp.1262-1268.
- Chen, Y. , K. Rogoff, et B. Rossi. (2008). *Can Exchange Rates Forecast Commodity Prices?* NBER Working Paper 13901, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- Chen, Y. C., K. Rogoff., et B. Rossi. (2010). Predicting Agri-Commodity Prices: An Asset Pricing Approach. *Available at SSRN 1616853*.
- Daniel, P., B. Goldsworthy, W. Maliszewski, D. Mesa Puyo, et A. Watson. (2008). Evaluating Fiscal Regimes for Resource Projects, an example from oil development. In Daniel, Philip, Michael Keen et Charles McPherson (eds.), *The Taxation of Petroleum and Minerals: Principles, Problems and Practice*, Abingdon UK: Routledge, Washington DC.
- Daniel, P., M. Keen, et C. McPherson. (2010). *The Taxation of Petroleum and Minerals: Principles, Problems and Practice*, Abingdon UK: Routledge, Washington DC.
- Davis, G.A. (2007). Mining Royalties: A Global Study of Their Impact on Investors, Government and Civil Society, Book review. *Resources Policy*, 32(2007),pp.146-147.
- Deloitte et E&B Data. (2012). *Impacts économiques et fiscaux des sociétés minières au Québec*.

- Devereux, M. et R. Griffith. (2003). Evaluating Tax Policy for Location Decisions. *International Tax and Public Finance*, 10(2), pp.107-126.
- Dimitrakopoulos, R., et S.A. Abdel Sabour. (2007). Evaluating mine plans under uncertainty: can the real options make a difference? *Resources Policy*, 32(3), pp.116-125.
- Du, Y. (2012). *Modelling and Forecasting Volatility of Gold Price with Other Precious Metals Prices by Univariate GARCH Models*. Master's Thesis. Uppsala Universitet.
- Escobar, M., N. Hernández., et L. Seco. (2003). Term Structure of Commodities Futures. Forecasting and Pricing. *From Seco website <http://www.risklab.ca/seco/publ.htm>*.
- Geourjon, A-M., B. Laporte et C. Tagne, (2013). *Le secteur minier en Afrique et sa fiscalité : état des lieux et perspectives de recherche*. ICTC/CFID, Lomé, décembre 2013.
- Guj, P et R. Garzon. (2007). Modern asset pricing-A valuable real option complement to discounted cash flow modelling of mining projects, Project Evaluation Conference, Melbourne, Australia.
- Hogan, L. (2007). *Mineral Resource Taxation in Australia: An Assessment of Economic Policy Options*. Abare research report 07.1. Prepared for the Australian Government Department of Industry, Tourism and Resources, Canberra, January.
- Hogan, L. et B. Goldsworthy. (2009). Minerals taxation: Experience and issues. In Daniel, Philip, Michael Keen et Charles McPherson (eds.), *The Taxation of Petroleum and Minerals: Principles, Problems and Practice*, Abingdon UK: Routledge, Washington DC.
- IMF. (2012a). *Fiscal Regimes For Extractive Industries : Design and Implementation*. Prepared by the Fiscal Affairs Department, Washington, D.C.
- IMF. (2012b). *Macroeconomic Policy Frameworks for Resource-Rich Developing Countries- Background Paper I*. IMF, Washington, D.C.
- Ismail, Z., A. Yahya et A. Shabri. (2009). Forecasting Gold Prices Using Multiple Linear Regression Method. *American Journal of Applied Sciences*, 6(8), pp.1509-1514.
- Jacoby, H.D., et D.G. Laughton. (1991). Project Evaluation: A Practical Modern Asset Pricing Approach. University of Alberta Institute for Financial Research Working Paper 1-91.
- Jacoby, H.D. et D.G.Laughton. (1992). Project Evaluation : A Practical Asset Pricing Model. *The Energy Journal*, 13(2), pp.19-47.
- Jacoby, H.D., et D.G. Laughton. (1993). Reversion, Timing Options, and Long-Term Decision-Making. *Financial Management* , 22(3), pp. 225-240.
- Kanfmann, T.D. et R.A. Winters. (1989). The Price of Gold: A Simple Model. *Resources Policy*, 15(4), pp.309-313.
- Khan, M. M. (2013). Forecasting of gold Prices (Box Jenkins Approach). *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(3), pp.662-670.
- Kulatilaka, N. et A.J. Marcus. (1992). Project valuation under uncertainty : when does DCF fail? *Journal of Applied Corporate Finance*, 5(3), pp.92-100.
- Kulatilaka, N. et L. Trigeorgis. (1994). The general flexibility to switch: Real option revisited. *The International Journal of Finance*, 6(2), pp.778-798.
- Laughton D.G. et H.D. Jacoby. (1993). Reversion, Timing Options, and Long-Term Decision Making. *Financial Management*, 22(3), pp.225-240.
- Laughton, D.G. (1998a). The Potential for Use of Modern Asset Pricing Methods for Upstream Petroleum Project Evaluation: Introduction. *The Energy Journal*, 19(1), pp.149-153.
- Laughton, D.G. (1998b). The management of flexibility in the Upstream Petroleum Industry. *The Energy Journal*, 19(1), pp.83-114.

- Laughton, D.G., J.S. Sagi, et M.R. Samis. (2000). Modern Asset Pricing and Project Evaluation in the Energy Industry (condensed version). *The Journal of Energy Literature*, 6(1), pp.3-46.
- Lineesh, M.C, K.K. Minu, et J. John. (2010). Analysis of Nonstationary Nonlinear Economic Time Series of Gold Price: A Comparative Study. *International Mathematical Forum*, 5(34), pp.1673-1683.
- Lund, D. (2009). Rent taxation for nonrenewable resources. *Annual Review of Resource Economics*, 1, pp.287-308.
- MacKie-Mason, J.K. (1990). Some nonlinear tax effects on asset values and investment decisions under uncertainty. *Journal of Public Economics*, 42(3), pp.301-327.
- Mauer, D. C., et S.H. Ott. (1995). Investment under uncertainty the case of replacement investment decisions. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 30(04), pp.581-605.
- McDonald, R., et D.R. Siegel. (1985). Investment and the valuation of firms when there is an option to shut down. *International Economic Review*, 26(2), pp.331-349.
- Merton, R.C. (1973). Theory of Rational Option Pricing. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 4(1), pp.141-183.
- Ministère des Finances. (2013a). *Un nouveau régime d'impôt minier équitable pour tous : stimuler les investissements miniers*. Ministère des Finances, Québec.
- Ministère des Finances. (2013b). *Le régime d'impôt minier du Québec - Document de consultation*. Gouvernement du Québec, Québec.
- Ministère des Ressources Naturelles. (2013). *le régime d'impôt minier du Québec - Document de consultation*. Ministère des ressources naturelles, Québec.
- Ministère des Ressources Naturelles. (2013). *Statistiques minières*. En ligne. <http://www.mrn.gouv.qc.ca/mines/statistiques/index.jsp>.
- Mohammed, A. (2012). Fiscal Regime Analysis: what lessons will ghana learn from Norway? *CEPMLP Annual Review*, 16.
- Nakhle, C. (2011). Mining And Petroleum Taxation: Principles and Practice. *Revenue Mobilization and Development Conference, IMF, Washington, D.C.*
- Otto, J., J. Cordes, N. Stevens, J. Stermole, et P. Byrne. (1997). *Global Mining Taxation Comparative Study*. Institute for Global Resources Policy and Management, Colorado School of Mines, 1-240.
- Otto, J., C. Andrews , F. Cawood., M. Doggett., P. Guj. et al. (2006). *Mining Royalties: A Global Study of Their Impact on Investors, Government and Civil Society*. World Bank Publications.
- Officer, R. R. (1989). Rate of return to shares, bond yields and inflation rates: An historical perspective, In *Shares, Markets and Portfolio Theory* (eds: Ball et al), seconde edition. University of Queensland Press, St. Lucia.
- Palm ,S K et N.D. Pearson.(1986). Option pricing: A new approach to mine valuation, *Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum Bulletin*, 79(5), pp.61-66.
- Pickles, E., et J.L. Smith. (1993). Petroleum property valuation: A binominal lattice implementation of option pricing theory. *The Energy Journal*, 14(2), pp.1-26.
- PricewaterhouseCoopers. (2013) . *Analyse comparative du régime fiscal minier du Québec et de celui de l'Australie-Occidentale*. Ministère des Finances, Québec.
- PricewaterhouseCoopers. (2011). *Digging Deeper Canadian mining taxation*.

- Québec (2011). *Profil des retombées économiques des activités et des investissements du secteur minier au Québec*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec.
- Québec. (2013). *Un nouveau régime d'impôt minier équitable pour tous : stimuler les investissements miniers*. Gouvernement du Québec, Québec.
- Ressources Naturelles Canada. (2009). *Annuaire des minéraux du Canada (AMC)- 2009*. En ligne. <http://www.rncan.gc.ca/mines-materiaux/marches/annuaire-mineraux-canada/2009/8479.consulté> le 1er mai 2014.
- Salahor, G. (1998). Implications of Output Price Risk and Operating Leverage for the Evaluation of Petroleum Development Projects. *The Energy Journal*, 19(1), pp.13-46.
- Samis, M.R., G.A. Davis, et D.G. Laughton. (2007). Using stochastic discounted cash flow and real option Monte Carlo simulation to analyse the impacts of contingent taxes on mining projects. Papier présenté à la conférence sur l'Évaluation de Projet à Melbourne, Australie. *Proc. Project Evaluation, AusIMM, Melbourne, Australia, 200*, 127-137.
- Samis, M., G.A. Davis, D. Laughton, et R. Poulin. (2006). Valuing uncertain asset cash flows when there are no options: a real options approach. *Resources Policy*, 30(4), pp.285-298.
- Schwartz, E. S. (1997). The Stochastic Behavior of Commodity Prices: Implications for Valuation and Hedging. *The Journal of Finance*, 52(3), pp.923-973.
- Schwartz, E. S., et J.E. Smith. (2000). Short-Term Variations and Long-Term Dynamics in Commodity Prices. *Management Science*, 46(7), pp.893-911.
- Samis, M., L. Martinez, G.A. Davis et J.B. Whyte. (2000). *Using Dynamic DCF and Real Option Methods for Economic Analysis, in NI43-101 Technical Reports*. Colorado School of Mines, Colorado.
- Secor. (2012). *Les redevances minières au Québec*. SECOR-KPMG, Québec.
- Shafiee, S., Topal, E., and Nehring, M. (2009). Adjusted real option valuation to maximize mining project value - a case study using century mine. In *Proceedings project Evaluation, 2009*, pp.125-134 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne)
- Shafiee, S. and Topal, E. (2010). An Overview of Global Gold Market and Gold Price Forecasting. *Resources Policy*, 35(3), pp.178-189.
- Smith, J. L. (2012). Issues in Extractive Resource Taxation: Review of Research Methods and Models. *IMF Working Paper 12/287*. Fiscal Affairs Department, IMF.
- Sunley, E. M., et T. Baunsgaard. (2001). The tax treatment of the mining sector: An IMF perspective. In *World Bank Workshop on taxation for the mining sector, (April 4-5, 2001), Washinton DC*.
- Tordo, S. (2007). Fiscal Systems of Hydrocarbons: Design Issues. Working Paper 123/07, World Bank, Washington, D.C.
- Vadcar, C. (2013). La nouvelle vague des codes miniers. Risques internationaux. En ligne. <http://www.risques-internationaux.com/acceslibre/articles%20acces%20libre/Codeminereformefev13.htm>.
- Ward, M. (2001). International price levels and global inflation. *Statistical Journal of the United Nations Economic Commission for Europe*, 18(1), pp.65-75.

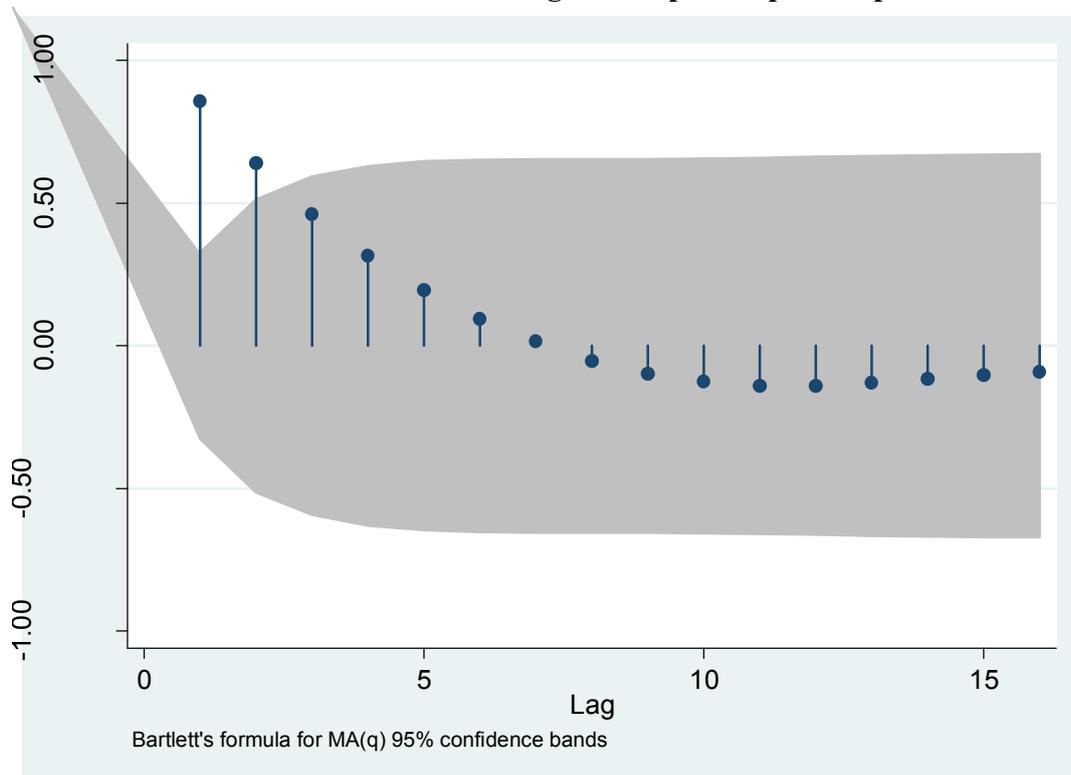
VIII. ANNEXES

ANNEXE A: Statistiques descriptives de nos différentes variables

Variable	Observations	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Prix de l'or	24	608.587	437.417	271.04	1668.98
Inflation mondiale	23	2.721	1.100	-.355	5.397
Inflation canada	23	2.145	1.184	.185	5.615
Taux de change dollar-euro	24	1.244	.156	.889	1.458
Indice boursier	24	1477.433	703.475	365.613	2918.664
Taux de change	23	1.267	.196	.986	1.596
Coût de production sur le site	23	60.146	20.436	.550	79.937
Dépenses de remplacement et exploration]	23	6.014	2.043	.055	7.993
Fond de roulement	23	.774	6.459	-7.211	27.526
Taxes payées sur les dépenses	23	8.790	6.056	0	18.311

ANNEXE B : test de racine unitaire (Test de réversion)

ANNEXE B1 : Corrélogramme partiel pour le prix de l'or



ANNEXE B2 : Test de Dickey-Fuller Augmenté (Test ADF)

Augmented Dickey-Fuller test for unit root Number of obs = 33

Test Statistic	----- Interpolated Dickey-Fuller -----		
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-0.220	-4.306	-3.568
	-3.221		

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.9912

D.priceus	Coef.	Std. Err.	t	P>t	[95% Conf. Interval]	
priceus						
L1.	-.0221	.1 003	-0.22	0.827	-2 276	.1 834
LD.	.228	.2 266	1.01	0.322	-2 355	.6 92
L2D.	-.3 246	.244	1.33	0.195	-8 250	.1 75
trend	5.981	2.171	2.75	0.010	1.534	10.428
cons	-73.763	48.153	-1.53	0.137	-172.402	24.874

L. : l'opérateur retard d'une variable

D. : l'opérateur de différence d'une variable.

Priceus : le prix annuel de l'or

LD.priceus : le prix annuel de l'or en différence retardé d'une période

L2D : le prix annuel de l'or en différence retardé de deux périodes.

Trend : la tendance

Cons : la constante de la régression

D.priceus : la variable prix de l'or en différence première.

ANNEXE B3 : Test de Phillips-Perron

Phillips-Perron test for unit root		Number of obs = 35		
		Newey-West lags = 2		
		----- Interpolated Dickey-Fuller -----		
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(rho)	-1.843	-23.780	-18.660	-16.080
Z(t)	-0.676	-4.288	-3.560	-3.216

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.974

priceus	Coef.	Std. Err.	t	P>t	[95% Conf. Interval]
priceus					
L1.	.9 643	.0719	13.40	0.000	.8 17 1.110
_trend	3.411	2.441	1.40	0.172	-1.561 8.385
_cons	-8.410	41.717	-0.20	0.842	-93.385 76.564

L. : l'opérateur retard d'une variable

D. : l'opérateur de différence d'une variable.

Priceus : le prix annuel de l'or

LD.priceus : le prix annuel de l'or en différence retardé d'une période

L2D : le prix annuel de l'or en différence retardé de deux périodes.

Trend : la variable tendance

Cons : la constante de la régression

D.priceus : la variable prix de l'or en différence première.

ANNEXE C : le poids du secteur minier au Québec

ANNEXE C1 : investissements miniers au Québec

Année	M\$ courants			M\$ de 2012		
	Exploration et mise en valeur	Aménagement	Total	Exploration et mise en valeur	Aménagement	Total
2000	94	1 172	1 266	120	1 495	1 615
2001	103	1 097	1 200	128	1 365	1 493
2002	111	721	833	135	878	1 013
2003	134	609	743	159	721	879
2004	227	620	847	264	721	985
2005	205	781	986	233	888	1 121
2006	295	918	1 213	329	1 024	1 353
2007	476	1 148	1 624	520	1 253	1 773
2008	526	1 485	2 011	561	1 584	2 145
2009	379	1 661	2 041	404	1 767	2 171
2010	512	2 405	2 917	534	2 513	3 047
2011	834	3 089	3 923	846	3 135	3 981
2012p	696	4 123	4 819	696	4 123	4 819

Source : Institut de la Statistique du Québec

ANNEXE C2 : investissements miniers dans les trois principales régions administratives du Québec (en millions de dollars)

Année	Abitibi-Témiscami	Côte-Nord	Nord-du-Québec	Autres régions	Total des investissements investis pour les trois régions	Abitibi-Témiscami	Part de Côte-Nord	Part de Nord-du-Québec	Part de trois régions	
2000	248	329	275	414	1266	852	0,19589	0,25987	0,21722	67%
2001	204	447	283	267	1200	934	0,17000	0,37250	0,23583	78%
2002	284	204	221	123	833	709	0,34094	0,24490	0,26531	85%
2003	272	190	238	43	743	700	0,36608	0,25572	0,32032	94%
2004	260	209	328	51	847	797	0,30697	0,24675	0,38725	94%
2005	323	241	362	60	986	926	0,32759	0,24442	0,36714	94%
2006	382	253	516	62	1213	1151	0,31492	0,20857	0,42539	95%
2007	481	291	780	72	1624	1552	0,29618	0,17919	0,48030	96%
2008	608	413	891	98	2011	1912	0,30234	0,20537	0,44306	95%
2009	987	510	447	96	2041	1944	0,48359	0,24988	0,21901	95%
2010	1418	607	746	147	2917	2771	0,48612	0,20809	0,25574	95%
2011	1042	1419	1314	148	3923	3775	0,26561	0,36171	0,33495	96%
2012p	1033	2012	1654	121	4819	4699	0,21436	0,41751	0,34322	98%

Source: Nos calculs à partir des données de l' Institut de la Statistique du Québec

ANNEXE C3 : nombre de travailleurs dans le secteur minier

Années	Forage carottier	Extraction de minerais métalliques	Extraction de minerais non métalliques	Activités de première transformation	Total
2000	398	6 829	4 499	5 034	16 760
2001	304	6 091	4 130	4 800	15 325
2002	353	6 584	4 058	4 342	15 337
2003	414	6 207	3 846	3 911	14 378
2004	410	5 561	4 346	4 001	14 318
2005	356	5 417	3 709	3 891	13 373
2006	504	6 272	3 754	4 098	14 628
2007	423	6 214	4 266	4 025	14 928
2008	750	6 489	3 520	4 293	15 052
2009	650	5 921	3 897	3 989	14 457
2010	1 077	6 242	3 879	4 042	15 240
2011	947	7 733	3 724	4 094	16 498
2012p	947	8 966	4 405	3 848	18 166

Source : Institut de la statistique du Québec.

p : les données pour 2012 sont préliminaires.

ANNEXE C4 : salaires miniers en proportion des salaires totaux versés dans l'économie québécoise

Année	Extraction minière et extraction de pétrole et de gaz	Total de l'économie	Pourcentage
2000	930	117 658	0,0079
2001	823	121 990	0,0067
2002	864	127 620	0,0068
2003	820	134 372	0,0061
2004	883	139 815	0,0063
2005	881	144 774	0,0061
2006	950	149 948	0,0063
2007	1047	157 713	0,0066
2008	1122	163 789	0,0069
2009	1096	164 528	0,0067
2010	1238	171 546	0,0072

Source : Institut de la Statistique du Québec

ANNEXE C5: contribution du Secteur "Extraction minière et extraction de pétrole et de gaz" au PIB du Québec sur la période 1984-2008

Année	PIB du secteur "Extraction minière et extraction de pétrole et de gaz"	PIB au prix de base	Part du secteur dans le PIB du Québec
1984	929	92 089	1,01%
1985	983	98 748	1,00%
1986	997	105 251	0,95%
1987	1292	116 118	1,11%
1988	1293	126 982	1,02%
1989	1367	134 611	1,02%
1990	1439	140 125	1,03%
1991	1369	141 299	0,97%
1992	1178	143 199	0,82%
1993	1154	148 175	0,78%
1994	1309	155 823	0,84%
1995	1510	161 967	0,93%
1996	1469	164 652	0,89%
1997	1413	175 118	0,81%
1998	1511	182 252	0,83%
1999	1394	195 765	0,71%
2000	1524	209 699	0,73%
2001	1250	215 711	0,58%
2002	1232	223 850	0,55%
2003	1410	232 980	0,61%
2004	1645	243 989	0,67%
2005	1983	252 710	0,78%
2006	2480	263 692	0,94%
2007	2943	276 941	1,06%
2008	3028	286 276	1,06%

Source : Source: Nos calculs à partir des données du rapport *comptes économiques des dépenses et revenus du Québec*

ANNEXE D : informations sur les différents calculs

$$TIEM = \frac{\text{VAN des recettes fiscales}}{\text{VAN des revenus totaux nets avant impôts}}$$

Recettes des ventes de la production annuelle
= Vente annuelle x Prix de l'or pour l'année considérée

Revenus totaux nets actualisés = Recettes totales actualisées – Coûts totaux actualisés

Calcul des recettes fiscales pour le cas du nouveau régime de redevances minières

Recettes annuelles provenant de la redevance *ad valorem*
= 1% x Revenus annuels nets (des coûts)
+ 4% x (revenus annuels nets des coûts – 80 millions,
si revenus annuels nets des coûts supérieurs à 80 millions de dollars).

Recettes fiscales provenant de l'impôt sur le profit minier
= 16% x profit minier annuel (si le profit minier annuel est positif).

Recettes fiscales de l'année k
= recettes provenant de la redevance *ad valorem* de l'année k
+ recettes provenant de l'impôt sur le profit minier de l'année k .

k est l'année de production.

n est la durée totale de production de la mine d'or.

$$\text{Recettes fiscales totales} = \sum_{k=1}^n (\text{Recettes fiscales de l'année } k)$$

Calcul des recettes fiscales pour l'ancien régime de redevances minières

Recettes fiscales provenant de l'impôt sur le profit minier
= 16% x profit minier annuel (si le profit minier annuel est positif).

Recettes fiscales de l'année k = recettes provenant de l'impôt sur le profit minier de l'année k .

k est l'année de production.

n est la durée totale de production de la mine d'or.

$$\text{Recettes fiscales totales} = \sum_{k=1}^n (\text{Recettes fiscales de l'année } k)$$

ANNEXE E : calcul des paramètres du modèle (α , σ et $\rho_{min,mkt}$)

ANNEXE E1: Statistiques descriptives du changement de prix de l'or à partir des données historiques.

	Percentiles	Smallest		
1%	-.252	-.252		
5%	-.182	-.182		
10%	-.148	-.154	Obs	35
25%	-.055	-.148	Sum of Wgt.	35
50%	.0461		Mean	.0795
		Largest	Std. Dev.	.236
75%	.159	.283		
90%	.283	.358	Variance	.056
95%	.575	.575	Skewness	1.939
99%	1.016	1.016	Kurtosis	8.386

ANNEXE E2 : Corrélation entre le prix quotidien de l'or et le rendement quotidien de l'indice SP&500 du 01/02/1990 au 31/12/2013.

indiceSP&500 prix de l'or		
indiceSP&500		1.000
prix de l'or		0.618 1.000

ANNEXE F : calcul de la moyenne et de l'écart-type des différents types de revenus.

ANNEXE F1 : Statistique descriptive des parts revenant à chaque partie prenante pour le scénario de référence.

SCÉNARIO DE REFERENCE					
RECETTES FISCALES					
Statistiques descriptives des recettes fiscales lorsqu'on utilise le nouveau régime					
Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Recettes fiscales	23	22.092	12.329	.068	46.867
Statistiques descriptives des recettes fiscales lorsqu'on utilise l'ancien régime					
Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Recettes fiscales	23	15.545	8.167	0	31.527
PART DES INVESTISSEURS					
Statistiques descriptives de la part des investisseurs lorsqu'on utilise le nouveau régime					
Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Part investisseurs	23	75.069	38.726	0	150.177
Statistiques descriptives de la part des investisseurs lorsqu'on utilise l'ancien régime					
Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Part investisseurs	23	59.657	129.121	-504.980	165.517

Les coefficients de variation utilisés pour caractériser le niveau de risque de chaque type de revenu ont été calculés comme le rapport entre l'écart-type et la moyenne à partir de ces paramètres estimés.

ANNEXE F2 : Statistique descriptive des parts revenant à chaque partie prenante pour le scénario de prix faible.

SCÉNARIO DE PRIX FAIBLE

RECETTES FISCALES

Statistiques descriptives des recettes fiscales lorsqu'on utilise le nouveau régime

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Recettes fiscales	23	22.289	12.309	.0683	47.183

Statistiques descriptives des recettes fiscales lorsqu'on utilise l'ancien régime

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Recettes fiscales	23	15.669	8.164	0	31.723

PART INVESTISSEURS

Statistiques descriptives de la part des investisseurs lorsqu'on utilise le nouveau régime

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Part investisseurs	23	75.648	38.730	0	151.086

Statistiques descriptives de la part des investisseurs lorsqu'on utilise l'ancien régime

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Part investisseurs	23	60.308	129.239	-505.009	166.547

Les coefficients de variation utilisés pour caractériser le niveau de risque de chaque type de revenu ont été calculés comme le rapport entre l'écart-type et la moyenne à partir de ces paramètres estimés.

ANNEXE F3 : Statistique descriptive des parts revenant à chaque partie prenante pour le scénario de prix élevé.

SCÉNARIO DE PRIX ELEVE

RECETTES FISCALES

Statistiques descriptives des recettes fiscales lorsqu'on utilise le nouveau régime

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Recettes fiscales	23	22.039	12.303	.069	46.765

Statistiques descriptives des recettes fiscales lorsqu'on utilise l'ancien régime

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Recettes fiscales	23	15.551	8.174	0	31.544

PART INVESTISSEURS

Statistiques descriptives de la part des investisseurs lorsqu'on utilise le nouveau régime

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Part investisseurs	23	75.158	38.798	0	150.387

Statistiques descriptives de la part des investisseurs lorsqu'on utilise l'ancien régime

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Part investisseurs	23	59.689	129.128	-504.925	165.608

Les coefficients de variation utilisés pour caractériser le niveau de risque de chaque type de revenu ont été calculés comme le rapport entre l'écart-type et la moyenne à partir de ces paramètres estimés.

ANNEXE F4 : Statistique descriptive des parts revenant à chaque partie prenante pour le scénario de faible volatilité.

SCÉNARIO DE FAIBLE VOLATILITE

RECETTES FISCALES

Statistiques descriptives des recettes fiscales lorsqu'on utilise le nouveau régime

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Recettes fiscales	23	22.397	12.478	-.223	46.130

Statistiques descriptives des recettes fiscales lorsqu'on utilise l'ancien régime

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Recettes fiscales	23	15.788	8.229	0	31.069

PART INVESTISSEURS

Statistiques descriptives de la part des investisseurs lorsqu'on utilise le nouveau régime

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Part investisseurs	23	76.265	38.991	0	148.055

Statistiques descriptives de la part des investisseurs lorsqu'on utilise l'ancien régime

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Part investisseurs	23	60.937	29.427	-504.837	163.116

Les coefficients de variation utilisés pour caractériser le niveau de risque de chaque type de revenu ont été calculés comme le rapport entre l'écart-type et la moyenne à partir de ces paramètres estimés.

ANNEXE F5 : Statistique descriptive des parts revenant à chaque partie prenante pour le scénario de faible volatilité.

SCÉNARIO DE FORTE VOLATILITE

RECETTES FISCALES

Statistiques descriptives des recettes fiscales lorsqu'on utilise le nouveau régime

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Recettes fiscales	23	21.124	11.403	-22140	44.169

Statistiques descriptives des recettes fiscales lorsqu'on utilise l'ancien régime

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Recettes fiscales	23	14.900	7.538	0	29.344

PART INVESTISSEURS

Statistiques descriptives de la part des investisseurs lorsqu'on utilise le nouveau régime

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Part investisseurs	23	71.997	35.735	0	139.235

Statistiques descriptives de la part des investisseurs lorsqu'on utilise l'ancien régime

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Part investisseurs	23	56.271	127.447	-504.947	154.059

Les coefficients de variation utilisés pour caractériser le niveau de risque de chaque type de revenu ont été calculés comme le rapport entre l'écart-type et la moyenne à partir de ces paramètres estimés.

Annexe G: Synthèse des résultats par critère et scénario (présentation alternative)

Annexe G1: Synthèse pour les critères « viabilité économique du projet » et « rentrées fiscales pour le gouvernement »

Critères « viabilité économique du projet » et « rentrées fiscales pour le gouvernement »				
Scénarios	Critère « viabilité économique du projet »		Critère « rentrées fiscales pour le gouvernement »	
	Nouveau régime	Ancien régime	Nouveau régime	Ancien régime
Scénario de référence (prix moyen et marchés moyennement volatils)		Meilleur		moins risqué
Scénario de prix faible sur les marchés		Meilleur		moins risqué
Scénario de prix élevé sur les marchés	Meilleur			moins risqué
Scénario des marchés faiblement volatils		Meilleur		moins risqué
Scénario des marchés fortement volatils	Meilleur			moins risqué

Annexe G2: Synthèse pour le critère « génération de revenus moins incertains pour les parties prenantes »

Critère « génération de revenus moins incertains pour chaque partie prenante »				
Scénarios	Sous-critère « génération de recettes fiscales moins incertaines »		Sous-critère « génération des revenus moins incertains pour les investisseurs »	
	Nouveau régime	Ancien régime	Nouveau régime	Ancien régime
Scénario de référence (prix moyen et marchés moyennement volatils).		Meilleur	moins risqué	
Scénario de prix faible sur les marchés.		Meilleur	moins risqué	
Scénario de prix élevé sur les marchés.		Meilleur	moins risqué	
Scénario des marchés faiblement volatils.		Meilleur	moins risqué	
Scénario des marchés fortement volatils.		Meilleur	moins risqué	

ANNEXE H : Test de significativité statistique de l'écart de recettes générées par les deux régimes de redevance (cas du scénario de référence).

1) Ranger les résultats sous forme de tableau et calculer la valeur absolue des écarts de recette ainsi que la valeur absolue au carré.

Existe-t-il une différence entre les recettes générées par l'ancien et celles générées par le nouveau régime ?

$$y_n = |X_{n-1} - X_n|$$

Année	Recettes annuelles moyennes avec le nouveau régime	Recettes moyennes annuelles avec l'ancien régime	L'écart des recettes entre les deux régimes (y)	L'écart au carré des recettes entre les deux régimes (y ²)
1991	17,835	13,117	4,717	22,257
1992	26,060	17,857	8,202	67,285
1993	26,253	18,567	7,686	59,081
1994	28,843	20,484	8,358	69,862
1995	33,106	22,751	10,355	107,234
1996	35,517	24,240	11,277	127,175
1997	27,045	18,914	8,130	66,113
1998	46,867	31,527	15,340	235,327
1999	42,429	28,567	13,861	192,144
2000	36,800	25,231	11,569	133,850
2001	32,730	22,574	10,156	103,145
2002	24,435	17,456	6,979	48,709
2003	19,627	14,292	5,334	28,461
2004	12,519	9,484	3,034	9,209
2005	13,827	10,373	3,453	11,925
2006	13,469	10,123	3,346	11,196
2007	11,430	8,544	2,885	8,328
2008	15,865	11,759	4,105	16,858
2009	14,400	10,734	3,665	13,436
2010	6,930	5,298	1,631	2,662
2011	2,450	2,117	0,332	0,110
2012	0,068	0	0,068	0,004
2013	19,601	13,522	6,079	36,956

N=23

2) Calcul des sommes de l'écart de recettes et de l'écart de recettes au carré

$(\sum y) =$ Somme des différences Y

$\sum y^2 =$ Somme des carrés des différences y

$(\sum y)^2 =$ Carré de la somme des différences Y

Dans cet exemple, nous avons:

$$(\sum y) = 150,57$$

$$\sum y^2 = 1371,34$$

$$(\sum y)^2 = 22672,57$$

3) Calcul de la statistique t de Student

Nous calculons le t de Student d'après la formule suivante:

$$t = \frac{\sum y \sqrt{N-1}}{\sqrt{N \sum y^2 - (\sum y)^2}}$$

$$t = \frac{150 \times \sqrt{23-1}}{\sqrt{23 \times 1371,34 - 22672,57}}$$

$$t = 7,5$$

4) Interprétation du résultat

Nous comparons ce résultat à la statistique de la table de Student. Pour cela, nous déterminons le degré de liberté k qui est égal tel que $k = N - 1$.

$$k = 23 - 1 = 22$$

La statistique de Student lue sur la table pour une p-value de 1% et un degré de liberté de 22 est égal à **2,819**.

La statistique calculée est supérieure au t de la table (**7,5** est supérieur à **2,819**): il existe donc une différence significative entre les deux séries.

Nous pouvons alors conclure que l'écart de recettes entre les deux régimes de redevance est statistiquement significatif.

Statistiques descriptives des recettes fiscales des deux régimes et de leur écart.

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Année	23	2002	6.782	1991	2013
Série	23	12	6.782	1	23
Moyenne des recettes pour le nouveau régime	23	22.092	12.329	.0686	46.867
Moyenne des recettes pour le nouveau régime	23	15.545	8.167	0	31.527
Écart de recettes	23	6.546	4.186	.0686	15.340

Test de significativité des écarts de recettes entre le nouveau et l'ancien régime

Scénarios	t de Student calculé	degré de liberté	p-value	t de Student lu sur la table
Scénario de référence	7,5	22	1%	2,819
Scénario de prix faible	8,3	22	1%	2,819
Scénario de prix élevé	6,77	22	1%	2,819
Scénario de faible volatilité	7,43	22	1%	2,819
Scénario de forte volatilité	7,68	22	1%	2,819