

UNIVERSITÉ MONTESQUIEU - BORDEAUX IV
ÉCOLE DOCTORALE ENTREPRISE, ÉCONOMIE, SOCIÉTÉ (E.D. 42)

DOCTORAT ès SCIENCES ÉCONOMIQUES

Carmen CANTUARIAS-VILLESSUZANNE

**LA MESURE ÉCONOMIQUE
DE LA DÉPRÉCIATION DU CAPITAL MINIER
AU PÉROU**

Thèse dirigée par M. **Patrick POINT**, Directeur de Recherche CNRS.

Soutenue le 7 juin 2012

Jury :

M. Jean-Louis COMBES,
Professeur, Université d'Auvergne, Directeur adjoint CERDI,
rapporteur.

M. Álvaro Alejandro ORTIZ SARABIA,
Professeur, Université Nationale Agricole La Molina, Lima, Pérou,
rapporteur.

M. Jean-Christophe PÉREAU,
Professeur, Université Montesquieu - Bordeaux IV.

M. Patrick POINT,
Directeur de Recherche CNRS, Université Montesquieu - Bordeaux IV,
directeur de thèse.

*à mes filles jumelles,
Gabrielle et Olivia,
nées au cours de cette thèse.*

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu mon directeur de thèse Patrick Point pour ses conseils avisés, sa disponibilité sans faille et ses perspectives éclairées.

Je remercie également Jean-Louis Combes, Álvaro Ortiz et Jean-Christophe Péreau qui me font l'honneur d'être membres de mon jury.

Tous mes remerciements vont à l'ensemble du GREThA, en particulier à Yannick Lung et à notre directeur actuel Marc-Alexandre Sénégas. Au sein de l'Université Montesquieu Bordeaux IV, je tiens à remercier le professeur Pedro Arbulu pour son accueil lors de mon arrivée en France. Merci à tous les doctorants, en particulier à Hanitra, à Gabrielle et à Jean-Christophe. Un grand merci à Gabrielle pour sa relecture extrêmement rigoureuse. Merci à Sandrine Robert pour son aide précieuse dans toutes mes démarches administratives.

Je tiens à remercier Jean Mercenier et Colette Herzog de l'Université Panthéon-Assas Paris II, qui m'ont accueillie dans leur équipe pédagogique.

Je remercie le Centre de Langue de l'Université qui m'a donné un poste de lectrice d'espagnol. J'ai passé deux années excellentes dans votre équipe ; mes remerciements à Éric Dubesset et Joël Miro. Je tiens à remercier Christine Grosselin de Sciences Po pour la confiance qu'elle m'a accordée.

Merci à l'ensemble des professeurs du département d'Économie et de Planification de l'Université Nationale Agricole La Molina, professeurs qui m'ont encouragée à me lancer dans cette aventure. Je remercie également Waldo Mendoza de l'Université Pontificale Catholique du Pérou pour ses réflexions politiques sur la taxation minière.

Ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien de Walter Sanchez du MEM, d'Elsa Jauregui de l'INEI et d'Arturo Vasquez de l'OSINERG, qui ont eu la patience de me recevoir et se sont intéressés à mes recherches.

Tout au début de ma thèse, j'ai eu la chance de rencontrer Graham Davis qui a eu beaucoup d'influence sur mes recherches. Ce fut un réel plaisir de rencontrer par la suite Carlos Young à l'ALEAR au Costa Rica, et de discuter de l'impact de la dépréciation de la forêt amazonienne. Merci également à Robert Cairns, qui m'a motivée à poursuivre dans cette voie.

Merci à tous ceux qui m'ont aidée, d'une manière ou d'une autre, dans ce travail.

Merci à tous mes amis ; à ma grande sœur Marina et à sa famille : Thomas, Anna et Sacha, qui m'ont toujours bien accueillie à Bordeaux ; à la *banda peruana* : Oswaldo, Victor, Eva et Nataly. ; *Gracias chicos por todo lo compartido en Burdeos !* ; aux bordelais Aïcha, Nathalie et Édouard, Anna, Marie, Béatrice ; aux (ex-)parisiens Sonia et Pierre-Édouard, Isabelle et Philippe, Nataly et Ziad ; aux valentinois, Anne-Claire et Cédric, Stéphanie et Loïc, et à tout le club de Go.

Merci à ma belle-famille Marie-José et Jacques pour leur patience, leur aide et leurs relectures ; à mes parents Carmen et Carlos pour m'avoir poussée à faire de longues études ; à ma grand-mère Delia pour son énergie et ses conseils permanents ; à ma famille qui a vécu mon éloignement ; à ma sœur Delia ; à mon frère Carlos et à sa femme qui ont décidé de s'installer en France.

Beaucoup de choses se sont passées pendant ma thèse : la découverte d'un pays remarquable qui m'a accueillie comme citoyenne, l'arrivée de mes filles jumelles Gabrielle et Olivia, et de nombreuses rencontres.

Rien de tout cela n'aurait été possible sans l'aide et l'amour de Yann qui a porté cette thèse sur ses épaules.

Sommaire

Introduction générale	11
I Ressources naturelles non renouvelables et sous-développement	21
1 Panorama de l'activité minière péruvienne	25
2 Le paradoxe du sous-développement et de l'abondance des ressources naturelles	45
II Analyse macroéconomique de la dépréciation du capital minier	61
3 Comptabilité environnementale	65
4 Évaluation de la dépréciation du capital naturel	79
III Analyse microéconomique de la dépréciation du capital minier	99
5 La théorie des ressources épuisables	103
6 Fonction de coût pour l'activité minière péruvienne	121
7 Évaluation de la dépréciation du capital naturel	147
IV Réinvestissement des rentes	153
8 Dépréciation du capital minier, revenus miniers et <i>royalties</i>	157
9 Revenu durable et constitution d'un fonds de ressources naturelles	171
10 Fonds de ressources minières au Pérou	183
Conclusion générale	191
 Bibliographie	 199
Annexes	219
Table des matières	251
Liste des sigles, des équations, des figures, des graphiques et des tables	257

Introduction générale

Aujourd'hui, parmi les vingt plus grandes sociétés minières mondiales, dix¹ sont présentes au Pérou. Elles explorent et exploitent des gisements minéraux, principalement or, cuivre et zinc. Ce faisant, elles utilisent des ressources naturelles, des terres agricoles et des ressources stratégiques comme l'eau.

Les bénéfices marchands de l'activité minière péruvienne sont manifestes au travers des indicateurs économiques (exportations, investissements étrangers, croissance, etc.). Il est en revanche plus difficile de percevoir les effets de l'activité minière sur l'environnement, sur le développement local et régional, et plus généralement sur la vie des péruviens.

Le *développement durable* peut se définir comme le fait de léguer aux générations futures une base productive qui leur assure un potentiel de développement au moins égal au notre (Dasgupta et Mäler, 2001).

D'un point de vue économique, on peut donner deux sens à la notion de durabilité. La question cruciale est de savoir si le capital naturel doit bénéficier d'une protection spéciale, ou s'il peut être substitué par d'autres formes de capital, principalement du capital manufacturé. C'est le choix entre *durabilité faible* et *durabilité forte* (Dietz et Neumayer, 2007). Les ressources minières étant par essence non renouvelables, le concept de durabilité forte se révèle d'application difficile. Dans cette thèse, nous nous placerons dans le cadre de la durabilité faible.

Le développement minier peut s'appréhender de deux manières complémentaires (Adelman, 1990 ; Tilton, 2009) :

- à travers le paradigme de *stock fixe*. L'activité minière dépend de ressources non re-

¹Les grandes entreprises minières présentes au Pérou sont : BHP Billiton (Australie), Vale (Brésil), Rio Tinto (Grande Bretagne), Anglo American (Grande Bretagne), Xstrata (Suisse), Barrick (Canada), Freeport-MacMoRan (États-Unis), Southern Copper (États-Unis), Newmont Mining (États-Unis), Teck Resources (Canada).

nouvelables qui arriveront un jour à épuisement. Par sa nature même, l'activité minière n'est pas durable. La question est donc de déterminer le sentier d'extraction optimal, c'est-à-dire la meilleure façon d'exploiter les gisements pour maximiser les profits ;

- à travers le paradigme du *coût d'opportunité*. La question est alors : que doit-on, en tant que société, sacrifier ou à quoi doit-on renoncer pour produire une tonne de cuivre ou un gramme d'or ? Ainsi, l'activité minière doit prendre en compte les coûts externes, être plus soucieuse de l'environnement, des cultures autochtones et favoriser le bien-être des communautés locales.

Le Pérou doit choisir sur quelle combinaison de ces deux paradigmes extraire ses ressources minières. Le développement durable suppose la prise en compte des impacts environnementaux et sociaux liés à l'extraction. Il requiert également le calcul de la dépréciation du capital minier. C'est sur ce deuxième aspect que nous centrerons notre travail.

Le développement durable demande soit de ne pas utiliser le stock du capital minier, soit de donner une compensation aux générations futures qui ne pourront plus exploiter les ressources minières.

Ceci a suscité l'intérêt d'un grand nombre d'économistes (Amsberg, 1993 ; Crowards, 1996 ; El Serafy, 1989 ; Hamilton, 1994 ; Lange, 2003 ; Mikesell, 1994 ; Peskin, Lutz et Dept, 1990 ; Repetto et al., 1989 ; Santopietro, 1998 ; Stern, 1995 ; Tongeren et al., 1991 ; Young et Serôa da Motta, 1995) qui ont travaillé sur la mesure de la dépréciation du capital minier (DCM). Ils cherchent tous à compenser la perte du capital naturel par l'investissement dans d'autres formes de capital, que ce soit des biens et des services, du capital manufacturé, du capital humain ou encore la conservation d'un autre actif naturel (Hamilton, 1995 ; Hartwick, 1977 ; Pearce, Hamilton et G. Atkinson, 1996). La question de savoir à quelles conditions l'investissement dans d'autres capitaux correspond à la DCM a été largement traitée par Dasgupta et Heal (1974, 1979) ; Hamilton (1995) ; Hartwick (1978, 1989) ; Hartwick et Hageman (1993) ; Solow (1974) ; Stiglitz (1974).

La dépréciation du capital minier est la variation en valeur du stock de la ressource minière. En théorie, la DCM est la rente totale générée par la ressource et cette rente a deux composantes. D'abord, une rente de rareté pure qui dépend du stock de minerai, c'est-à-dire la rente de Hotelling (Dasgupta et Heal, 1979 ; Hotelling, 1931). Ensuite, une autre rente de type coût d'usage qui est le résultat de l'augmentation des coûts marginaux d'extraction quand le stock de minerais est réduit. La relation entre rente et DCM, le débat sur l'incorporation de la DCM

dans la comptabilité environnementale et également plusieurs méthodes d'estimation de la DCM seront présentées dans cette thèse.

Les premières estimations de la DCM pour plusieurs pays ont été faites par Pearce et G. D. Atkinson (1993) et aussi par Proops et G. Atkinson (1993). Elles ont été ensuite largement diffusées par la Banque Mondiale. L'indicateur retenu est le ratio DCM sur PIB. Certains pays ont déjà un haut niveau de DCM (tableau 0.1). Le Pérou arrive en 7^e position mondiale, avec 5,19 % de DCM, ce qui est considérable.

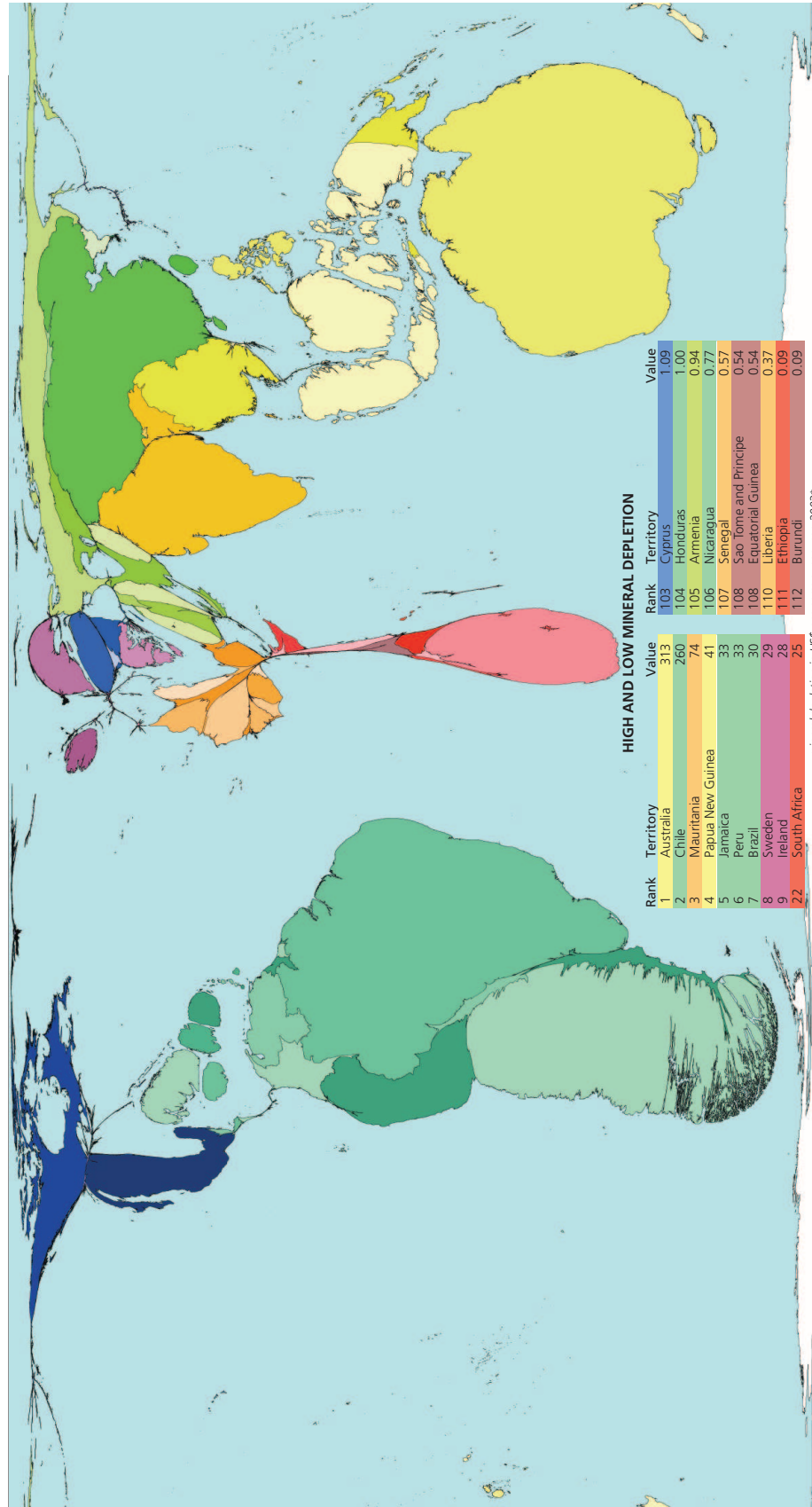
TABEAU 0.1. Classement des pays selon leur DCM en 2009

	DCM / PIB (%)
Papouasie-Nouvelle-Guinée	19,93
Mauritanie	18,30
Zambie	11,49
Chili	9,87
Rép. Dém. du Congo	7,87
Mongolie	7,27
Pérou	5,19
Ghana	4,78
Guinée	3,66
Guyana	3,37
Australie	3,13
Botswana	2,50
Tanzanie	2,28
Afrique du sud	2,20
Brésil	1,53
Bolivie	1,52
Maroc	1,38
Zimbabwe	1,34
Togo	1,30
Indonésie	1,18
Kazakhstan	1,17
Inde	1,06

Source : World Bank (2009)

Un autre représentation de la DCM est donnée par la carte mondiale de l'agence *Peru Support Group* (figure 0.1). Cette carte est une déformation accordant à chaque pays une surface correspondant à son taux de DCM.

FIGURE 0.1. Anamorphose de la carte du monde selon la DCM



Source : Peru Support Group (2005)

Introduction générale

Les estimations de la DCM par la Banque Mondiale consistent en une approximation de la rente de la ressource. Celle-ci est mesurée à partir des prix des minerais et des coûts moyens mondiaux d'extraction (Hamilton, 2000).

ÉQUATION 0.1. Méthode de calcul de la DCM par la Banque Mondiale

$$\begin{aligned} \text{Rente de la ressource} = & \text{Prix des minerais} \\ & - \text{Coûts de l'activité minière} \\ & - \text{Rétribution du capital} \end{aligned} \quad (0.1)$$

Le prix des minerais est la moyenne des prix des *commodities* de la bourse de Londres et de New-York ; le coût de l'activité est le coût moyen d'exploitation minière, de transformation et de fonderie, calculés dans la zone géographique de l'activité en question ; la rétribution du capital est la rémunération « normale » de l'investissement.

Les estimations de la DCM par la Banque Mondiale forment une grande base de données qui permet de réaliser des études comparées au niveau mondial, mais ce ne sont que des approximations. De plus, elles ne sont pas assez précises pour l'élaboration de politiques environnementales.

Pour affiner l'analyse et obtenir une valeur réelle de la DCM, il est nécessaire de disposer d'informations sur les coûts d'exploitation miniers des différentes entreprises du secteur. Une autre difficulté de la mesure de la DCM causée par une entreprise minière péruvienne, est que celle-ci a fréquemment une activité minière polymétallique, et a donc une structure de coûts plus complexe.

Objectif de la thèse

Cette thèse, centrée sur la dépréciation du capital minier, évalue la durabilité de la principale activité extractive au Pérou, dans le cadre de la durabilité faible, en insistant sur la pertinence du *coût d'opportunité* de l'activité minière, sans toutefois y incorporer les coûts externes environnementaux et sociaux. Ces aspects demanderaient de considérables travaux complémentaires qui dépassent le cadre de cette thèse.

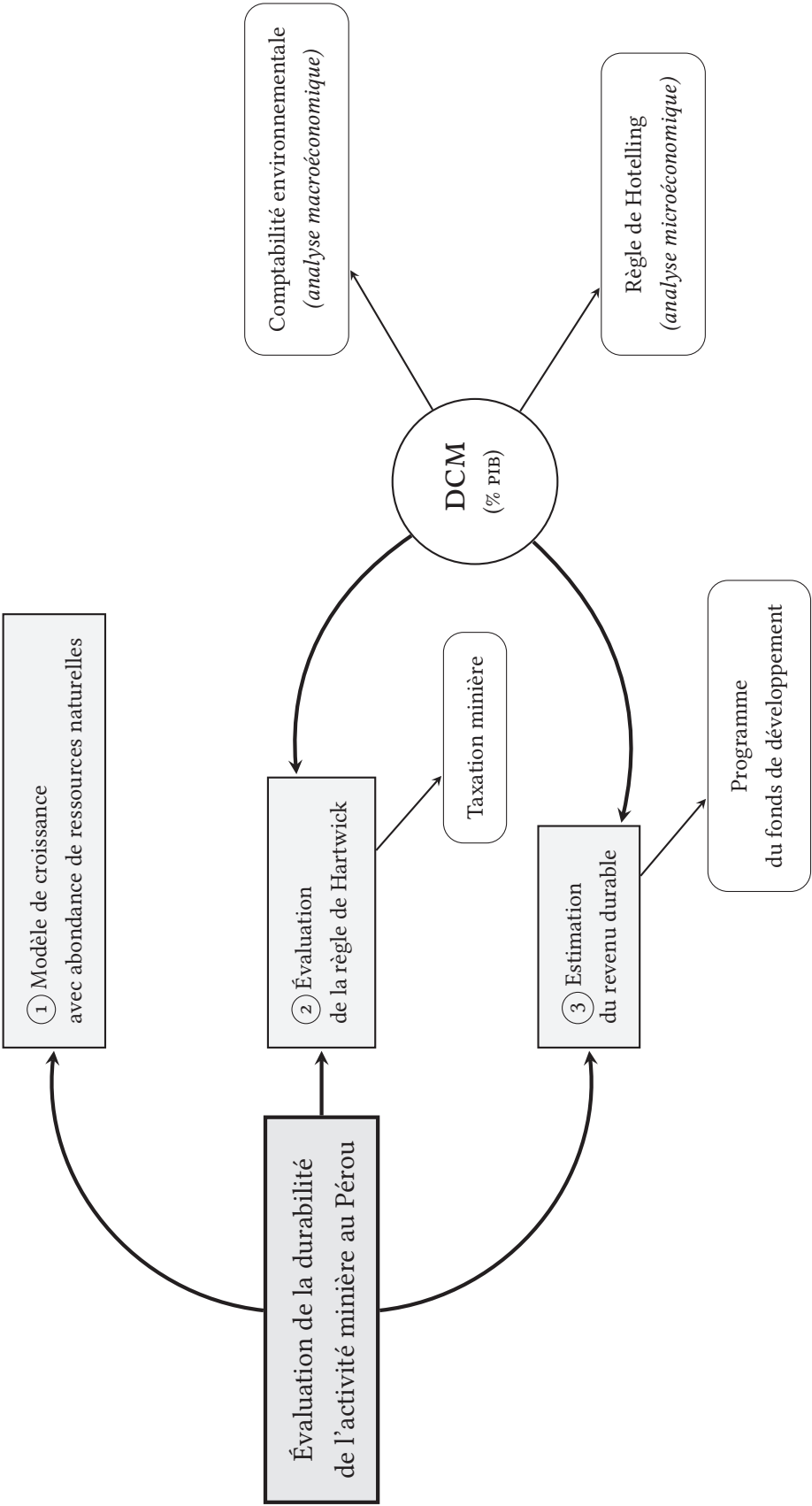
Notre démarche de recherche est schématisée dans la figure 0.2.

Nous partirons d'une analyse de la richesse minière péruvienne et nous évaluerons la relation entre abondance des ressources minières et croissance économique. Malgré la forte croissance péruvienne, ce modèle n'est pas un indicateur de durabilité.

Notre objectif est d'obtenir un indicateur approprié de durabilité de l'activité minière péruvienne. La DCM est mesurée par une analyse macroéconomique dans le cadre de la comptabilité environnementale. Elle est également mesurée par une analyse microéconomique dans le cadre de la théorie hotellienne avec l'estimation de fonction de coût de l'activité minière péruvienne.

On se demandera comment mesurer la DCM, comment évaluer la durabilité de l'activité minière avec la règle de Hartwick, comment investir les recettes minières dans un développement durable, comment générer des rentes durables à partir de ressources épuisables.

FIGURE 0.2. Démarche de recherche



Source : auteur

Plan de la thèse

Pour traiter de la durabilité de l'activité minière péruvienne à travers la mesure de la dépréciation du capital minier, cette thèse est divisée en quatre parties.

Dans la première partie, nous présentons un panorama de l'activité minière, la formation des agglomérations minières, les conflits sociaux-environnementaux et conflits du travail. Tous ces aspects posent la question de savoir si le Pérou est en train de vivre une *malédiction des ressources naturelles* (Sachs et Warner, 2001). Cette partie analyse le cas du Pérou sur la période 1960–2007, en utilisant un modèle de croissance prenant en compte l'abondance des ressources naturelles.

À première vue, le Pérou ne semble pas souffrir de cette malédiction, même s'il a plusieurs symptômes du *syndrome hollandais* (Corden, 1984) : prix élevés des minéraux, abondance de liquidité et appréciation de la monnaie. Depuis les années 90, le Pérou vit un boom minier et son économie est basée essentiellement sur l'exportation de matières premières minérales. L'analyse des indicateurs des avantages comparatifs révélés montre la dégradation de l'activité économique péruvienne au profit de l'activité minière.

Ce travail cherche à déterminer l'effet de l'abondance des ressources naturelles sur la croissance économique du Pérou. Nous montrerons qu'il n'existe pas encore de preuve tangible d'une malédiction des ressources naturelles au Pérou, mais qu'il y a en revanche une forte dépendance aux ressources minières. Cette dépendance aux activités d'extraction (industrie minière et hydrocarbures) affecte négativement la croissance économique.

La plupart des études portant sur la relation entre croissance économique et abondance des ressources naturelles² ont été réalisées à partir de bases de données transversales à un ensemble de pays. Notre travail, au contraire, présente un modèle de *séries temporelles* dans le cas particulier du Pérou.

Dans la seconde partie, nous présentons les travaux de Hartwick (1990) et Hamilton (2000). Leurs modèles de croissance ont permis d'incorporer la dépréciation du capital naturel à la comptabilité nationale et de développer les agrégats macroéconomiques verts.

² Auty, 1993, 2007 ; Bravo-Ortega et De Gregorio, 2005 ; Brunnschweiler et Bulte, 2006 ; Gylfason, 2001b ; Gylfason et Zoega, 2006 ; Leamer et al., 1999 ; Leite et Weidmann, 1999 ; Pessoa, 2008 ; Sachs et Warner, 2001 ; Stijns, 2005.

Nous présentons les spécificités de l'activité minière, en particulier la relation entre la rente, l'épuisement des ressources et la DCM. Nous exposons les principales méthodes d'évaluation des ressources épuisables et plusieurs estimations de la DCM.

Ensuite, cette partie développe une méthodologie macroéconomique de la mesure de la DCM évaluée comme un résidu macroéconomique pour la période 1994–2004. L'objectif est de corriger le produit national net (PNN) de la dépréciation du capital minier. Nous en déduisons que la valeur actuelle du PNN est surestimée et que les décisions politiques ne prennent pas en compte la dépréciation du capital naturel de la principale activité économique du pays.

Dans la troisième partie, nous traitons la DCM par une approche microéconomique. La théorie de Hotelling (1931) nous fournit le cadre à une mesure de la DCM plus fine et plus proche de la complexité de l'activité minière péruvienne.

D'abord, nous estimons une fonction de coût translog multi-produit (E. Berndt et Field, 1981 ; E. R. Berndt et Christensen, 1973 ; Binswanger, 1974) pour l'activité minière sur la période de 2000 à 2008, en séparant la production des métaux précieux et la production polymétallique. Comme résultats, nous obtenons des mesures de parts de facteurs (*cost shares*) des trois principaux *inputs* de l'activité : le facteur humain par le biais des rémunérations, le facteur énergie avec la consommation d'électricité et le facteur capital par l'investissement en capital fixe. Comme autres résultats, les élasticités de substitutions de facteurs, les flexibilités de coûts et les coûts marginaux, sont aussi présentés. Cette fonction de coût est obtenue à partir des données par entreprise minière. L'échantillon représente en moyenne 82 % de la production totale.

Ensuite, nous utilisons les coûts marginaux estimés pour évaluer la rente de Hotelling par entreprise. Ces estimations nous donnent une mesure de la DCM à partir d'une agrégation microéconomique.

Dans la quatrième et dernière partie, nous avons deux objectifs :

D'abord, en appliquant la règle de Hartwick (Hartwick, 1977), nous évaluerons la durabilité de l'activité minière péruvienne. Nous comparerons les estimations de la DCM avec les recettes minières par impôt sur le revenu et *royalties*. Nous montrerons que, selon la première condition de durabilité de la règle de Hartwick, les revenus de la principale activité économique du Pérou ne compensent pas la perte des ressources minières. Autrement dit, l'activité minière a un sentier de développement non durable.

Cela fournit à l'État péruvien une marge de négociation importante pour refonder le système de taxation minière. Nous exposerons une analyse comparative de plusieurs modèles de taxation de certains pays miniers, ainsi que l'estimation de la règle de Hartwick inverse, laquelle nous permettra de calculer les revenus que l'État aurait pu recevoir s'il avait taxé l'activité minière au niveau de la DCM.

Le deuxième objectif de cette partie est l'estimation d'un revenu durable à partir d'un fonds de développement (J. Davis et al., 2003) qui compenserait la DCM.

Nous présentons quelques exemples de fonds de ressources naturelles. Parmi les principaux avantages des fonds de développement, Usui (2007) affirme qu'ils préservent un revenu durable pour les générations à venir et réduisent l'instabilité macroéconomique. De plus, ces fonds devraient permettre d'augmenter la transparence et de renforcer la gouvernabilité.

Première partie

Ressources naturelles non renouvelables et sous-développement

Introduction

L'activité minière est la principale activité économique au Pérou ; son développement a déterminé l'histoire, l'évolution, les crises et la croissance de la société péruvienne. Dans cette partie, nous nous demandons si la richesse minière est une solution ou un problème pour le développement du pays.

Tout d'abord, nous présentons un panorama de l'activité minière, son histoire, les initiatives dans la formation des agglomérations minières (*cluster*), ainsi que les conflits actuels sociaux-environnementaux et les conflits de travail. Cette réalité nous incite à poser la question suivante : le Pérou est-il en train de vivre une malédiction des ressources naturelles ?

Ensuite, nous analysons cette malédiction sur la période 1960–2007. À première vue, le Pérou ne semble pas souffrir de cette malédiction malgré son abondance de ressources minières. Toutefois, il souffre du syndrome hollandais : prix élevés des minéraux, abondance de liquidité et appréciation de la monnaie. L'indice des avantages comparatifs révélés des principaux secteurs économiques confirme ce diagnostic.

Nous développons un modèle économétrique qui démontre que la croissance péruvienne est fortement dépendante du capital minier. Un changement dans les politiques minières est vital afin d'éviter la malédiction des ressources naturelles.

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

Ces vingt dernières années, le Pérou s'est vu favorisé par la récupération des investissements miniers en Amérique Latine, région qui a bénéficié d'une nouvelle vague d'investissements due aux conditions favorables qu'offrent les gouvernements aux multinationales. L'activité minière péruvienne a reçu 6 074 millions de US\$¹ d'investissements en 2011, soit 71,9 % de plus que l'année précédente. Le pays a reçu en 2011 des investissements en exploration pour approximativement 364 millions de US\$ (*Metals Economics Group*, 2012), soit 4 % de l'investissement mondial en exploration des métaux non ferreux.

L'arrivée de nouveaux capitaux a engendré la modernisation de la grande industrie minière. Les gisements déjà exploités se sont agrandis et leurs équipements ont été remplacés par d'autres de plus grande capacité. De plus, la tendance à la hausse des prix internationaux a permis l'exploitation de gisements connus mais jusqu'ici non exploités pour des raisons économiques, et a donc contribué à augmenter la production minière. Des projets comme Yanacocha contribuent à faire de l'or le principal produit d'exportation du pays.

1.1. L'activité minière au Pérou

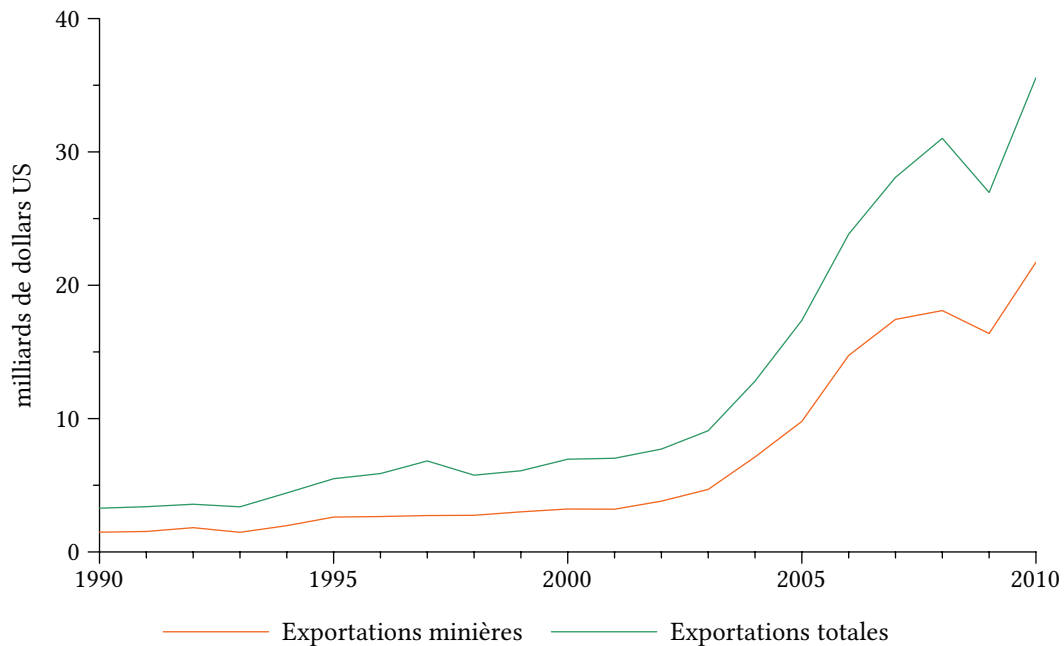
La production minière est aujourd'hui l'élément le plus important dans les exportations du Pérou, représentant 61 % des exportations totales en 2010. Le graphique 1.1 nous montre l'évolution des exportations minières face aux exportations totales à partir de 1990. On peut noter l'augmentation des exportations, soutenue par l'augmentation continue des exportations mi-

¹Investissement minier de janvier à novembre 2011. Il comprend l'investissement en équipements, exploration, exploitation, infrastructure, réparations et autres (MEM, 2012).

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

nières. La quasi-totalité de la production minière est exportée en raison des bas niveaux de consommation de métaux basiques dans le pays. En 2010, l'activité minière représentait 5,2 % du PIB total du pays, et elle a connu une croissance moyenne de 5 % par an de 2000 à 2010. Principale activité économique du pays, nous considérons qu'il est primordial de promouvoir ce secteur, dans la mesure où il génère des opportunités de développement pour le pays.

GRAPHIQUE 1.1 Évolution des exportations minières et des exportations totales



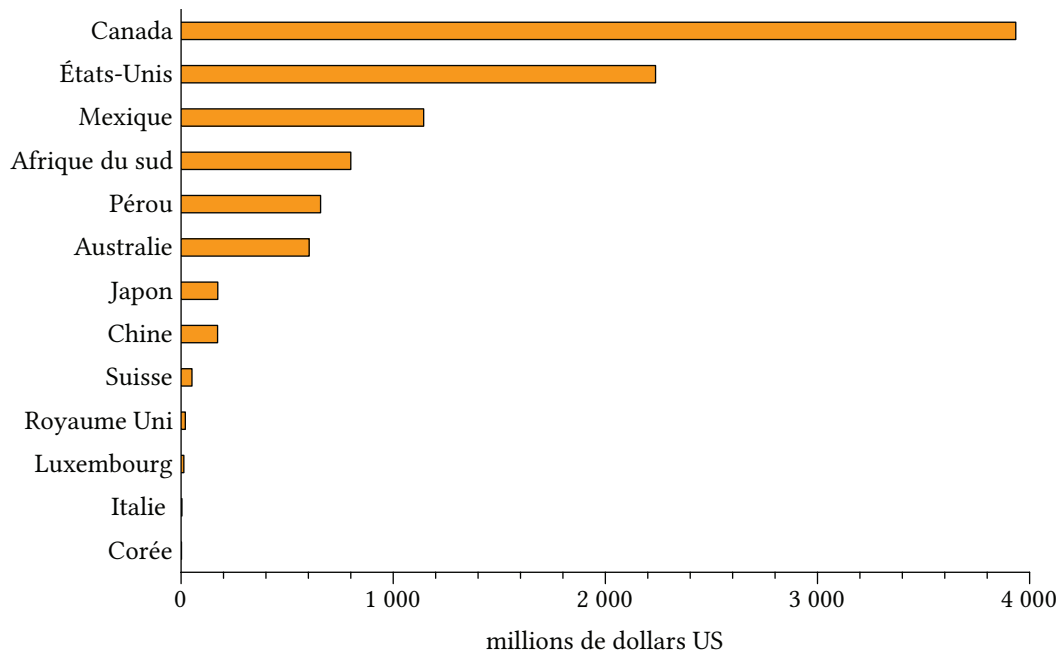
Source : BCR Pérou

Le Pérou compte toute une gamme de minéraux, principalement métalliques. Notre travail se base sur l'analyse des sept principaux métaux qu'exploite le Pérou : argent, cuivre, étain, fer, or, plomb et zinc. L'activité minière a lieu dans presque tous les départements du pays et est enregistrée dans un cadastre minier (annexe A, page 220).

L'ouverture du Pérou à partir des années 1990 et le cadre juridique et fiscal favorable aux investissements étrangers sont mis en évidence dans le graphique 1.2, où l'on présente l'origine des investissements miniers pour la période 1992–2007. Le Canada est le pays qui a le plus investi dans l'industrie minière, suivi par les États-Unis et le Mexique. On constate également que les investissements nationaux n'atteignent que 7 % des investissements miniers totaux. Cette situation illustre la dépendance au capital étranger pour le développement des principaux projets miniers dans le pays.

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

GRAPHIQUE 1.2 Investissements miniers par pays d'origine pour la période 1992–2007



Source : MEM

1.2. Agglomérations minières

L'industrie minière est, sans aucun doute, le principal moteur de l'économie péruvienne de ces dernières années. Elle engendre cependant des interrogations pour savoir notamment comment favoriser un développement durable à travers celle-ci. Autour de l'industrie minière s'ajoutent diverses activités comme le commerce du matériel, les facteurs de production, les services miniers, etc., qui permettent de propager l'impact économique de l'activité minière. La dynamique de ces agglomérations ou *clusters* miniers au Pérou a été étudiée par J. R. Kuramoto (2000), et nous détaillerons par la suite l'histoire des agglomérations minières au Pérou.

Pour analyser les agglomérations, J. R. Kuramoto (2000) divise le Pérou en six régions minières, en regroupant les divers départements selon les gisements exploités (graphique 1.3 et tableau 1.1).

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

GRAPHIQUE 1.3 Région minières au Pérou



Source : auteur

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

TABLEAU 1.1. Régions minières selon les gisements

Région (ensemble de départements)	Gisements
Cajamarca, La Libertad	Or, cuivre, polymétaux (zinc, plomb, cuivre)
Ancash, Huánuco	Or, polymétaux, autres
Lima, Pasco, Junín	Polymétaux
Huancavelica, Ayacucho, Apurímac	Argent, cuivre
Ica, Moquegua, Tacna	Cuivre, fer
Arequipa, Puno, Cuzco, Madre de Dios	Cuivre, fer, or

Source : J. R. Kuramoto (2000)

Dans la production minière, on peut identifier trois types d'entreprises :

La petite activité minière. On regroupe ici les entreprises dont la production est inférieure à 350 tonnes métriques (TM) par jour, et qui exploitent l'or et les polymétaux. Elles utilisent généralement des techniques d'extraction artisanales et à faible rendement. Cette activité minière était composée de près de quatre cent entreprises il y a quelques années, mais elles ne sont plus aujourd'hui qu'une centaine et responsables de seulement 15 % de la production minière.

L'activité minière moyenne. Elle regroupe environ trente entreprises qui opèrent sur quelques soixante-dix mines et produisent autour de 30 % de l'activité minière totale. Leur production est comprise entre 350 TM et 5 000 TM quotidiennes, et elles exploitent, comme le premier groupe, en majorité l'or et les polymétaux, mais elles utilisent des méthodes d'exploitation souterraines et produisent des concentrés.

La grande activité minière. Elle est formée par une dizaine d'entreprises environ qui produisent plus de 5 000 TM quotidiennement. Elles exploitent des mines à ciel ouvert et produisent du cuivre, du fer et récemment de l'or et du zinc. Elles concentrent environ 55 % de la production totale. De plus, elles sont dans leur grande majorité de propriété étrangère.

On peut énumérer trois caractéristiques de l'activité minière péruvienne qui définissent la formation d'agglomérations minières au Pérou : son emplacement géographique, son organisation industrielle et sa forte articulation avec les marchés internationaux. Ces trois facteurs ont été déterminants pour la formation des agglomérations minières au Pérou. L'auteur propose d'analyser l'influence de ces facteurs à la lumière des grands changements (*shocks*) auxquels l'industrie a fait face.

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

Nous présentons l'étude de J. R. Kuramoto (2000), qui distingue quatre périodes importantes pour l'activité minière péruvienne. Cela nous permet de comprendre son évolution et sa configuration actuelle.

Du début du 20^e siècle à 1950

- L'activité minière est concentrée sur l'exploitation d'argent et dans une moindre mesure, sur l'or. La production de minéraux est exportée. Dans le cas de l'argent, ce métal sert à frapper la monnaie.
- Les entreprises minières sont majoritairement nationales. Il y a quelques investisseurs privés étrangers, des investisseurs individuels qui ne représentent pas les intérêts d'entreprise étrangère.
- Un nombre croissant d'ingénieurs péruviens sont entraînés dans l'École des Mines créée en 1876.
- La Société Nationale d'Activité Minière est officiellement fondée en 1896 et se caractérise par son intérêt pour l'utilisation et l'adaptation de nouvelles technologies.
- Le cuivre devient un métal attractif. Les opérations minières se concentrent dans la Sierra Central (*Cerro de Pasco* et *Junín*). Des fonderies de cuivre sont construites. On assiste à une industrie naissante de biens de capital pour satisfaire les nécessités des entreprises minières. Un chemin de fer central jusqu'à Morococha est construit, pour faciliter le transport de minerais.
- L'industrie minière péruvienne est dénationalisée. En 1901, l'entreprise nord-américaine *Cerro de Pasco Corporation* s'installe et qui acquiert progressivement autour de 80 % des mines de la région. *Northern Mining* s'installe à Quiruvilca dans le nord montagneux.
- Les groupes nationaux continuèrent d'investir dans le secteur mais eurent des difficultés à rester indépendants des capitaux étrangers. Les entreprises nationales commencent à vendre le minerai exploité à la *Fundicion de la Oroya*, propriété de la *Cerro de Pasco Corporation* pour le traitement.
- À partir de 1930, la surproduction mondiale entraîne une baisse du prix du cuivre ; l'ar-

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

gent connaît cependant une hausse de son prix et l'investissement national est présent. La situation est similaire pour le plomb et le zinc.

- La technologie de flottement est introduite, ce qui permet aux investisseurs nationaux de maintenir leur autonomie dans la production de concentrés, sans dépendre des installations de *Cerro de Pasco Corporation*, et de placer leurs minéraux sur le marché international.
- Étant donné la reprise de l'activité minière nationale, l'État intervient par l'achat d'une usine de concentration de minéraux allemande qu'il installe à Castrovirreyna pour favoriser la petite activité minière.
- En 1941, la Banque Minière est créée. Elle vise à offrir un crédit bon marché, opérer des usines de concentration de minéraux, établir des bureaux d'analyse et acheter des minéraux à la petite et moyenne industrie minière.
- En 1943 est créé l'Institut des Ingénieurs des Mines du Pérou, institution destinée à offrir une information technique aux professionnels miniers.
- Les entreprises minières nationales coexistent parallèlement aux entreprises étrangères, et cette coexistence est caractérisée par la spécialisation : les entreprises nationales exploitent des gisements d'or, d'argent, de plomb et de zinc, tandis que les entreprises étrangères se tournent vers le cuivre.
- On assiste aux débuts d'une agglomération productive dans la Sierra Central. Elle s'articule autour d'institutions éducatives, corporatives, gouvernementales et des entreprises de Lima. Toutefois, la prépondérance du capital étranger n'a pas permis son développement ; la *Cerro de Pasco Corporation* détenant les gisements les plus riches n'a pas cherché à établir des liens avec les fournisseurs miniers nationaux.

De 1950 à 1970

- En 1950, la promulgation du nouveau « Code de l'Activité Minière » assoit les bases du retour de la domination du capital étranger. Le nouveau code cherche à attirer l'investissement étranger pour des projets miniers de cuivre à ciel ouvert. Le système d'imposition

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

de paiement des *royalties* est remplacé par le paiement d'impôts sur le revenu généré, avec des déductions pour la dépréciation et l'épuisement des réserves. De la même manière, la stabilité fiscale est garantie pour 25 ans. Un accord est également conclu avec les États-Unis pour éviter la double imposition des entreprises américaines, et des déductions fiscales sont accordées à des projets à haut risque.

- Avec ce nouveau code, le projet de cuivre de Toquepala (*Southern Peru Copper Corporation*), considéré comme une des opérations les plus rentables du monde, et le projet de fer de Marcona (*Marcona Mining Corporation*) se développent.
- *Cerro de Pasco* augmente ses opérations et développe le gisement de cuivre à ciel ouvert de Cobriza.
- On assiste à une inflexion clairement libérale des politiques conçues dans les années 1950. D'autres mesures sont néanmoins prises, comme la promulgation de la loi de protection économique et industrielle pour garantir l'approvisionnement du marché interne affecté par la guerre mondiale. La crise de la balance des paiements de 1958 marque le point de départ de la hausse des tarifs douaniers. Le processus d'industrialisation par substitution des importations débute avec la promulgation de la loi de promotion industrielle de 1959.
- *Cerro de Pasco* investit dans des entreprises de distribution minière et de traitement de minéraux et métaux, contrôlant directement ou indirectement de 100 à 200 entreprises minières au Pérou. De cette manière, une agglomération plus large d'agents miniers se consolide dans le centre du pays. Avec l'urbanisation croissante, on assiste à l'augmentation de l'usage de produits métalliques, de connexions électriques, de réseaux téléphoniques à Lima, principal centre industriel du pays.
- D'autres entreprises minières investissent également dans des entreprises de distribution : *Mineras Buenaventura*, *Atacocha*, *Milpo*, *Rio Pallanga* sont actionnaires de l'entreprise *Explosivos S.A.*. La situation est similaire pour les entreprises *Metalúrgica Peruana*, *Refractarios Peruanos* et *Metales Industriales del Perú*.
- Par ailleurs, *Marcona* et *Southern* connaissent une forte tendance à rapatrier la majeure partie des profits qu'ils génèrent. En 1965, *Southern* dépensait seulement 9,5 % de ses bénéfices totaux en main d'œuvre locale, 10,3 % en paiement d'impôts et 5,3 % en achats de matériaux et de services locaux. Au total, seulement 20,9 % revenait au pays.

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

- Au contraire, *Cerro de Pasco* utilise 76 % de ses revenus bruts pour l'achat des *inputs* et de services locaux, répartis en main d'œuvre, achat de minerais et impôts. On peut alors parler de l'existence d'une agglomération productive autour de l'activité minière de la Sierra Central motivée par le dynamisme des petites et moyennes entreprises. Ce phénomène ne se reproduit pas pour *Southern* ni pour *Marcona*, entreprises aux opérations intensives en capital. Le secteur productif naissant est incapable de les fournir en équipements lourds.
- D'autres institutions continuent de se développer : la Société Nationale d'Activité Minière et du Pétrole, l'Institut d'Ingénieurs des Mines, l'Institut National d'Investigation et de Développement Minier (1959), la Corporation des Ingénieurs du Pérou qui crée un département d'Ingénieurs Miniers (1962), et le Ministère de l'Énergie et des Mines (1962).
- À la fin des années 1960, les marchés miniers entrent en récession. On note une absence de nouveaux projets miniers.
- Les investissements étrangers espèrent des opportunités comme celle de Toquepala mais cela ne serait pas été viable, car une opinion publique défavorable face au rôle de l'activité minière étrangère au Pérou s'est formée à cause des rapatriements des profits de *Southern Peru* et de *Marcona Mining*. En réaction, des projets tels que Anaconda (*Cerro Verde*), Quevellaco et Cuajote (*Southern*) et Michiquillay (*Asarco*) sont paralysés.
- En octobre 1968 se produit un coup d'État militaire renversant le gouvernement du président Belaúnde. Le nouveau gouvernement du général Velasco, basé sur des idées nationalistes, transforme les structures productives avec la nationalisation de *Cerro de Pasco Corporation* et *Marcona Mining Corporation*. L'entreprise publique *Minero Perú* est créée ; elle est chargée de développer les concessions non exploitées par les entreprises étrangères retournées à l'État. Un monopole pour les ventes du minerai est mis en place, et l'on décide que les grands projets devraient compter sur 25 % de participation du gouvernement.
- Une autre mesure adoptée est l'obligation d'acheter des biens et de facteurs de production locaux, via l'augmentation des tarifs douaniers et la promulgation de la Loi Générale des Industries de 1970 qui exonère ces industries d'impôts, de droits d'importation de machines, d'équipements et de matières premières. Au début des années de 1980, le

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

Pérou produit des machines de flottaison, des moulins, des perceuses pneumatiques et autres équipements, presque tous destinés à la moyenne et grande industrie minière.

- Des efforts sont également réalisés pour stimuler le développement des services miniers. Après la nationalisation de *Cerro de Pasco*, l'entreprise *Centromín Perú* créa un cabinet — Commsa — ayant pour objectif d'offrir des services d'évaluation des projets, des études techniques et économiques, des études de conception, des achats, des services comptables, de supervision, des conseils d'opérations et d'entraînement personnel.

De 1970 à 1990

- On parle d'une nouvelle agglomération, principalement dans la petite et moyenne industrie minière. Les mesures destinées à favoriser un processus de substitution d'importations et une période de prix élevés des minéraux sont adoptées et aident l'investissement des entreprises dans de nouveaux équipements ou dans leur reprise. L'Institut Géologique Minier et Métallurgique (Ingemmet) est créé pour développer la cartographie géologique, l'exploration minière, l'investigation et l'application de techniques de métallurgie et d'exploitation minière.
- Les grandes entreprises minières demeurent pourtant relativement isolées, principalement à cause de leurs caractéristiques technologiques et de leurs modalités de financement. À force de recourir au financement externe, les crédits de ces entreprises se limitent à l'acquisition de biens de capital et autres équipements, ce qui explique leur isolement.
- Les années 1980 débutent sur des déséquilibres macroéconomiques. Après presque deux décennies de substitution d'importations sans résultat dans la transformation de la structure productive, on tente de libéraliser l'économie. C'est dans ce contexte qu'arrive une période défavorable des prix des minéraux, accompagnée des désastres naturels occasionnés par le phénomène *El Niño*. On assiste à un changement dans la politique d'ouverture et d'investissements de l'État dans les industries basiques comme l'industrie minière, notamment avec la promulgation de l'autre Loi Industrielle éliminant l'exclusivité de l'État dans l'industrie basique (1981).
- Au milieu des années 1980, le gouvernement d'Alan García met en place des mesures

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

destinées à augmenter la demande interne, en augmentant les salaires, en gelant les prix et en fixant le taux de change, avec une augmentation de l'émission de monnaie. Un fort déséquilibre macroéconomique et un processus hyperinflationniste en résulte. La forte dollarisation de l'économie péruvienne empêche que le taux de change se libéralise, produisant un biais antiexportation et affectant la rentabilité des exportations. L'activité minière étant l'un des secteurs les plus affectés.

- Les petites et moyennes entreprises arrêtent d'investir et extraient des minéraux de haute concentration, affectant l'agglomération qui s'était formée autour des petites et moyennes entreprises. Les grandes entreprises ont également une stratégie dominante, leurs niveaux d'investissement diminuent. La mauvaise administration et la pénurie de crédits internationaux engendrent une perte de compétitivité. Elles surexploitent leurs gisements les plus riches, compromettant la vie à long terme de ceux-ci.
- En résumé, les années 1980 sont défavorables à l'ensemble de l'activité minière, l'investissement diminue et les mines sont surexploitées. L'activité minière fait face en outre à des conditions économiques difficiles avec une grande baisse de la demande internationale.

De 1990 à nos jours

- Le climat économique, la stabilisation économique ainsi qu'une législation favorable aux investissements étrangers permettent le redressement du secteur minier.
- En 1991 le Décret Législatif de Promotion des Investissements dans le Secteur Minier (DL 708) est approuvé, ce qui modifie une partie de la Loi Générale de l'Activité Minière, déclarant d'intérêt général la promotion des investissements dans le secteur et octroyant entre autres privilèges : la stabilité de change, fiscale et administrative ; la déduction fiscale des investissements dans les infrastructures publiques et des frais pour le bien-être des employés ; la liberté de transfert de fonds des profits ; la libre disponibilité de la monnaie étrangère ; la libre commercialisation interne et externe ; la non discrimination d'autres secteurs de l'économie et la permission de réaliser des contrats de *joint-venture*.
- Les investissements miniers engagés entre 1992 et 2007 sont estimés à 9 811,30 millions de US\$ (MEM). Ces investissements provoquent l'augmentation de la capacité productive

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

du cuivre et de l'or.

- En 1996, les investissements en ressources naturelles sont stimulés par des projets de grande envergure. Cela génère alors une vague de privatisations, le développement de nouveaux projets, l'expansion de projets déjà existants et des explorations nouvelles.
- En 1997 est décrétée la distribution du *canon minero* (DS 0411-97). On établit que l'impôt sur le revenu des titulaires des activités minières sera redistribué à hauteur de 40 % aux municipalités provinciales et aux les districts des départements compris dans les régions où se situent les concessions minières, et de 60 % aux municipalités provinciales et aux districts appartenant aux départements dans lesquels se situent ces concessions minières.
- Comme ce fut le cas un siècle auparavant, les meilleurs gisements sont acquis par des entreprises étrangères, laissant les gisements plus petits au capital national. Cela ne signifie pas nécessairement une augmentation des investissements car le développement de projets dépend d'objectifs corporatifs et du comportement des marchés mondiaux de minéraux. Les investissements en capital neuf ne connaissent pas une croissance soutenue sur le long terme, mais une croissance par à coups due à l'existence de cycles d'investissement de 10 à 15 ans s'entrecroisant avec des cycles de demande plus courts.
- La préférence donnée à l'exécution de projets d'or engendre des changements dans la localisation de l'activité minière, laquelle se situe désormais dans la montagne nord, dans les départements de La Libertad, Cajamarca et Ancash. *Antamina*, *Yanacocha*, *Retamas* et *Pierina* sont les projets les plus importants. Dans les décennies antérieures, le sud du pays concentrait les opérations minières avec *Southern Peru*, *Cerro Verde*, *Tintaya* et *Marcota* ; mais également la montagne centrale avec *Centromín*.
- Après avoir été obsolètes pendant près de dix ans, les nouvelles technologies se diffusent, mettant à disposition sur le marché de nouvelles méthodes hydro-métallurgiques comme la lixiviation, tant pour la production de cuivre que d'or. Des technologies propres et des pratiques environnementales plus strictes sont en même temps adoptées.
- L'augmentation de la production et la décentralisation des opérations ne permet pas aux entreprises nationales d'écouler leurs produits, à cause du système international de fournisseurs grâce auquel se développent les entreprises étrangères. On peut déplorer le faible niveau de connaissances qu'ont les producteurs locaux, mais aussi le fait que

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

les entreprises préfèrent importer des biens et équipements. La grande industrie minière n'entretient, par conséquent, que peu de relations productives avec les autres secteurs. Avec le temps, les entreprises qui fonctionnent depuis peu ont cependant augmenté leurs achats internes. On espère ainsi que lorsque ces entreprises fonctionneront à plein régime, leurs achats seront compris en facteurs de production, équipements et pièces d'occasion que les fournisseurs locaux pourront fournir.

- À cause de la localisation géographique des entreprises, il n'est pas possible de déterminer une agglomération importante, à l'exception du cas du sud du pays avec *Southern Peru* qui opère depuis plus de 40 ans.
- Les investissements ont engendré également des bénéfices dans des entreprises de taille moyenne comme *Milpo*, *Raura* ou *Atacocha* qui ont réussi à attirer du capital à risque national et étranger. Avec la disparition de la Banque Minière, les sources de financement pour la petite industrie minière demeurent cependant inexistantes, du fait que les banques commerciales préfèrent éviter de canaliser des fonds dans une activité à haut risque et à long terme, comme l'activité minière.
- Comme dans les périodes antérieures, l'industrie minière moyenne se concentre dans la production de plomb, d'argent et de zinc. Ces entreprises ont presque triplé leur production, l'exemple le plus notoire étant celui de *Volcan*. Le dynamisme des moyennes entreprises a permis la création de *joint ventures* entre producteurs de matériel minier et entreprises minières, ainsi que l'installation de cabinets de conseil et d'entreprises internationales d'audit.
- La législation en vigueur stimule la préparation de programmes d'impact environnemental pour les nouvelles opérations (EIA) et de programmes d'adéquation pour les opérations déjà en fonctionnement (PAMA). Ceci génère la création de cabinets d'audit environnemental qui se chargent de la surveillance et de l'évaluation des programmes environnementaux.
- Dans le cadre institutionnel, presque toutes les entités sont maintenues en fonctionnement. L'Ingemmet, destiné à des tâches principalement géologiques, laisse l'exploration à l'investissement étranger. La recherche métallurgique et d'exploitation se concentre dans les universités nationales. Le Ministère de l'Énergie et des Mines a créé une « Direction des affaires environnementales ».

- Le dynamisme du groupe industriel minier dépend fondamentalement des prix internationaux des minéraux. Face à une conjoncture de prix bas, le manque de capacité de ces entreprises à réagir entraîne des fermetures d'unités. La présence d'une industrie minière à grande échelle contrôlée par le capital étranger, son utilisation des technologies et sa localisation ne permettent pas une interaction avec l'appareil productif national.

1.3. Conflits miniers

La question socio-environnementale a été longtemps sous-estimée au Pérou. Les initiatives environnementales dans le secteur minier viennent d'abord des incitations extérieures, au travers de normes internationales. La dégradation de l'environnement causée par les mines est de plus en plus préoccupante. Cette section présente les conflits latents dans le secteur minier : conflits socio-environnementaux et conflits du travail.

1.3.1. Conflits sociaux-environnementaux

Pour traiter la question des conflits environnementaux dans le secteur minier, nous présentons tout d'abord un résumé du cadre juridique des normes principalement faites par le Ministère de l'Énergie et des Mines (MEM).

La réglementation environnementale au Pérou a officiellement commencé avec la constitution politique du Pérou de 1979, qui a établi le droit de vivre dans un environnement sain, écologiquement équilibré et adéquat au développement de la vie et à la préservation du paysage et de la nature. La Constitution de 1993 réaffirme ce droit en précisant que c'est à l'État de prendre des mesures sur l'environnement et sur les ressources naturelles.

En 1990, paraît le « code de l'environnement et des ressources naturelles ». Certains aspects environnementaux sont inclus dans la loi-cadre pour la promotion de l'investissement privé de 1991. Le ministère (MEM) détermine les réglementations environnementales dans ce secteur, en se basant sur les lois générales de l'eau et de la santé.

Le premier audit environnemental date de 1992, quand le MEM approuve le décret-loi organisant le contrôle des activités minières et énergétiques par des organismes tiers (entreprises

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

d'audit et d'inspection). De plus, des exigences environnementales sont stipulées dans la loi générale de l'activité minière.

En 1993 est créée la Direction générale des affaires environnementales du MEM, qui a pour objectif la protection de l'environnement dans les activités extractives. Pour la première fois, une réglementation environnementale concerne les activités minières et métallurgiques au Pérou. Toute nouvelle exploitation ou toute augmentation de capacité de production de plus de 50 % est soumise à une EIA (étude d'impact environnemental). Les mines déjà en exploitation doivent suivre le PAMA (programme de conformité et de gestion de l'environnement). Cela oblige les entreprises à adapter leur production aux limites maximales admissibles, dans un délai de 5 ans pour les entreprises minières et de 10 ans pour les entreprises de fonderie. De même, il est proposé aux entreprises des contrats de stabilité fiscale et administrative pour s'assurer que les niveaux maximaux admissibles ne varient pas.

En 1994 est créé le conseil national de l'environnement (CONAM) qui fixe les critères nationaux de développement et d'évaluation des EIA, l'établissement de normes de qualité environnementale et les limites maximales pour le secteur. Un aspect important pris en compte dans le code de l'environnement et des ressources naturelles est le principe de la participation des citoyens. Il vise à faire connaître les projets et leurs conséquences en termes de pollution dans les zones affectées par l'activité minière. En 1996, le code pénal prévoit pour la première fois des *délits écologiques*.

La réglementation est confiée au début des années quatre-vingt dix au MEM. Il a un double rôle : d'une part favoriser l'investissement en donnant les permis d'exploitation et d'extraction, et d'autre part fiscaliser et approuver des audits des entreprises minières. Ce double rôle a été vivement critiqué. Aujourd'hui l'indépendance dans le processus de décision et de contrôle des entreprises minières est toujours en discussion. Il faudrait une institution indépendante pour juger les problèmes environnementaux. En mai 2008 a été créé le Ministère de l'Environnement, qui a pour fonction d'évaluer, de fiscaliser et de défendre l'usage durable des ressources naturelles en limitant la dégradation environnementale. Aujourd'hui ce ministère a reçu les compétences pour intervenir dans tout les secteurs économiques, à l'exception de l'activité minière et énergétique qui restent sous la fiscalisation du MEM. Jusqu'à aujourd'hui, le Ministère de l'Énergie et des Mines a le double rôle de promouvoir l'investissement minier et de protéger les ressources naturelles.

En vertu de ce cadre juridique et institutionnel, la *Defensoria del Pueblo*, le bureau de défense

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

du citoyen, a présenté en 2007 un rapport spécial intitulé « les conflits environnementaux liés aux activités extractives au Pérou ». Ce rapport décrit les litiges les plus courantes entre les communautés et les entreprises minières pour l'accès, l'utilisation et la gestion des ressources naturelles. Les problématiques de pollution et de dégradation de l'environnement reviennent systématiquement.

En décembre 2011, la *Defensoria* a enregistré 223 conflits dont 149 sont actifs et 74 latents. La plupart des conflits se situent dans les départements de Cajamarca et Ancash, là où sont les plus grands gisements d'or et d'argent du pays (annexe B, page 221), mais également là où la malnutrition chronique est très élevée (annexe C, page 222).

Entre 2006 et 2011, la *Defensoria* a rapporté, à cause de conflits miniers, 195 morts, civils et policiers, dont 52 en 2009 dans les seuls conflits avec la communauté native de Bagua. De plus, 2 312 personnes ont été blessées (Diario La Republica, 2012).

La *Defensoria* a relevé les points communs à tous ses conflits miniers. Les entreprises concernées appartiennent au secteur formel et représentent la grande et moyenne activité minière. Les projets sont tous récents ou datent des années quatre-vingt dix. Le fait que les sociétés soient à capital national ou étranger n'est pas significatif dans les conflits. Les exploitations d'or et de zinc sont particulièrement touchées. Les zones de conflits actifs et latents sont généralement des zones rurales où la touche 84 % de la population. Les principales causes de conflits sont : le risque de contamination des sols, les décisions judiciaires ou administratives (frontières, limites et allocation des terres), les accords non suivis, la propriété et l'accès aux ressources (Defensoria del Pueblo, 2007).

L'arrivée de l'exploitation minière dans les territoires des communautés et des peuples indigènes a suscité des espoirs pour l'amélioration du niveau de vie de ses habitants. Au départ, ils n'ont pas hésité à soutenir l'activité minière et même à abandonner leurs terres. Mais très rapidement, ils ont été déçus par les effets nocifs de l'activité minière. Leurs terres agricoles ou d'élevage ont été touchées par la pollution et le manque d'accès à l'eau. En outre, le manque d'emplois promis, l'acquisition de fournitures et des matières à l'extérieur de la ville minière et l'augmentation du coût de la vie n'ont pas contribué pas au développement de la zone minière.

Le mécanisme de résolution des conflits est fondé sur le dialogue et les accords entre les communautés affectées, les entreprises et le gouvernement. Cependant, les questions de l'application de ces accords et des négociations futures des conflits actifs ou latents reste entière.

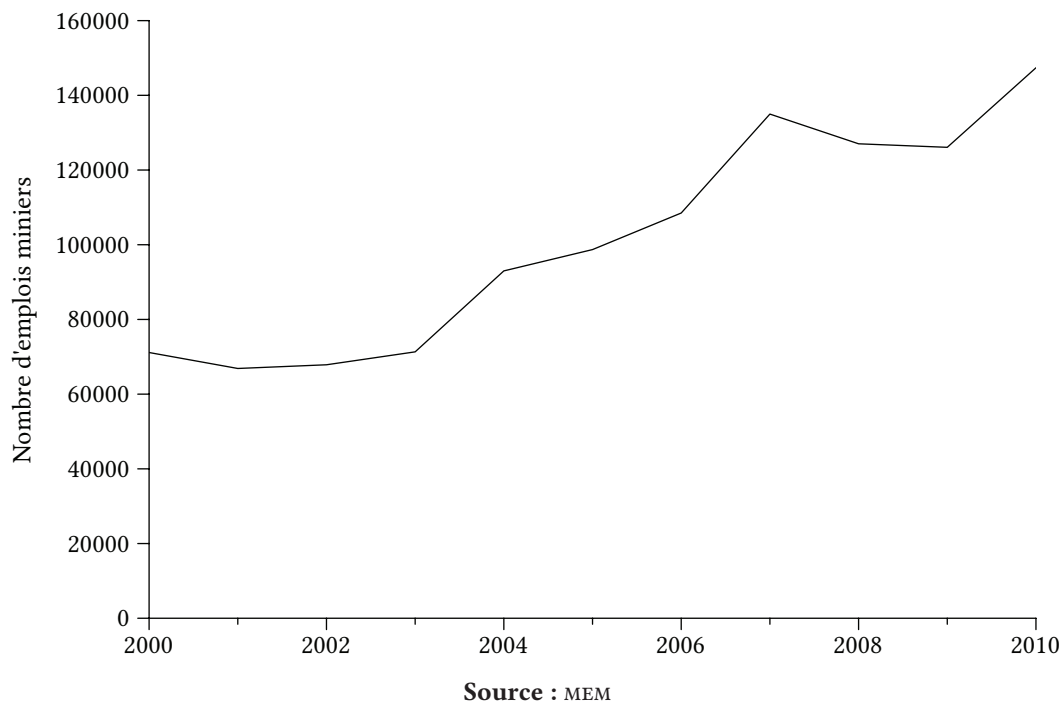
1. Panorama de l'activité minière péruvienne

Ces conflits reflètent le climat social opposé à l'exploitation minière au Pérou et l'échec de plusieurs gouvernements à faire face à ces problèmes d'exploitation des ressources naturelles.

1.3.2. Conflits du travail

L'activité minière pose des problèmes environnementaux, mais elle en pose également au niveau de l'emploi. L'emploi minier a augmenté mais sans que soit améliorées les conditions de travail. L'insuffisance de travail « dans des conditions acceptables » touche tous les secteurs de l'économie péruvienne, y compris l'exploitation minière (A. Mendoza, 2007). Le graphique 1.4 montre l'évolution de l'emploi minier ces dix dernières années.

GRAPHIQUE 1.4 Évolution de l'emploi minier



À la suite des politiques de privatisation et de liquidation des entreprises publiques dans les années quatre-vingt dix, l'emploi du secteur minier a traversé différentes étapes. D'abord l'emploi a diminué, puis dans une deuxième phase, à partir de 2003, il a augmenté. Mais cet accroissement a surtout concerné les entreprises de sous-traitance, les « services », faisant travailler des employés temporaires, non syndiqués, dans des conditions défavorables pour les travailleurs en ce qui concerne les salaires, la sécurité de l'emploi, les droits de l'emploi et des avantages

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

(tableau 1.2). Les travailleurs de la sous-traitance ont moins d'avantages que les employés directs ; ils ont moins de protection sociale et aucun recours face aux licenciements arbitraires, aucune participation aux résultats de l'entreprise, ni de prime de fin d'année ou de bonus supplémentaire.

TABLEAU 1.2. Évolution de l'emploi minier par catégorie

Année	Emploi minier	Emploi direct		Entreprises de sous-traitance	
		Employés	% de l'emploi total	Employés	% de l'emploi total
2000	71 144	29 433	41	41 711	59
2001	66 873	33 643	50	33 230	50
2002	67 861	32 857	48	35 004	52
2003	71 322	34 164	48	37 158	52
2004	92 995	36 503	39	56 492	61
2005	98 705	37 839	38	60 866	62
2006	108 495	40 633	37	67 862	63
2007	134 981	54 613	40	80 368	60
2008	127 024	60 781	48	66 243	52
2009	126 082	58 986	47	67 096	53
2010	147 374	56 944	39	90 430	61

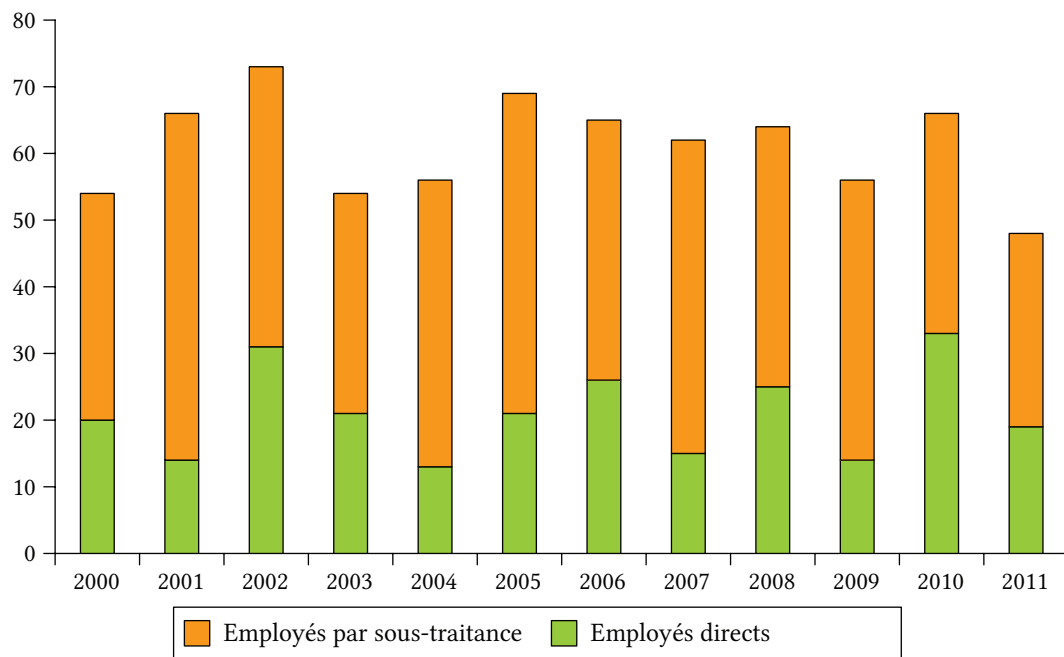
Source : MEM

La distribution de l'emploi minier montre que son expansion est fondée sur le travail par sous-traitance. Cette structure de l'emploi a des aspects discutables, tant du point de vue juridique qu'humain. Il est de plus en plus évident que le modèle de l'intermédiation dans l'emploi minier atteint ses limites. Il est urgent de mettre en place un nouveau régime de travail, plus équilibré et garantissant les droits universels, comme la journée de huit heures ou la rémunération des heures supplémentaires.

Cette situation de conflits de travail apparaît accentuée au regard des statistiques des accidents mortels du secteur. Le nombre des morts reste constant ces dernières années, mais concerne essentiellement les travailleurs des entreprises de sous-traitance (graphique 1.5).

1. Panorama de l'activité minière péruvienne

GRAPHIQUE 1.5 Évolution des accidents fatals dans le secteur minier



Source : MEM

Les tensions et les conflits sur l'utilisation et l'abus des ressources naturelles ont été centrés sur les ressources naturelles et l'exploitation minière. Encore une fois, les considérations humaines arrivent en dernier. Si nous focalisons la discussion sur le développement humain pour trouver des solutions, nous voyons que l'équité sociale est inséparable de la durabilité (Gonzales de Olarte, 2012).

2. Le paradoxe du sous-développement et de l'abondance des ressources naturelles

Il est important de remarquer que le syndrome hollandais et la malédiction des ressources naturelles sont deux notions distinctes que l'on considère, à tort, comme interchangeables, en prenant la malédiction pour un syndrome hollandais aggravé. Ce chapitre souligne la différence en se focalisant sur la malédiction des ressources naturelles au Pérou. Nous chercherons à déterminer l'effet de l'abondance des ressources naturelles sur la croissance économique du pays.

La relation entre abondance des ressources naturelles et croissance économique prend tout son sens après l'expérience des pays de l'OPEP, lesquels ont connu des taux de croissance négatifs malgré leur manne pétrolière. Sachs et Warner (1995) sont les premiers à présenter des preuves empiriques de ce paradoxe.

La majeure partie des études de la relation entre la croissance économique et l'abondance des ressources naturelles ont été réalisées avec des bases de données transversales sur des échantillons de plusieurs pays. Dans cette section nous présentons une première approximation d'un modèle de croissance économique à partir d'une base de données de séries temporelles dans le cas péruvien.

Nous partons d'une analyse de causalité entre l'abondance des ressources naturelles, la dépendance des ressources naturelles et la croissance économique. Par la suite, les indicateurs des avantages comparatifs révélés nous amènent à constater l'existence du syndrome hollandais au Pérou. Enfin nous montrons un modèle de croissance tenant compte du rôle des ressources naturelles sur la période 1960–2007.

2.1. Syndrome hollandais

Le syndrome hollandais n'est qu'une description des causes et des effets sectoriels d'un boom dans l'exploitation des ressources naturelles. Ce syndrome peut se manifester dans trois cas : la hausse des prix du principal produit d'exportation, la découverte d'un nouveau gisement, et son exploitation. L'arrivée massive de devises conduit à une appréciation des termes de l'échange et à une perte de compétitivité des secteurs dirigés vers l'exportation, ce qui se ressent tout particulièrement dans l'industrie. Les ressources migrent alors vers le secteur en plein boom, réduisant les fonds des secteurs à plus grande valeur ajoutée.

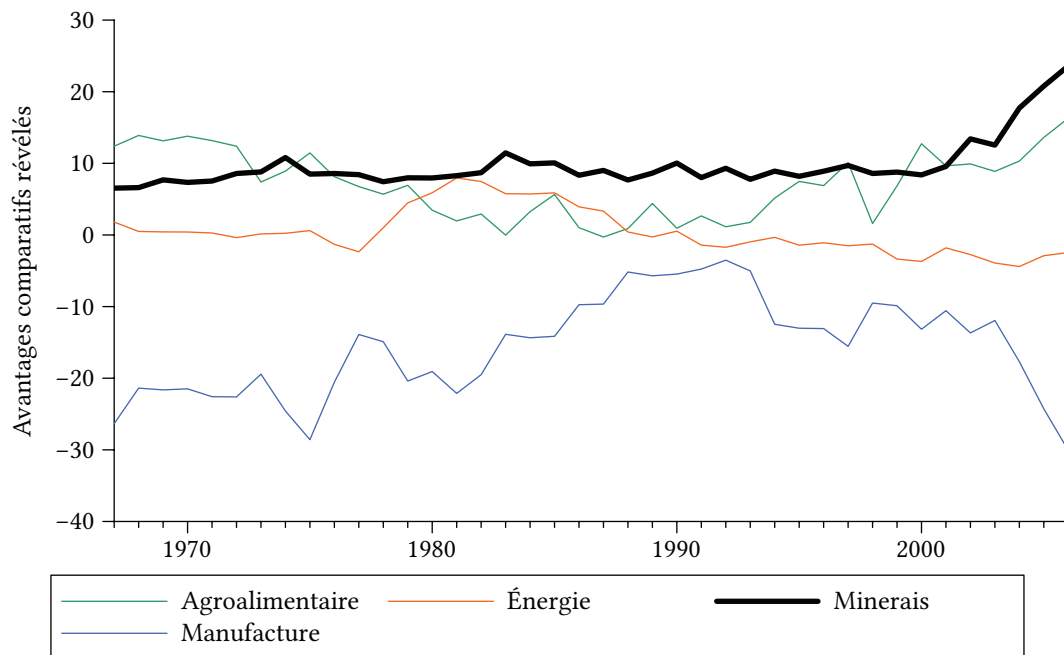
Dans le modèle de base, le secteur minier se développe tandis que l'industrie et l'agriculture se contractent. À moyen terme, le syndrome hollandais engendre la désindustrialisation de l'économie. Le problème essentiel du syndrome hollandais est le réajustement des ressources, généralement au détriment de l'industrie (Corden, 1984). La pression politique exercée par le secteur en perte de vitesse pousse les gouvernements à intervenir (Roemer, 1983). Par contre, si le boom minier dure suffisamment longtemps, le syndrome hollandais ne fait que traduire la transformation de l'économie d'un équilibre à long terme à un autre (G. A. Davis, 1995).

Sur la période 1967–2005, l'étude de l'économie péruvienne nous fait constater l'existence d'un syndrome hollandais. Nous utiliserons pour notre analyse l'indicateur des avantages comparatifs révélés (annexe D, page 223) qui mesure le degré de spécialisation d'un secteur en fonction de ses flux commerciaux. Il convient de noter que les activités économiques ne sont pas indépendantes des politiques et des institutions qui les dirigent. De plus, l'échelle de l'activité économique n'est pas seulement déterminante pour les politiques sectorielles, elle l'est aussi pour les avantages comparatifs des secteurs non intensifs en ressources naturelles (Clarida et Findlay, 1992).

Le graphique 2.1 présente les indicateurs des avantages comparatifs révélés pour l'économie péruvienne et mettent en évidence un syndrome hollandais pour la période 1967–2005.

2. Le paradoxe du sous-développement et de l'abondance des ressources naturelles

GRAPHIQUE 2.1 Le syndrome hollandais au Pérou sur la période 1967-2005



Source : Base des données CHELEM-CEPII

De cette analyse il ressort en premier lieu que, ces quarante dernières années, le Pérou a main-

2. *Le paradoxe du sous-développement et de l'abondance des ressources naturelles*

tenu une spécialisation minière et a connu une détérioration tendancielle de sa production industrielle. Comme le montre le graphique 2.1, les tentatives de remise à flot du secteur industriel se heurtent à des niveaux d'avantages comparatifs toujours négatifs, autrement dit, l'industrie souffre d'un désavantage comparatif par rapport aux autres secteurs économiques. Malgré un processus d'ouverture, le faible attrait des investissements dans l'industrie ne permet pas au Pérou de s'industrialiser ni de faire face à la concurrence mondiale.

Les années 1990 sont marquées par la privatisation des industries minières, l'attrait des investissements dans le secteur minier et l'ouverture d'une économie en crise. Ce contexte est favorable à l'actuel boom minier péruvien, favorisé par la hausse continue des prix des métaux. Nous pouvons affirmer que tandis que l'activité minière se développe, l'industrie manufacturière disparaît. Une autre conséquence importante est la baisse des termes de l'échange.

Le redressement du secteur agroalimentaire à partir des années 1990 s'explique par la vision agro-exportatrice due aux programmes « exporter ou mourir »¹. L'agro-exportation non traditionnelle demeure néanmoins peu représentative. Sur la période 1990–2007, elle concerne en moyenne 5,5 %² des exportations totales.

Il existe plusieurs exemples d'autres économies minières ayant connu une forme de syndrome hollandais (Auty, 1993 ; Gelb, 1988), notamment l'Australie. Ce syndrome ne constitue cependant pas un indicateur de bien-être mais d'ajustement structurel. Le syndrome hollandais fournit seulement une explication partielle de la croissance des pays miniers et recommande d'examiner d'autres facteurs inhérents à l'abondance des minéraux (Mikesell, 1997).

2.2. **Malédiction des ressources naturelles — *resource curse***

La thèse de la malédiction des ressources naturelles sous-entend un boom minier qui génère des pertes économiques nettes, c'est-à-dire des effets négatifs sur la croissance économique.

Il existe cinq mécanismes qui expliqueraient ces effets. Premièrement, G. A. Davis (1995) soutient que la désindustrialisation inhérente au syndrome hollandais est inhibitrice de croissance ; on a pensé que la réponse était donc de subventionner le secteur industriel. Mais au

¹Schuldt, 2005.

²BCR, Pérou.

2. Le paradoxe du sous-développement et de l'abondance des ressources naturelles

final, cela entraîne une perte de compétitivité qui accentue la désindustrialisation et renforce l'économie minière.

Le second mécanisme repose sur l'idée que le syndrome hollandais affaiblit l'économie. Au niveau microéconomique, le secteur industriel (cadres supérieurs et employés) peut associer sa perte de compétitivité au boom minier qui bénéficie à l'économie dans son ensemble. À ce sujet, Krugman (1987) note que les chefs d'entreprises sont plus alarmistes dans leurs prévisions que les économistes.

Auty (1993) mentionne comme troisième mécanisme le fait que les économies minières ayant d'autres secteurs exportateurs appauvris souffriront davantage des chocs externes. L'auteur prévient que les économies minières, optimistes quant à leurs profits miniers, suivent un modèle de diversification tardive qui empêche la croissance à long terme.

Gelb (1985) souligne comme quatrième mécanisme qu'un boom pousse les gouvernements à trop d'optimisme quant à leurs futurs profits miniers, ce qui les incite à s'endetter en prévision d'un autre boom qui, s'il ne se réalise pas, engendre alors une récession.

Enfin, le cinquième mécanisme correspond au fait que les gouvernements tendent à garder un fort pourcentage des profits miniers. Dans les périodes de boom, ils s'habituent aux profits extraordinaires et recherchent des rentes³ (*rent-seeking*) au lieu de fournir des services sociaux, réduisant ainsi la transparence et détériorant de fait la gouvernabilité (Auty, 2001).

On trouve divers travaux (Bravo-Ortega et De Gregorio, 2005 ; Gylfason, 2001a ; Hodler, 2006 ; Leite et Weidmann, 1999 ; Sachs et Warner, 1995 ; Torvik, 2002) sur les mécanismes inhibant la croissance, lesquels relient les ressources naturelles et la croissance et mettent l'accent sur la malédiction des ressources naturelles. Ces travaux soulignent que l'abondance des ressources naturelles a généralement un effet défavorable sur la croissance économique.

Dans l'étude de la malédiction des ressources naturelles, il est important de différencier les concepts suivants : l'abondance des ressources naturelles (stock *in situ* des ressources), les rentes des ressources (profits dérivés de l'exploitation des ressources) et la dépendance des ressources naturelles (mesure de l'existence d'autres sources de revenus pour le pays). Ces concepts sont liés dans les pays où des stocks importants de ressources naturelles génèrent des profits extraordinaires, et qui, par le processus du syndrome hollandais, finissent par se

³Gelb, 1988 ; Krueger, 1974.

2. Le paradoxe du sous-développement et de l'abondance des ressources naturelles

spécialiser dans des exportations de biens primaires dépendant de leurs ressources naturelles.

C'est à partir des travaux de Sachs et Warner (1995) que la malédiction des ressources prend son ampleur. Les auteurs définissent la *resource curse* comme le comportement d'économies riches en ressources naturelles qui ont tendance à croître moins rapidement que des économies pauvres en ressources naturelles. Ils établissent une relation négative entre abondance des ressources naturelles et croissance économique en se basant sur des données de *panel* de 69 pays.

La validité de cette hypothèse est cependant contestée (Brunnschweiler, 2008 ; G. A. Davis, 1995 ; Wright et Czelusta, 2003). Brunnschweiler (2008) met en cause l'inadéquation de l'indicateur d'abondance de ressources (taux des exportations primaires sur le PIB au début de la période d'observation) utilisé par Sachs et Warner (2001), et ce pour deux raisons : tout d'abord, Sachs et Warner (2001) font l'hypothèse d'une corrélation positive entre le taux d'exportations primaires et l'abondance de ressources naturelles. Or, le taux d'exportations primaires est un indicateur important de la spécialisation d'une économie, et la faible croissance de certains pays ayant un taux d'exportations primaires important peut s'expliquer en grande partie par les politiques économiques de dépendance vis-à-vis des ressources naturelles plutôt que par la malédiction des ressources naturelles. Ensuite, les exportations primaires sont des variables hautement volatiles. Il est donc recommandé d'utiliser la moyenne sur la période considérée plutôt que la moyenne du début de la période (Lederman et Maloney, 2003).

Neumayer (2004) introduit une variante sur le thème de la malédiction des ressources naturelles. Il continue d'utiliser l'indicateur de Sachs et Warner des exportations mais il prend comme indicateur de croissance le *genuine income* (PIB moins la dépréciation du capital naturel) qu'il considère comme une variable dépendante ; il arrive alors à une relation négative.

Diverses variantes empiriques mettent en doute l'hypothèse de la malédiction des ressources. Ces travaux utilisent plusieurs indicateurs d'abondance des ressources naturelles. Lederman et Maloney (2003) suggèrent que l'effet des ressources naturelles sur la croissance économique dépend de l'intervalle de temps considéré. Les auteurs rendent compte d'une relation positive entre croissance économique et taux d'exportations primaires sur total des exportations. G. A. Davis (1995) utilise le taux d'exportations minières sur le total des exportations comme approximation des ressources naturelles et arrive à une relation positive avec la croissance économique. G. Atkinson et Hamilton (2003) utilisent le ratio de la rente de la ressource sur le PIB et trouvent des effets positifs et négatifs. De son côté Stijns (2006) suggère l'utilisation de

2. *Le paradoxe du sous-développement et de l'abondance des ressources naturelles*

données sur la rente de la ressource *per capita*, suggérant ainsi que les ressources naturelles affectent la croissance par des canaux positifs et négatifs.

Brunnschweiler et Bulte (2006) ont fortement critiqué le paradoxe de la malédiction des ressources naturelles défendu par Sachs et Warner en déclarant qu'il s'agissait en réalité d'une fausse piste destinée à dévier l'attention des vrais problèmes en matière de développement. Ils soutiennent que les indicateurs utilisés pour mesurer l'abondance des ressources naturelles mesurent davantage la dépendance envers les ressources naturelles que le développement.

Après de nombreuses estimations, Brunnschweiler et Bulte (2006) arrivent à deux conclusions principales : premièrement l'abondance des ressources et les institutions déterminent la dépendance des ressources et cette dépendance n'affecte pas la croissance. Deuxièmement, l'abondance des ressources naturelles affecte positivement la croissance et la qualité institutionnelle. Gelb et Grasmann (2008) affirment en outre que des pays à fort capital humain et ayant des institutions fortes seront capables de tirer profit de leurs richesses naturelles, et citent le cas de l'Australie.

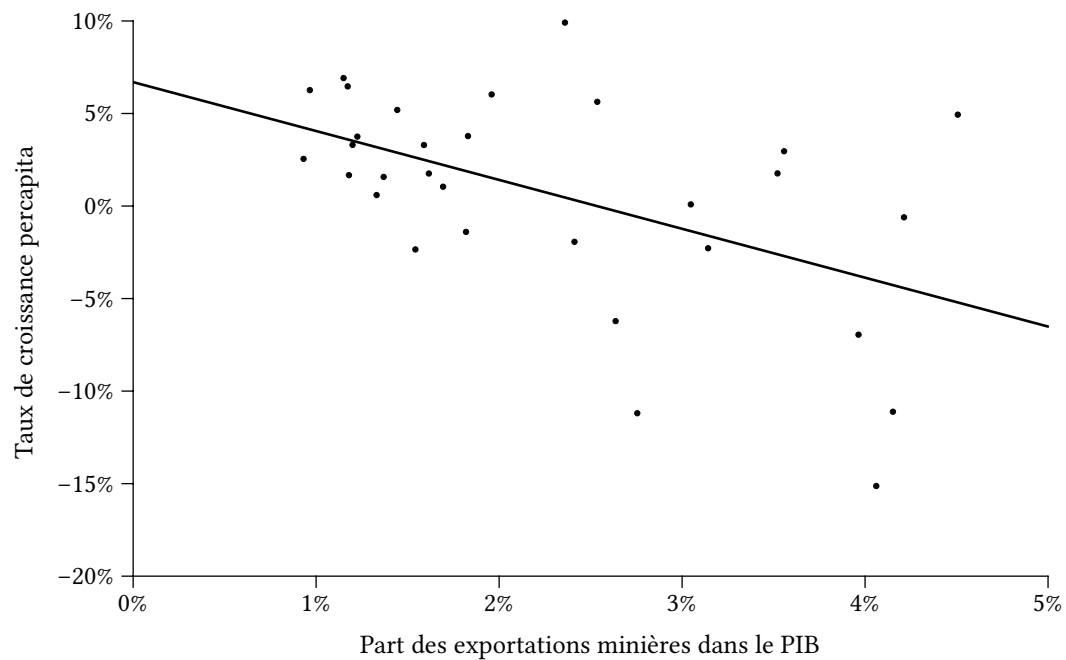
2.3. Modélisation de la *resource curse* au Pérou

Dans l'objectif de déterminer l'effet de l'abondance de ressources naturelles sur la croissance économique du Pérou, nous évaluons en premier lieu l'indicateur « abondance des ressources naturelles » utilisé dans les travaux de Sachs et Warner (2001).

Dans le cas péruvien, sur la période 1960–1990, période analysée par Sachs et Warner (2001), il existe une relation négative entre le taux d'exportations minières sur le PIB, indicateur d'abondance selon Sachs et Warner (2001), et la croissance économique. Toutefois, en élargissant la période considérée jusqu'à 2007, la relation tend à devenir positive (graphiques 2.2 et 2.3). L'argument de Lederman et Maloney (2003) se vérifie alors dans le cas du Pérou. Ce changement dans le temps montre que l'hypothèse de la malédiction des ressources naturelles est conjoncturelle et typique de la période considérée par Sachs et Warner (2001). Si l'on ajoute à cela les idées actuelles de Brunnschweiler et Bulte (2006), on voit que le taux d'exportations sur le PIB n'est pas le meilleur indicateur de l'abondance de ressources.

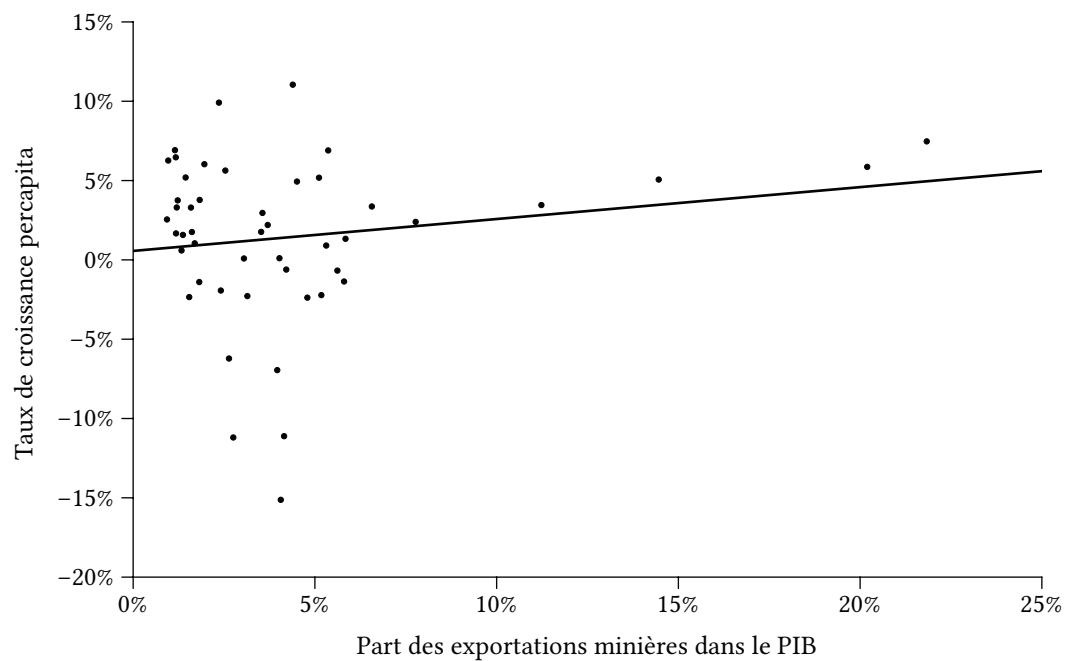
2. Le paradoxe du sous-développement et de l'abondance des ressources naturelles

GRAPHIQUE 2.2 Croissance économique et indicateur d'abondance des ressources naturelles selon Sachs et Warner sur la période 1960–1990



Source : auteur

GRAPHIQUE 2.3 Croissance économique et indicateur d'abondance des ressources naturelles selon Sachs et Warner sur la période 1960–2007



Source : auteur

2. Le paradoxe du sous-développement et de l'abondance des ressources naturelles

En suivant G. A. Davis (1995), nous utilisons le taux d'exportations minières sur le total des exportations comme approximation de l'abondance des ressources naturelles (ARN_t). En prenant en compte le fait que la consommation interne de minerais est presque inexistante et que l'activité extractive péruvienne est destinée à l'exportation, il convient de noter que l'indicateur ARN_t est la meilleure approximation disponible d'un indicateur de stock de ressources naturelles.

Afin d'élaborer l'indicateur de dépendance des ressources naturelles, nous pondérons l'indicateur d'abondance des ressources naturelles par la création de richesse des ressources naturelles en prenant le produit du ratio des exportations minières sur le total des exportations et du ratio de la production minière et des hydrocarbures sur le PIB. Notre objectif est de mesurer la part de l'abondance des ressources naturelles dans l'économie péruvienne. Il n'existe actuellement pas de consensus autour de la définition de l'indicateur de dépendance minière. L'OCDE utilise par exemple le ratio des exportations sur le PIB⁴.

Après avoir défini les variables d'abondance des ressources naturelles ARN_t et de dépendance des ressources naturelles $MinDepen_t$, nous conservons les deux indicateurs⁵. Ceci est cohérent avec le test de causalité Granger qui montre qu'il n'existe pas de relation de causalité entre les deux variables. Par contre, les tests de causalité Granger montrent une relation de causalité entre l'abondance des ressources naturelles et la croissance économique, et entre la dépendance des ressources naturelles et la croissance (annexe E, page 224).

Nous pouvons alors grâce à ces variables définir le modèle de croissance avec abondance de ressources naturelles dans le cas péruvien selon l'équation suivante :

ÉQUATION 2.1. Modèle de croissance avec abondance de ressources naturelles

$$\log(PIB_t) = \alpha_0 + \alpha_1 ARN_t + \alpha_2 MinDepen_t + \vec{\alpha}_3 \cdot \vec{Z}_t + \epsilon_t \quad (2.1)$$

$\log(PIB_t)$ représente la croissance moyenne *per capita* pour l'année t , le terme ARN_t l'indicateur d'abondance des ressources naturelles, $MinDepen_t$ l'indice de dépendance des ressources naturelles⁶, $\vec{Z}_t$ un vecteur d'autres variables explicatives de la croissance et ϵ_t l'erreur résiduelle. Enfin, α_i représentent les coefficients estimés.

⁴Forum Global des Investissements Internationaux, Paris, février 2002.

⁵Le coefficient de corrélation entre ARN et $MinDepen$ est de 0,66.

⁶Auty, 1993 ; G. A. Davis, 1995.

2. Le paradoxe du sous-développement et de l'abondance des ressources naturelles

Dans la collecte de données, nous pouvons différencier deux périodes : de 1960 à 2007 et de 1995 à 2007. Le tableau 2.1 décrit les données pour chaque variable identifiée.

TABLEAU 2.1. Variables et sources de la *resource curse* au Pérou

Variable	Définition	Source	Période
LOGGDP	Logarithme du PIB <i>per capita</i> US\$ 1994.	INEI et BCR Pérou	1960–2007
ARN	Abondance des ressources naturelles : ratio des exportations minières sur le total des exportations.	BCR, SUNAT et entreprises.	1960–2007
MINDEPEN	Dépendance aux ressources naturelles : produit du ratio des exportations minières sur les exportations totales et du ratio de la production minière et des hydrocarbures sur le PIB.	INEI et BCR Pérou	1960–2007
TERMSTRADE	Termes de l'échange : relation entre les prix des exportations et des importations.	BCR, SUNAT, <i>Zofratacna</i> , <i>Banco de la Nación</i> et entreprises	1960–2007
OPENESS	Ouverture économique : valeur FOB des exportations et importations en millions de US\$.	BCR, SUNAT et entreprises.	1960–2007
INVEST	Investissement en pourcentage du PIB.	BCR	1960–2007
ILLITERACY	Population analphabète en nombre d'habitants.	INEI	1960–2007
FDI	Investissement direct étranger en millions de US\$.	<i>ProInversión</i> : Agence de promotion de l'investissement privé.	1995–2007
SECONENROLL	Taux net de scolarisation secondaire	Ministère d'Éducation du Pérou.	1995–2007
EDUCATION	Dépenses publiques en éducation en % PIB.	Ministère d'Éducation du Pérou.	1995–2007
HDI	Tendances de l'index du développement humain	Banque Mondiale	1995–2007
RESERVES	Réserves internationales nettes en millions de US\$.	BCR	1960–2007
GINI	Coefficient de Gini.	INEI	1960–2007
GOVEFFECTIV	Index de <i>gouvernance effective</i> . Unité : –2,5 mauvaise gouvernance, 0 moyenne, 2,5 bonne gouvernance.	Banque Mondiale	1995–2007
CORRUPTION	Index de perception de la corruption.	ONG Transparency International	1995–2007

Note : les variables indiquées par une police à chasse fixe (VARIABLE) proviennent du logiciel Eviews.

Source : auteur

2. Le paradoxe du sous-développement et de l'abondance des ressources naturelles

TABLEAU 2.1. Variables et sources de la *resource curse* au Pérou (*suite*)

Variable	Définition	Source	Période
-C	Indique que la variable a été ajustée par la statistique de Durbin-Watson pour corriger l'autocorrélation.		

Note : les variables indiquées par une police à chasse fixe (VARIABLE) proviennent du logiciel Eviews.

Source : auteur

2.4. La *resource curse* au Pérou

Nous avons décidé d'analyser la période plus vaste 1960–2007, selon le modèle décrit ci-dessus (équation 2.1). Nous avons essayé différents modèles, dont les résultats figurent dans le tableau 2.2.

Notre première tentative, le modèle I, utilise l'ensemble des variables dont nous disposons et donnait une bonne corrélation. Malheureusement, il présentait des signes d'autocorrélation liée aux séries temporelles. Pour pallier à cela, notre modèle II élimine quelques variables peu significatives. Le problème subsistant, les modèles III à V utilisent les premières différences. Finalement, nous avons arrêté notre choix sur le modèle VI, qui utilise des variables corrigées par l'indicateur de Durbin-Watson⁷.

Nous n'avons pas réussi à éliminer l'autocorrélation, mais tous nos modèles fournissent une relation positive entre l'abondance des ressources minières ARN et la croissance économique LOGGDP, ainsi qu'une relation négative entre la dépendance aux ressources naturelles MINDEPEN et la croissance économique LOGGDP.

Pour le vecteur $\vec{Z}_t$, les variables retenues sont les suivantes : termes de l'échange, ouverture économique, investissement et éducation.

⁷DW = 1,032 et $p = 0,484$. Nous estimons les variables corrigées $Y^* = Y_t - pY_{t-1}$.

2. Le paradoxe du sous-développement et de l'abondance des ressources naturelles

TABLEAU 2.2. Différents modèles de la *resource curse*

Variable dépendante LOGGDP			Variable dépendante D(LOGGDP)			Variable dépendante LOGGDP		
Variables	I	II	Variables	III	IV	V	Variables corrigées	VI
C	5,916 (0,00)	4,658 (0,00)	C	$5,08 \times 10^{-4}$ (0,93)	$6,18 \times 10^{-3}$ (0,03)	$-4,77 \times 10^{-4}$ (0,93)	C	$-1,64 \times 10^{-3}$ (0,71)
ARN	0,307 (0,03)	0,229 (0,17)	D(ARN)	0,195 (0,04)	0,202 (0,02)	0,208 (0,02)	ARNC	0,170 (0,03)
MINDEPEN	-6,940 (0,00)	-6,346 (0,04)	D(MINDEPEN)	-7,514 (0,00)	-7,603 (0,00)	-7,643 (0,00)	MINDEPENC	-6,581 (0,00)
GOLD	$-4,84 \times 10^{-9}$ (0,05)	$-5,26 \times 10^{-9}$ (0,03)	D(GOLD)	$1,50 \times 10^{-9}$ (0,32)	$3,02 \times 10^{-9}$ (0,02)			
INVEST(-1)	$-1,72 \times 10^{-3}$ (0,23)	$-2,24 \times 10^{-4}$ (0,90)	D(INVEST(-1))	$-1,37 \times 10^{-4}$ (0,90)		$-2,39 \times 10^{-4}$ (0,83)	INVESTC	$-4,00 \times 10^{-4}$ (0,70)
OPENESS	$3,37 \times 10^{-7}$ (0,90)	$5,75 \times 10^{-7}$ (0,63)	D(OPENESS)	$1,64 \times 10^{-6}$ (0,32)		$1,95 \times 10^{-6}$ (0,23)	OPENESSC	$2,82 \times 10^{-6}$ $1,47 \times 10^{-1}$
RESERVES	$3,59 \times 10^{-6}$ (0,33)							
TERMSTRADE	$4,54 \times 10^{-4}$ (0,25)	$1,94 \times 10^{-3}$ (0,00)	D(TERMSTRADE)	$1,88 \times 10^{-4}$ (0,43)		$2,53 \times 10^{-4}$ (0,28)	TERMSTRADDEC	$1,10 \times 10^{-4}$ (0,57)
GINI	-0,298 (0,12)							
ILLITERACY	$-5,29 \times 10^{-7}$ (0,00)	$-3,62 \times 10^{-7}$ (0,05)	D(ILLITERACY)	$-9,86 \times 10^{-8}$ (0,48)		$-1,30 \times 10^{-7}$ (0,34)	ILLITERACYC	$-1,43 \times 10^{-7}$ (0,39)
LABORMIN	$3,35 \times 10^{-4}$ (0,00)							
POPULATION	$-4,29 \times 10^{-8}$ (0,01)	$-1,88 \times 10^{-8}$ (0,24)						
R^2	0,830	0,671	R^2	0,456	0,392	0,442	R^2	0,457
Test de Fisher	0,000	0,000	Test de Fisher	$9,04 \times 10^{-4}$	$7,80 \times 10^{-5}$	$5,59 \times 10^{-4}$	Test de Fisher	$4,51 \times 10^{-4}$
Durbin-Watson	1,158	0,977	Durbin-Watson	1,003	1,023	1,032	Durbin-Watson	1,649
Échantillon	47	47	Échantillon	46	46	46	Échantillon	45

Source : auteur

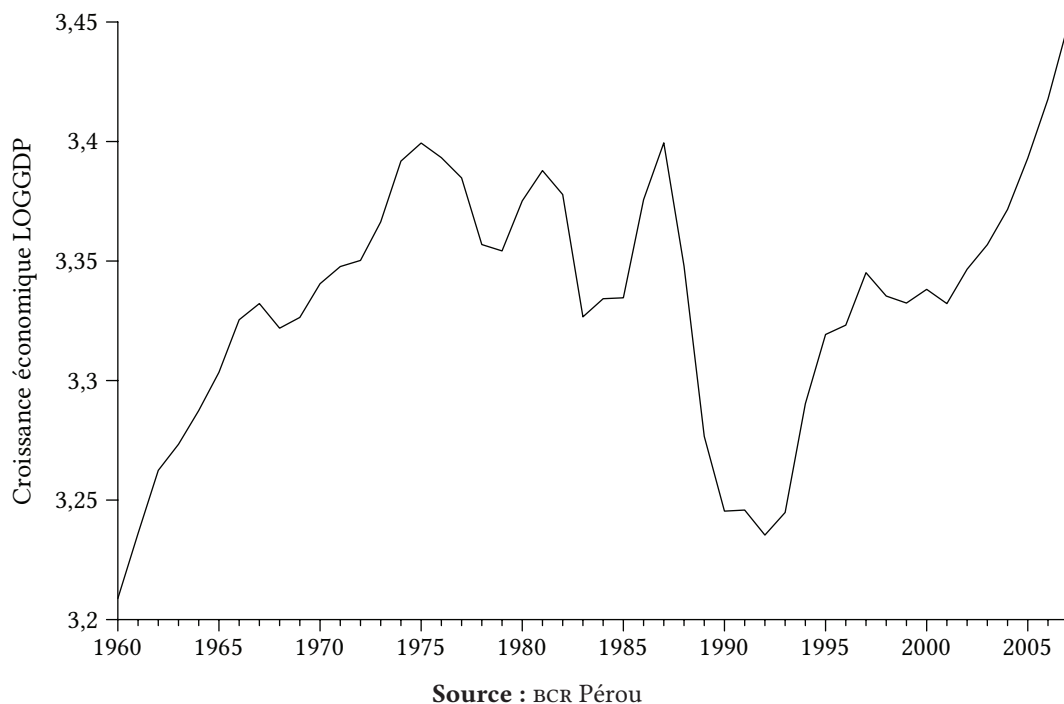
2. Le paradoxe du sous-développement et de l'abondance des ressources naturelles

Le modèle montre une relation positive entre l'abondance de ressources minières au Pérou et la croissance économique, écartant ainsi l'hypothèse d'une malédiction des ressources naturelles. Le Pérou n'est pas condamné par ses richesses minières. Les résultats nous permettent d'affirmer que l'abondance des ressources minières représentée par la part des exportations minières dans les exportations totales (ARN_t) a un impact positif sur la croissance économique péruvienne à long terme, écartant ainsi l'idée d'un péché originel dû à la richesse minière du pays.

Il existe cependant une relation négative à long terme entre la dépendance des ressources naturelles ($MinDepen_t$) et la croissance économique. On remarque aussi, avec les paramètres des coefficients de ARN_t et $MinDepen_t$, qu'une variation de la dépendance minière aurait un impact négatif plus important que l'effet positif de l'abondance des ressources naturelles. Il en découle que la dépendance à l'activité extractive a un impact négatif sur la croissance. Ceci nous indique la nécessité, pour le Pérou, de diversifier la production vers d'autres secteurs économiques.

L'analyse de la croissance péruvienne demande de corriger les données en utilisant des variables conjecturelles, pour éliminer l'impact du *shock* de 1990, montré par le graphique 2.4. Il faudrait utiliser un modèle à deux périodes.

GRAPHIQUE 2.4 Croissance économique péruvienne sur la période 1960–2007



2. Le paradoxe du sous-développement et de l'abondance des ressources naturelles

Selon Gelb et Grasmann (2008), la diversification de l'économie requiert une combinaison de trois politiques : un niveau raisonnable de stabilité macroéconomique, une politique d'ouverture commerciale et un usage actif des rentes des ressources. Il faut augmenter la productivité des autres secteurs exportateurs via la réduction des coûts de production, la construction d'infrastructures de base, les subventions temporaires ou d'autres méthodes. Gelb et Grasmann (2008) citent le cas de cinq pays dépendants de leurs ressources naturelles — la Malaisie, la Thaïlande, le Chili, l'Indonésie et le Sri Lanka — qui ont pourtant réussi une diversification.

Conclusion

Le Pérou est l'exemple typique d'un pays qui croît grâce à l'abondance de ses dotations minières. Néanmoins, l'impact positif de l'abondance de ses ressources naturelles est contrecarré par la dépendance envers ses ressources minières. Sachant que le Pérou connaît une situation de syndrome hollandais qui encourage l'extraction minière sans pour autant favoriser le développement d'autres activités ou d'autres sources de capital, cet effet positif de l'abondance pourrait ne pas durer.

Par manque de données, ce travail ne prend pas en compte l'impact de variables institutionnelles considérées comme propices au développement en cas d'abondance de ressources naturelles. Il serait intéressant d'inclure des indicateurs de gouvernabilité. Selon Brunnschweiler (2008) ; Mehlum, Moene et Torvik (2005), l'impact des institutions comme facteur de croissance dans les pays riches en ressources naturelles a un caractère endogène. La question de l'effet de l'abondance des ressources naturelles sur la croissance n'a pas de réponse consensuelle.

Malgré les limitations de notre modèle, il souligne la relation entre l'abondance des ressources naturelles et la croissance économique. Les résultats nous montrent que l'abondance des ressources naturelles a un effet générateur de croissance économique, c'est-à-dire que l'on peut effectivement profiter de ces ressources naturelles. Mais à quel prix ?

Pour mesurer l'impact de l'extraction des ressources minières dans un sentier de développement durable, nous proposons d'évaluer la règle de Hartwick (1977) selon laquelle les rentes d'une ressource naturelle non renouvelable ne sont durables que si ces rentes correspondent à la dépréciation du capital naturel de la ressource et sont réinvestis dans d'autres formes de capital.

Les parties suivantes évaluent la dépréciation du capital minier par des analyses macroéconomiques et microéconomiques dans le but de déterminer un indicateur de développement durable de l'activité minière.

Deuxième partie

Analyse macroéconomique de la dépréciation du capital minier

Introduction

Dans l'optique d'évaluer la durabilité de l'activité minière péruvienne, nous allons, dans cette partie, mesurer la dépréciation du capital minier par une analyse macroéconomique.

Étant donnée l'importance du secteur minier au Pérou, nous chercherons à montrer la nécessité d'incorporer le calcul de la dépréciation à la comptabilité nationale.

En premier lieu, nous présentons un aperçu de la comptabilité environnementale et des agrégats macroéconomiques environnementaux (Weitzman, 1976). Nous exposerons également un modèle de croissance avec ressources naturelles développé par Hartwick (1990) et Hamilton (2000), modèle permettant d'incorporer la dépréciation du capital naturel à la comptabilité nationale. Au vu de la pertinence de ces mesures, plusieurs organismes internationaux, dont les Nations Unies ou la Banque Mondiale, incitent les gouvernements à prendre des mesures environnementales et à les intégrer dans la comptabilité nationale.

En second lieu, nous exposons la relation entre rente, *royalties* et dépréciation du capital naturel. Nous présentons les principales méthodes d'évaluation de la dépréciation du capital minier et décrivons plusieurs travaux. Nous exposerons ensuite l'utilisation de la méthode d'évaluation de la DCM en tant que résiduel macroéconomique. Ce travail développe un modèle simple de correction du produit national net (PNN) et fournit une mesure du revenu économique pour la principale activité extractive au Pérou, en déduisant la dépréciation du capital minier. L'objectif est d'obtenir un indicateur approprié de durabilité.

Nous terminerons cette partie en présentant les résultats obtenus, résultats qui inciteront peut-être les institutions telles que l'INEI et le MEM à incorporer la DCM comme mesure de durabilité de l'activité minière péruvienne, et à reconnaître la pertinence du PNB ajusté par la dépréciation du capital naturel.

3. Comptabilité environnementale

Dans le rapport *Notre futur commun*, la commission Brundtland ¹ a popularisé la notion de développement durable en le définissant comme le développement qui satisfait aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins. Ce concept est encore ambigu selon les notions économiques classiques.

Pour définir la durabilité, Hicks (1939) part de la notion de revenu :

« [...] le revenu, c'est le montant maximum que l'on peut consommer pendant une période en ayant à la fin de cette période autant qu'au commencement. »

Le concept de Hicks (1939) a été interprété comme un revenu qui peut être utilisé sans épuisement du capital générateur du revenu. Par conséquent, pour conserver des niveaux durables de développement il est nécessaire d'avoir des réserves de capital non décroissantes dans le temps au niveau individuel.

Les indicateurs de la durabilité sont fondés sur la valeur totale des actifs sur chaque période, sur la variation de la richesse ou de la consommation du capital. Pour bien mesurer la durabilité, les actifs devraient inclure dans chacun de leurs indicateurs : le capital physique, le capital humain et le capital naturel.

$$\begin{aligned} (\text{Capital Total})_t &= (\text{Capital Manufacturé})_t \\ &\quad + (\text{Capital Humain et Social})_t \\ &\quad + (\text{Capital Naturel})_t \end{aligned} \tag{3.1}$$

Le capital naturel comprend les ressources naturelles et les fonctions de l'écosystème ; le capital humain comprend la santé et l'éducation de la population active ; le capital social et culturel comprend les institutions sociales, la stabilité de la collectivité et les processus politiques ; et le

¹ *World Commission on Environment and Development* (WCED) 1987.

capital manufacturé comprend les stocks non commercialisés, les usines, l'équipement et les infrastructures.

La durabilité économique est dite *forte* ou *faible* en fonction du niveau auquel un capital peut se substituer à un autre. La durabilité forte implique que le capital naturel est un complément du capital manufacturé, sans toutefois le remplacer. Dans ce cadre, les ressources renouvelables comme la pêche et l'activité forestière peuvent être exploitées seulement au taux naturel d'augmentation net, et l'usage des ressources non renouvelables doit être minimisé.

La durabilité faible exige simplement que la valeur combinée de tous les actifs reste non décroissante, en acceptant la substitution d'une forme de capital par une autre. Si nous considérons l'épuisement du capital naturel ou la dégradation de l'environnement, un investissement compensateur doit être produit sous la forme d'un autre type de capital, qu'il soit manufacturé, humain, social ou qu'il s'agisse d'un autre capital naturel.

3.1. Durabilité et croissance économique

Nous présentons ici le modèle détaillé par Hamilton et Clemens (1998), et nous utilisons l'analyse de Hartwick (1990). Ce modèle cherche à prendre en compte les ressources naturelles, les polluants et le capital humain dans les mesures de production et d'épargne.

Nous considérons une économie fermée possédant une seule ressource utilisée comme *input* dans la production d'un bien composé, lequel va être consommé, investi dans un actif productif ou dans un capital humain, ou encore utilisé pour diminuer la pollution. La fonction de production est alors représentée par l'équation 3.2.

ÉQUATION 3.2. Fonction de production

$$F(K, R, N) = C + \dot{K} + a + m \quad (3.2)$$

où K est le stock de capital manufacturé, R est la ressource naturelle utilisée et N est le capital humain. La production F est égale à la somme de la consommation C , de la variation du capital $\dot{K}$, des dépenses pour la diminution de la pollution a et de l'investissement en capital humain (dépenses en éducation) m .

3. Comptabilité environnementale

La maximisation a lieu sous les contraintes suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{ll} e = e(F, a) & \text{Émissions de polluants} \\ \dot{X} = e - d(X) & \text{Polluants accumulés dans un stock} \\ \dot{N} = q(m) & \text{Variation des dépenses en éducation} \\ \dot{S} = -R + g(S) & \text{Variation du stock de la ressource} \\ B = \alpha(X) & \text{Flux des services environnementaux} \end{array} \right. \quad (3.3)$$

S est le stock des ressources naturelles qui croît d'une quantité g , et se déprécie par l'extraction de R . X représente les polluants accumulés. Les émissions e dépendent de la production F et des dépenses a dans la réduction de la pollution. B est le flux des services environnementaux ayant une relation inverse par rapport à la dimension du stock de pollution $\alpha(X) < 0$. d est la quantité de polluants disparaissant naturellement et q est la conversion des dépenses éducatives en capital humain.

La fonction d'utilité est définie par $U = U(C, B)$.

Les agrégats macroéconomiques de la comptabilité nationale verte sont définis sur les bases de l'optimisation du problème intertemporel (Hartwick, 1977). Nous cherchons à maximiser le bien-être W dans un horizon infini de temps à un taux d'actualisation r .

ÉQUATION 3.4. Maximisation de l'utilité

$$\max(W) = \int_t^\infty U(C, B)e^{-rs} ds \quad (3.4)$$

sous les contraintes suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{ll} \dot{K} = F - C - a - m & \text{Variation du capital manufacturé} \\ \dot{X} = e - d & \text{Polluants accumulés dans un stock } X \\ \dot{N} = q(m) & \text{Variation des dépenses en éducation} \\ \dot{S} = -R + g & \text{Variation du stock de la ressource} \end{array} \right. \quad (3.5)$$

Ainsi, la fonction hamiltonienne du problème maximisé en chaque point dans le temps est donné par l'équation 3.6.

3. Comptabilité environnementale

ÉQUATION 3.6. Fonction hamiltonienne

$$H = U + \gamma_K \dot{K} + \gamma_X \dot{X} + \gamma_S \dot{S} + \gamma_N \dot{N} \quad (3.6)$$

En déterminant les conditions de premier ordre, nous obtenons les valeurs optimales des prix d'ombre (*shadow price*) du capital manufacturé, de la pollution, des ressources et du capital humain, γ_K , γ_X , γ_S , γ_N . En remplaçant ces derniers dans la fonction hamiltonienne, nous obtenons

$$H = U(C, B) + U_C \left(\dot{K} - (1 - be_F)F_R(R - g) - b(e - d) + \frac{q}{q'} \right) \quad (3.7)$$

où b est le coût marginal de la diminution de la pollution, qui est égal au coût social marginal des émissions polluantes et aussi au niveau du taux Pigovien. Ces égalités sont possibles car l'économie est à l'optimum. Ainsi, be_F est le taux effectif de la production comme un résultat du taux des émissions, $\frac{1}{q'}$ est le coût pour créer une unité du capital humain, et F_R est l'effet net de l'utilisation des ressources pour un niveau d'extraction R et une croissance g . Cette expression permet de définir l'épargne nette ajustée.

ÉQUATION 3.8. Épargne nette ajustée

$$G = \dot{K} - (1 - be_F)F_R(R - g) - b(e - d) + \frac{q}{q'} \quad (3.8)$$

Si nous omettons g et d , l'épargne nette ajustée G (également appelée épargne véritable) est donc l'investissement dans le capital manufacturé et le capital humain moins la valeur de dépréciation des ressources naturelles, moins la valeur de l'accumulation des polluants. Cette expression a la propriété suivante : si la mesure de l'épargne nette ajustée est négative à un moment donné, alors l'utilité future est inférieure à l'utilité optimale. L'épargne nette ajustée négative est donc un indicateur de non durabilité.

Il est nécessaire de définir une fonction d'utilité, c'est pourquoi nous adoptons une formule du type :

$$U_C G = \dot{W} = rW - U \quad (3.9)$$

où U_C est l'utilité non décroissante (Hamilton et Ward, 1997). En remplaçant cette fonction d'utilité dans la fonction hamiltonienne (équation 3.6), et en divisant ensuite toute l'expression par C , nous obtenons une expression monétaire de la valeur hamiltonienne, c'est-à-dire le Produit National Net (*PNN*) tel que défini par Weitzman (1976)

3. Comptabilité environnementale

ÉQUATION 3.10. Produit national net

$$PNN = C + \dot{K} - (1 - be_F)F_R(R - g) - b(e - d) + \frac{q}{q'} \quad (3.10)$$

Selon Hamilton et Clemens (1998), les distorsions des politiques dans une économie typique mènent à la surextraction des ressources naturelles et à des émissions excessives de pollution. Une utilisation optimale des ressources et l'application de politiques environnementales réduiront cette polarisation et augmenteront également l'épargne nette ajustée. Le modèle présent peut facilement être étendu pour inclure le commerce extérieur et la dépréciation des capitaux produits. Si nous considérons que A est le flux nets des capitaux étrangers, leur variation est $\dot{A} = iA + E - M$, où E est l'exportation, M est l'importation et i est le taux de change. Si δ est le pourcentage de dépréciation du capital produit, la variation du capital sera

ÉQUATION 3.11. Variation du capital

$$\dot{K} = F - C - a - m - \delta K \quad (3.11)$$

Par conséquent, le PNN étendu est

ÉQUATION 3.12. Produit national net corrigé

$$PNN = C + \dot{K} - \delta K + E - M + iA - (1 - be_F)F_R(R - g) - b(e - d) + \frac{q}{q'} \quad (3.12)$$

Notons que les six premiers termes de l'équation 3.12 correspondent au PNN traditionnel. Le PNN est corrigé par la perte de capital naturel, par la dépréciation nette de ressources renouvelables, par l'extraction de ressources minérales, et par l'accroissement dans les réserves de ressources minérales. Cette dernière valeur peut être conçue comme la valeur de l'investissement nécessaire pour la découverte de nouvelles ressources, c'est-à-dire les frais d'exploration. Cependant, dans les système de comptes nationaux (scn) traditionnels, les coûts d'exploration font partie de l'investissement au niveau de l'économie nationale. C'est pourquoi intégrer ce composant au PNN aboutirait à une double comptabilisation.

Il est possible d'étendre le modèle précédent en incorporant une dimension additionnelle au stock de capital total de l'économie en y ajoutant le capital humain, à travers les dépenses dans l'éducation m (Hamilton, 1994). Les rentes marginales nettes des ressources sont $n = (1 - be_F)F_R$ et le PNN est défini par

$$PNN = PNB - a - m - n(R - g) - b(e - d) + \frac{q}{q'} \quad (3.13)$$

où $\frac{1}{q'}$ est le coût marginal de création d'une unité du capital humain, et $\frac{m}{q}$ est le coût moyen

3. Comptabilité environnementale

pour ce capital. En supposant que le coût marginal de l'éducation (capital humain) augmente dans le temps, la formule pour calculer le *PNN* ajusté par le capital humain est la suivante

$$PNN = PNB - a - n(R - g) - b(e - d) + \left(\frac{1}{\frac{q'}{m} - 1} \right) m \quad (3.14)$$

Nous considérons δK comme la dépréciation des actifs, n comme les rentes marginales nettes des ressources et τ comme le coût social marginal de la pollution. On peut calculer l'épargne nette ajustée avec l'équation suivante

ÉQUATION 3.15. Épargne nette ajustée avec dépréciation des actifs

$$G = PNB - C - \delta K - n(R - g) - \tau(e - d) + m \quad (3.15)$$

Une valeur négative de G signifierait que l'investissement net de l'économie (étendu pour prendre en compte les mesures de la variation de capital naturel et humain) est décroissant sur la période et que par conséquent le sentier de croissance est non durable.

3.1.1. Règle de Hartwick

L'équation 3.15 présente une formule modifiée de la règle de Hartwick comme indicateur de durabilité quand $G = 0$ à chaque instant. Dans ce cas, l'utilité est constante.

Hartwick (1977), dans son article fondateur *Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources*, énonce :

« Investis toutes les rentes de ressources épuisables dans des capitaux reproductibles, comme les équipements. Cette injonction semble résoudre le problème éthique posé par la génération actuelle qui ne laisse pas assez aux générations futures, du fait de la "surconsommation" du produit, laquelle est en partie imputable à l'utilisation actuelle des ressources épuisables. »

Selon la *règle de Hartwick*, une économie sera durable si la dépréciation du capital naturel a été compensée par la création d'autres formes de capitaux : humain, manufacturé ou autre ressource naturelle. Dans le cas contraire, une économie qui croît plus rapidement que sa dépréciation du capital naturel ne sera pas durable.

3.2. Indicateurs macroéconomiques environnementaux

Les indicateurs de la durabilité exigent que le capital naturel soit mesuré par des unités physiques, en signalant l'existence d'actifs irremplaçables. D'une part, Dasgupta et Mäler (2000) argumentent que les prix reflètent complètement la durabilité et les limites de la substitution. D'autre part, Hamilton (2000) présente les restrictions et les conditions à satisfaire afin que les prix reflètent une mesure vraie de la durabilité.

Les premiers comptes environnementaux (CE) ou comptes verts ont été établis en Norvège dans les années 1970, mais les aspects conceptuels et les techniques de la construction des CE n'ont été diffusés que ces dix dernières années. Les expériences pour rendre effective la comptabilité environnementale et ses applications sous la forme de mesures politique sont rares.

La motivation des gouvernements pour l'adoption des comptes environnementaux repose sur l'idée de développement durable. Cette notion est liée aux activités économiques et aux tendances appropriées pour déterminer si le développement d'un pays se réalise sous une forme durable ou non, et s'il garantit la provision de ressources pour les générations futures.

Comme exposé dans *Nature's Numbers* (1999), les comptes environnementaux fournissent aux décideurs politiques des indicateurs et des statistiques descriptives pour gérer l'interaction entre l'environnement et les activités économiques, permettant ainsi de mesurer les progrès environnementaux. Les comptes environnementaux donnent des bases de données indispensables à l'organisation stratégique, à l'analyse des politiques, et à l'identification de la situation la plus durable.

Les méthodologies sont compilées dans le système de comptes économiques et environnementaux (SEEA) développé par les Nations Unies, l'Eurostat, l'OCDE, la Banque Mondiale, et le FMI.

La plupart des progrès ont été réalisés en Europe, en Australie et au Canada. Rares sont les pays en développement qui font usage des comptes environnementaux pour la mise en œuvre de leurs politiques et programmes de développement. Dans le tableau 3.1, nous présentons la liste des pays ayant des programmes de comptes environnementaux.

3. Comptabilité environnementale

Les comptes environnementaux ont quatre composantes :

- les comptes d’actifs de ressources naturelles, qui présentent les réserves de ressources naturelles, sont basés sur le principe d’équilibre du bilan dans le système de comptabilité nationale (SCN) ;
- les comptes des polluants et matières fournissent des informations au niveau industriel sur l’usage de l’énergie, les matières comme *inputs* pour la production, la demande finale, et la création de polluants et déchets solides. Ces comptes sont liés au tableau *input/output* de la comptabilité nationale ;
- la protection de l’environnement et les dépenses de gestion des ressources naturelles sont identifiées pour l’industrie, le gouvernement, et les foyers dans le système conventionnel de comptes nationaux ;
- les agrégats macroéconomiques de l’environnement représentent les indicateurs de durabilité.

3. Comptabilité environnementale

TABLEAU 3.1. Pays ayant des programmes de comptabilité environnementale

A : Comptes d'actifs de ressources naturelles
 B : Flux de comptes pour polluants et matières physiques
 C : Flux de comptes pour polluants et matières monétaires
 D : Protection de l'environnement et dépenses dans la gestion des ressources
 E : Agrégats macroéconomiques

	A	B	C	D	E
<i>Pays industrialisés</i>					
Australie	✓	✓		✓	
Canada	✓	✓		✓	
Danemark	✓	✓		✓	
Finlande	✓	✓		✓	
France	✓	✓		✓	
Allemagne	✓	✓	✓	✓	✓
Italie	✓	✓		✓	
Japon	✓	✓	✓	✓	✓
Norvège	✓	✓			
Suède	✓	✓	✓	✓	✓
Grande-Bretagne	✓	✓		✓	
États-Unis	✓			✓	
<i>Pays en développement</i>					
Botswana	✓	✓	✓*		
Chili	✓		✓*	✓	
Corée	✓	✓	✓	✓	✓
Mexique	✓	✓	✓	✓	✓
Moldavie		✓*			
Namibie	✓	✓	✓*		
Philippines	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Études occasionnelles</i>					
Colombie		✓	✓	✓	
Costa Rica				✓	
U.E. à 15			✓		
Indonésie	✓				
Afrique du sud	✓	✓	✓*		

* Comptes uniquement pour l'eau.

Source : Lange (2003)

3. Comptabilité environnementale

Les comptes des actifs de ressources naturelles suivent la structure conventionnelle des systèmes de comptes nationaux, dans laquelle nous pouvons ouvrir, fermer ou changer le stock pendant l'année. Les changements au cours de cette période sont de trois types : ceux causés par l'activité économique (extraction de minéraux, taille des forêts, etc.), les processus naturels (croissance, naissance et mort) et les autres facteurs.

Pour mesurer la durabilité, nous présentons une alternative à la révision des indicateurs macroéconomiques conventionnels comme le PNB et le PNN, et avec la production de macroindicateurs alternatifs en unités physiques (tableaux 3.2, 3.3 et 3.4).

TABLEAU 3.2. Indicateurs environnementaux macroéconomiques physiques

Indicateurs agrégés	Nom	Base de données
NAMEA	Matrice de comptabilité nationale avec comptes environnementaux. Indicateurs pour mesurer les émissions, l'acidification, l'eutrophisation et les déchets solides.	NAMEA pris en compte dans la construction de SEEA.
TMR, DMI, NAS, TDO, DPO	Matières totales nécessaires (<i>Total Material Requirements</i>). Entrées directes des matières (<i>Direct Material Input</i>). Stock total net (<i>Net Additions to Stock</i>). Production domestique totale (<i>Total Domestic Output</i>). Production domestique (<i>Domestic Processed Output</i>)	Dérivés des comptes de flux de matières.

Source : Lange (2003)

3. Comptabilité environnementale

TABLEAU 3.3. Indicateurs environnementaux macroéconomiques monétaires basés sur des indicateurs existants

Indicateurs agrégés	Nom	Base de données
daGDP, daNDP, daGNI, daNNI (PIB, PNN, RNB, RNN)	Production et revenus ajustés par la dépréciation	Nous soustrayons la dépréciation du capital naturel aux agrégats macroéconomiques conventionnels.
eaNDP, eaNNI (PNN, RNN)	Production et revenus ajustés par les ressources naturelles.	Nous soustrayons la dépréciation du capital naturel et la dégradation aux agrégats macroéconomiques. Ils sont pris en compte dans les dépenses en protection environnementale (EPE, <i>environmental protection expenditure</i>).
Revenu « véritable » (<i>genuine income</i>)	NNI moins les coûts des dommages environnementaux	Nous soustrayons la dépréciation du capital naturel et la dégradation basée sur les coûts de dommages environnementaux aux agrégats macroéconomiques.
Épargne nette ajustée <i>G</i> .	<i>Genuine savings</i>	Nous corrigeons la mesure de l'épargne nationale par les variations en capital naturel et capital humain.

Source : Lange (2003)

TABLEAU 3.4. Nouveaux indicateurs environnementaux macroéconomiques monétaires

Indicateurs agrégés	Nom	Base de données
Revenu national durable de Hueting (SNI, <i>Hueting's Sustainable National Income</i>)	Revenu durable qui mesure les services de prévention de l'environnement.	Modèle hypothétique de GDP (PIB) et GNI (RNB) si l'économie est forcée à remplir les objectifs de standards environnementaux en utilisant la technologie actuelle disponible.
geGDP, geNDP, geGNI, geNNI	« Économie verte », production et revenus mesurés.	Modèle hypothétique de GDP (PIB) en supposant que le paiement des coûts de protection environnementaux est exigé.

Source : Lange (2003)

3.3. Dépréciation du capital naturel dans le SEEA

L'intérêt principal des comptes environnementaux est de mesurer la dépréciation du capital naturel, ce qui est important pour les pays riches en ressources naturelles et économiquement dépendants de leur exploitation.

Le coût de la dépréciation du capital naturel a été mesuré initialement comme la valeur d'extraction (prix net) des ressources non renouvelables et pour le cas de ressources renouvelables, comme la valeur de l'usage au-dessus du rendement durable (*sustainable yield*).

La tendance de l'épargne nationale, corrigée par la dépréciation du capital naturel, indique si le capital naturel se maintient, si la dépréciation de capital naturel est constante, ou si elle est compensée par une augmentation dans les autres types de capitaux. Cette compensation est généralement donnée par une combinaison de facteurs : nouvelles découvertes, augmentation des réserves économiquement avantageuses, et augmentation de la valeur économique des réserves.

La valeur d'un actif diminue souvent avec son utilisation. Pour les actifs productifs, cette baisse est mesurée dans le système de comptabilité nationale (scn) comme la consommation du capital fixe, aussi appelée dépréciation ou amortissement. Il s'agit de la différence entre la formation du capital brut et la formation du capital net. La consommation de capital fixe est une allocation l'épuisement des biens. Si la consommation de capital fixe est plus forte que l'acquisition de nouveau capital fixe, alors cette situation n'est plus durable. Si l'extraction des ressources biologiques est plus rapide que l'augmentation naturelle, ce cadre est également non durable. Le SEEA fait la différence entre la consommation de capital fixe et la dépréciation du capital naturel.

En effet, la consommation de capital fixe mesure la baisse de la valeur présente nette (vpn) du revenu futur, une somme qui devrait être déduite du revenu, et être convertie en une autre forme de capital qui reste intact. La dépréciation du capital naturel signifie, comme dans le scn, le changement de valeur dans les réserves des ressources lié à l'extraction. C'est donc la contrepartie de l'actif non produit à la notion de consommation de capital fixe pour les actifs produits. Déterminer l'impact de la dépréciation du capital naturel sur le revenu, c'est estimer les changements de la valeur de la réserve d'un actif naturel et les raisons de ces changements.

3.3.1. Découvertes

Dans le calcul de la dépréciation du capital naturel, on peut se demander comment les découvertes de nouvelles ressources doivent être traitées. Cette question n'a pas de réponse acceptée par tous.

La découverte de minéraux ou de nouveaux emplacements est considérée comme un changement dans le volume de minerais produits : nous ajoutons une composante supplémentaire aux comptes monétaires de ressources. Comme pour le capital industriel, nous examinons la réévaluation. De plus, la réserve physique présente la difficulté de sa mesure. Dans le cas minier, nous considérons une fraction de la réserve prouvée, basée sur la probabilité que cette réserve rende économiquement avantageuse l'exploitation de la mine.

Une solution est de dire que la totalité des extractions devrait être réduite au surplus de fonctionnement net sans compenser l'élément lié aux nouvelles découvertes.

Une autre réponse repose sur le constat que les découvertes de minerais sont le résultat de la production et que l'actif résultant devrait être un actif naturel « développé » incorporant la valeur de l'exploration et des stocks. Cet actif est caractérisé comme étant un actif produit. Toute baisse de la valeur des stocks est une diminution de revenu, laquelle s'exprime dans le calcul de la consommation de capital fixe. Cela entraîne également une diminution de la production domestique nette.

Il y a également une position intermédiaire : le cas où les réserves sont supposées renouvelables car les compagnies minières n'ont pas prévu d'exploiter la totalité des réserves, mais juste assez pour garantir l'ouverture de la mine. Cette discussion suggère de compenser les extractions par les découvertes.

4. Évaluation de la dépréciation du capital naturel

Cette section évalue la dépréciation du capital naturel au cours de la période 1992–2006 pour l'activité minière péruvienne, dans un paradigme de durabilité faible.

Nous présentons tout d'abord la relation entre rente et dépréciation naturelle. Nous estimons ensuite la dépréciation du capital naturel de l'activité minière par une approche macroéconomique, dans l'objectif d'incorporer la mesure de la dépréciation du capital minier (DCM) dans les agrégats macroéconomiques.

4.1. Rentes minières, rentes ricardiennes et *royalties*

L'activité minière est différente des autres industries à plusieurs égards. Premièrement, les matières premières qu'elle exploite, des minéraux souterrains, sont souvent propriété de l'État qui doit être indemnisé pour cette ressource importante. Deuxièmement, les minéraux sont des ressources non renouvelables, ils ont donc un coût d'opportunité d'extraction. Troisièmement, certaines mines, en particulier dans les pays les plus pauvres, génèrent un retour sur capital très concurrentiel, et connaissent de vrais booms. Ces avantages importants doivent être répartis entre les entreprises, les gouvernements, les actionnaires (Tilton, 2002), mais également les communautés affectées par l'activité minière qui exploite ces ressources.

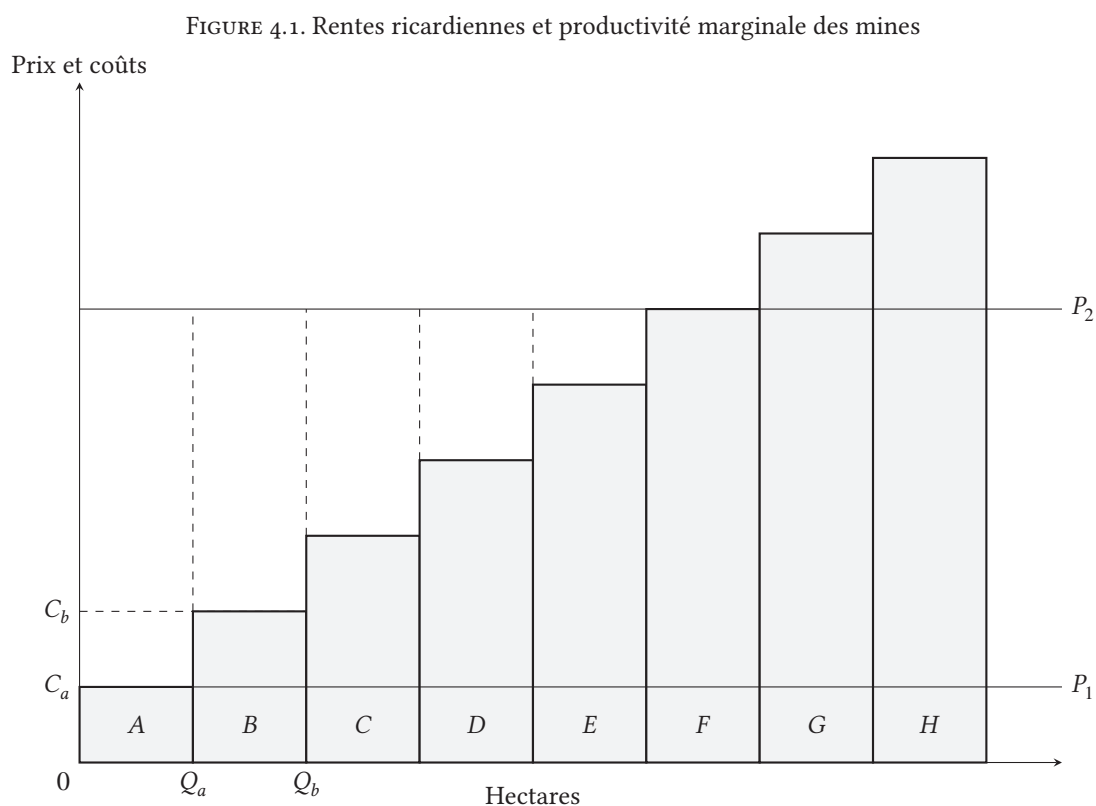
Ricardo (1821) a été le premier à définir la rente économique dans l'industrie minière :

« Les mines, ainsi que les terres, rendent en général un profit au propriétaire. Et ce profit, [...] est l'effet, et jamais la cause de l'élévation de la valeur de leurs produits. »

4. Évaluation de la dépréciation du capital naturel

Ricardo (1821), Des principes de l'Économie Politique et de l'Impôt. Traduit de l'anglais par F.S. Constancio.

L'activité minière est une industrie qui a des coûts marginaux variables, basés sur la productivité des ressources et sur les différences géographiques de leurs emplacements. Dans ce sens, la rente différentielle de Ricardo n'est pas générée par l'action d'un agent productif, mais c'est le produit du marché ayant comme source une « bénédiction de la nature ». La figure 4.1 met en évidence les différentes rentes ricardiennes pour plusieurs mines en fonction de leurs productivités. La mine A sera plus rentable que les mines B et C, car des facteurs géologiques et géographiques permettent l'extraction à faible coût.



Source : Otto et al. (2006)

Dans la figure 4.1, si le prix est P_2 , l'entreprise la plus productive, A, obtient une rente égale à la différence entre ce prix P_2 et le coût unitaire de production C_a . Si l'entreprise reçoit une taxe affectant une grande partie de sa rente, l'entreprise continuera à produire la quantité Q_a . En théorie, appliquer un impôt à la rente différentielle n'affecte pas la production.

4. Évaluation de la dépréciation du capital naturel

La rente économique est la productivité marginale des ressources naturelles pas encore exploitées ou leurs droits d'extraction minière. Ceci est égal à la différence entre le coût de l'extraction et la récompense financière du capital investi au prix de vente de la ressource. La rente économique est également définie comme la différence entre le prix actuel et le prix que l'on paierait si le bien ou le service était produit. Celui qui est en position de recevoir une rente économique est chanceux car ce revenu n'est pas lié à l'effort. Les entreprises gagnent des surplus quand elles sont plus efficaces que d'autres (Stiglitz, 1996).

Une autre façon de décrire la rente économique est celle de Cordes (1995), pour qui la rente est la différence entre le prix de marché de la ressource et son coût d'opportunité, lequel est défini comme le prix de réserve ou montant minimal accepté par les propriétaires pour l'extraction. La rente économique est donc un bénéfice financier qui n'est pas motivé par un comportement économique.

Pour les ressources non renouvelables, Hotelling (1931) identifia que les firmes ont des coûts d'opportunité différents de ceux relatifs aux coûts de production. Si la firme augmente sa production d'une unité, au lieu de laisser les minerais dans le sous-sol, le stock de la ressource est réduit dans le futur. L'effet de stock identifié par Hotelling (1931), connu aussi sous le nom de rente de rareté, est la valeur présente nette des bénéfices futurs qui sont perdus quand la ressource est extraite d'une unité additionnelle de production dans le présent.

Nous considérons que la rente de rareté a deux composantes : une rente de rareté pure qui dépend du stock, la rente de Hotelling, et une autre rente qui est le résultat de l'augmentation des coûts marginaux d'extraction quand le stock des minerais se réduit.

En outre, une condition nécessaire pour que la ressource arrive à épuisement est que son extraction soit rentable au fur et à mesure que le stock diminue (Lewis, 1979). L'épuisement résulte de la réduction de la valeur de l'actif naturel, pour son usage dans une activité productive qui réduit sa disponibilité de production dans le futur. Le coût d'épuisement est le changement de la valeur présente de l'actif ; ce coût est égal à la dépréciation du capital naturel (Nations Unies, 2003).

Hartwick et Hageman (1993) ont prouvé que la dépréciation du capital naturel pour une ressource non renouvelable est équivalente à la rente totale de Hotelling. Si la valeur de la dépréciation du capital naturel est égale au coût de récupération de la ressource, alors la dépréciation du capital naturel correspond à la valeur économique de la ressource *in situ*. Ceci est similaire à

4. Évaluation de la dépréciation du capital naturel

la rente de Hotelling multiplié par les unités extraites qui devront être remplacées par d'autres formes de capital. D'où la définition de la règle de Hartwick vue précédemment.

Pour Varian, Hommet et Thiry (1995), la rente est la différence entre ce que l'on paie à un facteur de production et le paiement minimum requis pour qu'il soit offert. Dans les industries où il y a libre entrée, les bénéfices tendent vers zéro sur le long terme. Cependant, certains facteurs sont fixes même sur le long terme. Chaque fois qu'il y a un facteur fixe qui limite l'entrée dans d'une industrie, ce facteur est source de rente. Si l'offre d'un facteur est parfaitement inélastique, tout le revenu est une rente économique. Lorsque l'offre a une pente positive, la rente est la zone entre le prix et la courbe d'offre.

Il est important de ne pas confondre la rente avec les salaires, les intérêts ou les bénéfices ; ceux-ci sont des rétributions aux services de la main d'œuvre, du capital et de l'effort d'entrepreneuriat. Quand il y a une taxe sur ces facteurs productifs, cela affecte le niveau productif de l'activité économique. La rente ne se base pas sur les facteurs de production ; elle est un excédent qui ne provient ni du savoir-faire ni de la technologie.

La rente est un excédent dont les producteurs n'ont pas besoin pour produire davantage. Sa présence a des effets distributifs plus que productifs. Dans une perspective de politique publique, les rentes peuvent donc être soumises à une taxe, sans conséquence sur la production, au moins à court terme. L'analyse de la rente économique dans les petites économies riches en ressources naturelles devient cruciale, car ces économies s'ouvrent au commerce international et deviennent bénéficiaires et dépendantes des investissements directs étrangers (Vignolo, 1982).

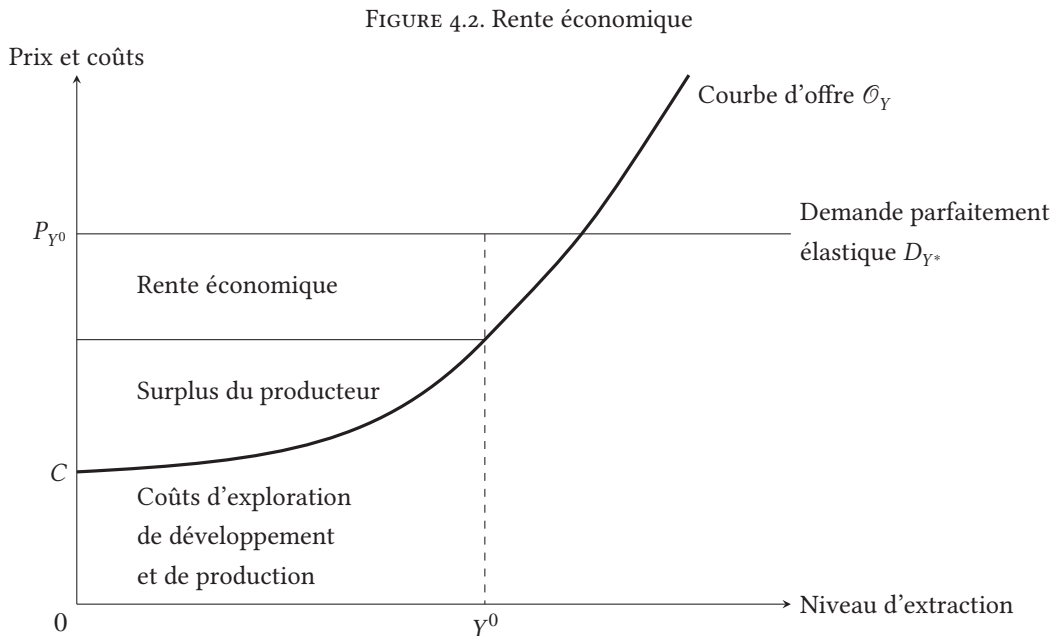
La *royalty* est une rétribution au propriétaire, généralement l'État, pour le droit d'extraction d'une ressource naturelle. Cette rente peut être définie comme une rétribution au facteur terre ou ressource minière dans le sous-sol. L'application d'une *royalty* est cohérente avec la théorie de la rente. La rente économique est donc une cible de taxation qui n'affecte pas la disponibilité du facteur travail, du capital ou d'autres facteurs de production. La taxation de la rente économique est légitime, même si recevoir des *royalties* est encore un sujet controversé (Otto et al., 2006).

De plus, la *royalty* est un paiement indépendant et complémentaire aux impôts appliqués sur n'importe quelle activité économique. Les pays qui utilisent ce concept pour récolter une partie de la rente générée par les secteurs extractifs ont besoin de déterminer le niveau optimal de

4. Évaluation de la dépréciation du capital naturel

royalty qui soit compétitif.

Dans le cas péruvien, une petite économie ouverte, il est raisonnable de considérer que la demande de biens est parfaitement élastique et fixée au niveau de prix internationaux. Dans la figure 4.2, la ligne horizontale D_{Y^*} représente la courbe de demande internationale au niveau de prix en monnaie locale $P_Y = EP_{Y^*}$, où E est le taux de change nominal et P_{Y^*} est le prix en dollars des minerais. La courbe $\mathcal{O}_Y$ est l'offre locale des minerais à long terme ou coût marginal. Cette courbe du coût marginal couvre les coûts d'exploration, d'exploitation et de production ainsi que d'un retour « normal » sur investissement. La zone comprise entre cette courbe et le niveau des prix est la rente économique. La rente dans l'activité minière persiste car les ressources sont fixes dans le long terme.

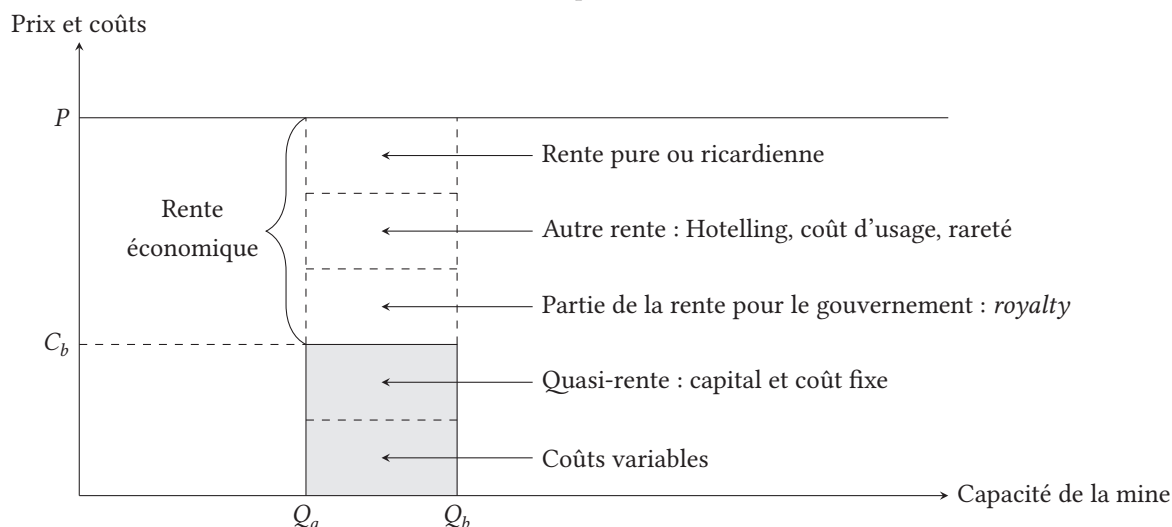


Source : Hotelling (1931)

Nous présentons graphiquement les différentes composantes de la rente. Dans la figure 4.3, considérons une mine dont le prix est P . La rente économique a comme composantes : la rente pure (rente ricardienne), le coût d'opportunité (la rente de rareté, ou rente de Hotelling) et le paiement des *royalties* à l'État propriétaire. La discussion porte sur la frontière entre les différentes composantes de la rente et sur sa distribution, en prenant en compte le fait que la rente économique est le bénéfice réalisé après avoir payé les coûts d'extraction des ressources et un rendement du capital investi.

4. Évaluation de la dépréciation du capital naturel

FIGURE 4.3. Composantes de la rente



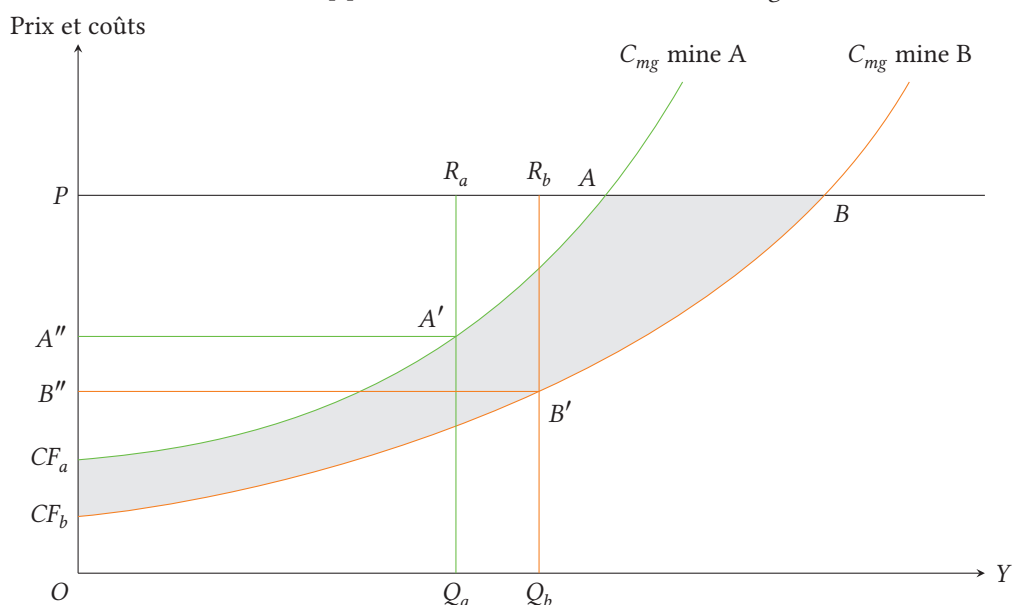
Source : Otto et al. (2006)

Il convient de souligner que dans ce travail, la rente totale de Hotelling, la rente de rareté et le coût de dépréciation du capital naturel de la ressource non renouvelable sont similaires et sont utilisés indifféremment.

La figure 4.3 met en évidence la rente de Hotelling et la rente ricardienne pour une mine. Mais pour bien différencier ces deux concepts, la figure 4.4 montre que la rente de Ricardo est une rente différentielle entre les productivités de deux mines. Par contre, la rente de Hotelling est une rente différentielle entre le prix de vente et les coûts marginaux pour une mine.

4. Évaluation de la dépréciation du capital naturel

FIGURE 4.4. Rente de Ricardo et rente de Hotelling



Domaine	Signification
$P R_a A' A''$	rente de Hotelling pour la mine A
$P R_b B' B''$	rente de Hotelling pour la mine B
$A'' A' C F_a$	surplus du producteur de la mine A
$B'' B' C F_b$	surplus du producteur de la mine B
$C F_a A B C F_b$	rente ricardienne de la mine B par rapport à la mine A

Source : auteur

4.2. Méthodes d'évaluation de la dépréciation du capital naturel

L'incorporation de l'évaluation monétaire des ressources naturelles dans la comptabilité environnementale a été l'une des matières les plus complexes et les plus discutées dans la littérature sur les comptes environnementaux (Nations Unies, 2003). On va examiner les méthodes d'évaluation plus répandues.

Hartwick (1977) a défini des méthodes dérivant de modèles basés sur des hypothèses traditionnelles de l'analyse néoclassique, tandis que El Serafy (1989) a fait valoir que les méthodes d'évaluation basées sur des modèles traditionnels ne peuvent pas donner des résultats pro-

4. Évaluation de la dépréciation du capital naturel

bants, et qu'il est nécessaire de se baser sur le concept de durabilité.

Dans cette section nous présenterons quatre méthodes d'évaluation des ressources naturelles épuisables : la valeur présente nette, le coût d'usage, le prix net et l'évaluation en tant que résidu macroéconomique.

4.2.1. Valeur présente nette

La méthode de la valeur présente nette (VPN) consiste à établir la différence de la valeur d'une ressource naturelle entre le début et la fin de la période de la vie de la ressource, en supposant son utilisation optimale. Cela signifie que la dépréciation du capital naturel est simplement la dégradation de la valeur de la ressource naturelle. Ainsi, la VPN_t sera égal aux revenus futurs déduits de la ressource naturelle au moment t

ÉQUATION 4.1. Valeur présente nette d'une ressource naturelle à l'instant t

$$VPN_t = R_t + \left(\frac{1}{1+r}\right)R_{t+1} + \left(\frac{1}{1+r}\right)^2 R_{t+2} + \dots + \left(\frac{1}{1+r}\right)^n R_{t+n} \quad (4.1)$$

où R_t est le revenu pour la ressource naturelle de l'année t , le taux d'intérêt r est supposé fixe, et $t + n$ est la date de fin de vie de la ressource.

La valeur de la ressource l'année suivante sera

$$VPN_{t+1} = R_{t+1} + \left(\frac{1}{1+r}\right)R_{t+2} + \left(\frac{1}{1+r}\right)^2 R_{t+3} + \dots + \left(\frac{1}{1+r}\right)^{n-1} R_{t+n} \quad (4.2)$$

De cette manière, la dépréciation de la ressource naturelle $VPN_t - VPN_{t+1}$ peut s'écrire de la manière suivante

ÉQUATION 4.3. Dépréciation de la ressource naturelle

$$VPN_t - VPN_{t+1} = R_t - \frac{r}{1+r} VPN_{t+1} \quad (4.3)$$

Il s'agit conceptuellement de la manière correcte d'évaluer un actif en général. Cela a toutefois un inconvénient majeur : elle nécessite la prévision ou l'estimation des prix, des revenus et des taux d'intérêt futurs. Cela rend délicate la mesure de la valeur de la dépréciation de la ressource. Calculer la VPN aura un fort taux d'incertitude.

4.2.2. Coût d'usage

El Serafy (1989) propose d'évaluer la dépréciation de la ressource naturelle sur la base du coût d'épuisement, estimé comme une partie de la *VPN* dans la vie utile de la ressource, c'est-à-dire la part du revenu net qui doit être réservée pour assurer un futur revenu net permanent au moment de l'épuisement total de la ressource.

Cette méthode comprend deux composantes :

- la composante capital appelée « coût d'usage », $CU = R - X$, qui est la partie à ré-investir pour obtenir un flux des revenus constants. Le CU équivaut à la valeur de la consommation du stock de la ressource naturelle, c'est la dépréciation naturelle ;
- la composante appelée « revenu » X correspondant à la portion qui peut être consommée.

Pour obtenir le CU , nous identifions la *VPN* d'un flux fini de revenus nets courants à la *VPN* d'un flux infini de revenus durables X_t de la manière suivante

ÉQUATION 4.4. Égalité des revenus nets courants et des revenus durables

$$\int_0^{\infty} X_t e^{rt} dt = \int_0^T R_t e^{rt} dt \quad (4.4)$$

où r est le taux d'intérêt et T est la période de vie attendue de la ressource.

R_t est considéré comme une constante lors de la différence entre R et X , et nous obtenons

ÉQUATION 4.5. Coût d'usage de la ressource naturelle

$$CU = R - X = R \left(\frac{1}{1+r} \right)^{\frac{s}{q}} \quad (4.5)$$

où $\frac{s}{q}$ est le taux de réserves correspondant au nombre d'années restantes avant l'épuisement, s est le stock total, et q est le niveau de production courante.

Puisque cette méthode utilise initialement la rente de la ressource, elle a non seulement les mêmes inconvénients que la méthode de *VPN* mais aussi d'autres désavantages. L'un d'eux est de supposer un taux d'extraction constant ; or ce taux dépend de chaque entreprise minière. De plus, considérer les taux d'intérêts comme fixes est peu réaliste.

Au final, le fait que cette méthode ne rentre pas dans le cadre d'un modèle d'extraction optimale de la ressource signifie que le taux d'intérêt est endogène. Cette méthode ne sera pas très utile dans le cas d'une petite économie ouverte où le taux d'intérêt est exogène. Par conséquent, il est recommandé de ne pas l'utiliser (Gómez-Lobo, 2001).

4.2.3. Prix net

Cette méthode a été initialement appliquée par Repetto et al. (1989) et est basée sur les modèles d'exploitation optimale de ressources naturelles (Hotelling, 1931). Il définit la rente de la ressource RR comme la différence entre le prix de marché et le coût marginal d'extraction unitaire. Ceci est aussi appelé la *rente de Hotelling*¹, laquelle est définie comme le retour net obtenu sur la vente de la ressource naturelle sous des conditions d'équilibre de long terme. Cette rente comprend les revenus reçus moins l'ensemble des coûts d'exploitation, d'exploration et de développement de la ressource, y compris un retour du capital fixe employé (Nations Unies, 2001).

D'autre part, la rente totale de Hotelling RTH , appelée aussi revenu net total, est défini comme la rente de Hotelling multipliée par la quantité extraite sur une période déterminée. La RTH de la période courante est le résultat d'un processus d'optimisation intertemporelle basé sur les projections de prix et de coûts futurs.

ÉQUATION 4.6. Rente totale de Hotelling

$$RTH = \left[P(t) - C_{mg}(E_t) \right] E_t \quad (4.6)$$

où $P(t)$ est le prix du marché de la ressource naturelle épuisable, $C_{mg}(E_t)$ équivaut au coût marginal d'extraction de la ressource, tandis que E_t indique le niveau d'extraction de la ressource naturelle. L'équation 4.6 a été trouvée équivalente à la dépréciation d'une ressource naturelle épuisable (Hartwick et Hageman, 1993).

Cette méthodologie présente l'avantage d'utiliser une information relative des prix et des coûts d'extraction observables sur le marché, sans besoin de projeter les revenus futurs de manière arbitraire. Toutefois, son utilisation n'est pas exempte d'inconvénients : le prix net (PN) pourrait prendre des valeurs négatives quand les entreprises minières produisent à perte ou quand les coûts en capital sont plus importants que les bénéfices comptables (Pasco-Font, McCormick

¹La rente de Hotelling sera traitée dans le cinquième chapitre.

4. Évaluation de la dépréciation du capital naturel

et Schroth, 1996). De plus, si les coûts sont élevés, le *PN* donnera une valeur sous-estimée de la rente de la ressource. En conséquence, une partie de la *RR* qui aurait pu être réinvestie en développement durable a été dépensée en production inefficace dans la période courante (Santopietro, 1998).

Comme les méthodes *VPN* et *PN* sont équivalentes sous des conditions d'équilibre à long terme (Repetto et al., 1989), il est indifférent d'utiliser une méthode ou l'autre. Malgré les inconvénients mentionnés, il est préférable de choisir la méthode du *PN*. Pour cette méthode, on dispose pour son application de plus d'informations.

Finalement, nous présentons dans le tableau 4.1 diverses études de la mesure de la dépréciation naturelle en indiquant la ressource analysée, le pays, la période, la méthodologie ainsi que les résultats.

TABLEAU 4.1. Cas d'évaluation de la dépréciation du capital naturel

Auteur(s)	Pays et période analysés	Méthode	Résultats
Young et Serôa da Motta (1995)	Brésil, 1970–1988.	Prix net et coût d'usage.	D'abord, ils considèrent les niveaux des réserves pour estimer la date d'épuisement. Ensuite, ils mesurent des facteurs de dépréciation naturelle en utilisant deux méthodologies : prix net et coût d'usage. Les résultats sont variables en fonction de la méthode. La dépréciation est estimée pour 23 minerais.
Crowards (1996)	Zimbabwe, 1980–1989.	Prix net.	Les résultats montrent que la dépréciation naturelle représente approximativement 2 % du PIB annuel. Les estimations prennent en compte la dépréciation naturelle des forêts, des sols et des ressources minières. L'auteur affirme qu'il est clair que le gouvernement a beaucoup d'influence sur la dégradation des ressources naturelles, et il propose une réforme structurelle dans les programmes environnementaux.

Sources : Crowards (1996) ; Vincent (1997) ; Young et Serôa da Motta (1995) ; Common et Sanyal (1998) ; Figueroa, Calfucura et Nuñez (2002) ; Santopietro (1998) ; Blignaut et Hassan (2002) ; Kumar (2008).

4. Évaluation de la dépréciation du capital naturel

TABLEAU 4.1. Cas d'évaluation de la dépréciation du capital naturel (suite)

Auteur(s)	Pays et période analysés	Méthode	Résultats
Vincent (1997)	Malaisie, 1970–1990.	Prix net.	Les résultats indiquent que la Malaisie se développe de façon durable (durabilité faible), bien que la dépréciation naturelle soit significative. Vincent (1997) estime la rente de Hotelling pour les ressources minières et le bois dans deux régions. Il analyse les mesures d'investissement net et le PIB corrigé par la dépréciation des ressources naturelles.
Common et Sanyal (1998)	Australie, 1979–1995.	Prix net, coût d'usage, valeur présente nette.	Ils concluent que la mesure de la dépréciation des ressources naturelles n'est pas assez robuste et que ce que l'on en déduit doit être traité avec scepticisme.
Santopietro (1998)	Argentine, 1993–1996.	Prix net, coût d'usage, valeur présente nette. Autres méthodes alternatives : valeur de transaction, coût de remplacement et valeur de stock.	Plusieurs méthodes sont utilisées dans le calcul de la dépréciation des réserves de pétrole à partir des données des entreprises publiques privatisées. Les résultats affirment que deux méthodes (prix net et valeur de transaction) ont tendance à sous-estimer la rente de la ressource. Santopietro (1998) défend la méthode de la valeur de stock de la firme car elle ne demande pas beaucoup d'hypothèses (taux d'actualisation constants, estimation de prix et coûts futurs, ou encore détermination des réserves).
Figueroa, Calfucura et Nuñez (2002)	Chili, 1977–1996.	Prix net.	Ils estiment une dépréciation naturelle pour l'activité minière à 4,62 % du PIB pour 1977–1996 et à 5,27 % sur la période 1985–1996. L'estimation est faite seulement pour le cuivre, et sa dépréciation naturelle est quatre fois plus importante que l'investissement annuel en recherche et développement.
Blignaut et Hassan (2002)	Afrique du Sud, 1966–1993.	Coût d'usage.	L'étude met l'accent sur les faibles recettes minières, car les entreprises privées ont capturé les rentes minières. L'analyse suppose une substitution entre capitaux dans un paradigme de durabilité faible.

Sources : Crowards (1996) ; Vincent (1997) ; Young et Serôa da Motta (1995) ; Common et Sanyal (1998) ; Figueroa, Calfucura et Nuñez (2002) ; Santopietro (1998) ; Blignaut et Hassan (2002) ; Kumar (2008).

4. Évaluation de la dépréciation du capital naturel

TABLEAU 4.1. Cas d'évaluation de la dépréciation du capital naturel (suite)

Auteur(s)	Pays et période analysés	Méthode	Résultats
Kumar (2008)	Inde, 1970–2006.	Prix net.	L'étude suggère que l'économie indienne est à peine durable. Il estime la dépréciation naturelle pour les ressources épuisables (minerais) et les ressources renouvelables (forêts). Il estime également la dégradation des sols, de l'air et la pollution d'eaux. Ensuite, il considère les changements dans l'épargne nette ajustée. Finalement, il estime la productivité totale des facteurs de production en utilisant le modèle de croissance de Solow (1974).

Sources : Crowards (1996) ; Vincent (1997) ; Young et Serôa da Motta (1995) ; Common et Sanyal (1998) ; Figueroa, Calfucura et Nuñez (2002) ; Santopietro (1998) ; Blignaut et Hassan (2002) ; Kumar (2008).

4.2.4. Évaluation de la DCM comme résidu macroéconomique

Une méthode alternative pour estimer la dépréciation naturelle est d'utiliser le système de comptabilité nationale (scn). Dans l'optique du revenu, le produit intérieur brut (PIB) est égal à la rémunération des salariés, plus les impôts, moins les subventions sur la production et les importations, plus le revenu mixte brut, plus l'excédent d'exploitation brut.

La rente peut être définie comme l'excédent de la valeur de la production après avoir enlevé toutes les rétributions aux facteurs de production. De cette manière, à la mesure du PIB, nous soustrayons la rémunération des salariés (paiement du facteur travail), la consommation de capital fixe (dépréciation ou amortissement des biens et équipements) et un taux normal de retour sur les investissements de capital fixe (payement au facteur capital) ; et nous obtenons une approximation de la rente (Nations Unies, 2001).

Cette méthode présente l'avantage d'utiliser des informations macroéconomique généralement disponibles. En appliquant ceci au secteur minier métallique péruvien, la représentation

4. Évaluation de la dépréciation du capital naturel

formelle est la suivante

$$\begin{aligned}
 RTH_t &= \lambda \sum_{i=1}^n \left[P_{it} - C_{m,i}(E_{it}) \right] E_{it} \\
 &= \lambda RR_t \\
 &= \lambda (PIB_t - REM_t - CKF_t - OT_t - r_t K_t)
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

où PIB_t est le produit intérieur brut, REM_t est la rémunération des salariés, CKF_t est la consommation de capital fixe, OT_t est les impôts moins les subventions sur la production, r_t est le coût d'opportunité représenté par le taux d'intérêt actif en monnaie étrangère, et K_t est la variable capital représenté par l'actif fixe net de l'activité minière pour la période t . Dans l'équation 4.7, la rente totale de Hotelling est également appelée la rente de la ressource RR_t .

Dans des conditions optimales, le coût moyen $C_{m,i}(E_{it})$ est inférieur au coût marginal $C_{mg,i}(E_{it})$, et l'expression $\sum_{i=1}^n \left[P_{it} - C_{m,i}(E_{it}) \right] E_{it}$ sera supérieure à la rente de Hotelling de l'équation 4.6. En conséquent, nous avons introduit un paramètre de correction λ pour éviter la sous-estimation de la rente de Hotelling.

En se basant sur l'étude économétrique de G. A. Davis et Moore (2000), nous prenons la valeur de 0,7 pour le paramètre de correction. Cette étude mesure la variation entre le coût marginal et le coût moyen dans l'estimation de la rente pour les réserves d'or aux États-Unis. On peut noter que les grandes entreprises péruviennes ont des conditions technologiques et des productivités similaires à celles des mines nord-américaines.

Cette méthode présente l'inconvénient de ne pas différencier le type de ressource, ni le niveau d'extraction. Elle mesure la rente de la ressource de façon globale, pour l'ensemble de l'activité économique sur une période donnée.

Grâce à l'estimation de la dépréciation du capital naturel, nous pouvons mesurer les agrégats macroéconomiques de production et de revenu ajustés par la DCM.

4.3. Estimation de la dépréciation du capital minier

À partir de l'équation 4.7, les données macroéconomiques ont été fournies par le Ministère de l'Énergie et des Mines du Pérou (MEM) et l'Institut National de Statistique et Informatique du Pérou (INEI) pour la période 1994–2004.

Les données de l'actif fixe net ont été compilées à partir des rapports des états financiers que les entreprises minières mettent à disposition du gouvernement. Cette information est disponible pour la grande et la moyenne activité minière. Par contre, les données de la petite activité minière, artisanale, sont estimées sous la forme d'un pourcentage de la production annuelle. Les résultats de l'exercice de l'échantillon des entreprises analysées montrent une augmentation de 92 % des bénéfices entre 1994 et 2004 (annexe F, page 225).

Sur l'ensemble de la période analysée, les résultats nous donnent une dépréciation du capital minier (DCM) de 6 684 millions de US\$. L'activité minière déprécie le capital naturel en moyenne de 33 % de la création de valeur ajoutée minière.

De plus, nous constatons que si le capital investi K ne croît pas au même rythme que les prix, et si le coût d'opportunité r reste constant, la DCM augmente. Les estimations de la DCM sont présentées dans le tableau 4.2.

TABLEAU 4.2. Estimation de la dépréciation du capital minier par une analyse macroéconomique
(millions de us\$ 1994)

Année	PTB minier métal- lique	Taux de crois- sance (%)	Rémuné- rations	Consom- mation de capital fixe	Actif fixe K	Résultats de l'exercice	Taux d'intérêt en monnaie étrangère r^* (%)	$r^* K$	RR	Dépréciation du capital minier DCM
1994	1 594		565	118	1 552	161	15,2	236	675	473
1995	1 652	4	598	124	1 599	521	17,2	275	655	458
1996	1 624	-2	556	141	1 709	453	16,8	287	640	448
1997	1 662	2	531	125	1 735	428	15,6	271	735	515
1998	1 568	-6	534	131	2 061	107	16,8	346	556	389
1999	1 590	1	467	105	1 841	353	14,8	273	745	522
2000	1 594	0	483	96	2 044	193	12,6	258	758	530
2001	1 778	12	583	107	2 601	223	10,2	265	822	576
2002	2 022	14	570	103	3 321	425	10,2	339	1 010	707
2003	2 202	9	535	93	2 998	530	9,3	279	1 295	907
2004	2 363	7	397	99	2 288	661	9,2	210	1 656	1 159

Note : RR est la rente de la ressource, DCM la dépréciation du capital minier, et $\lambda = 0,7$ le paramètre de correction.
On a $DCM = \lambda \cdot RR$.

Source : auteur avec les données de l'INEI

4. Évaluation de la dépréciation du capital naturel

Nous constatons une grande sensibilité de la mesure de la DCM à une variation du paramètre de correction (tableau 4.3). Si ce paramètre est de 0,6 au lieu de 0,7, la DCM augmente de 17 %. Si le paramètre est de 0,8 au lieu de 0,7, la DCM diminue de 12 %. Cette sensibilité montre l'importance de ce paramètre dans le calcul de la DCM.

TABLEAU 4.3. Analyse de sensibilité du paramètre de correction λ dans la mesure de la DCM

Année	Dépréciation du capital minier (millions de US\$ 1994)				
	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$
1994	338	405	473	540	608
1995	327	393	458	524	589
1996	320	384	448	512	576
1997	368	441	515	588	662
1998	278	334	389	445	501
1999	373	447	522	596	671
2000	379	455	530	606	682
2001	411	493	575	658	740
2002	505	606	707	808	909
2003	648	777	907	1 036	1 166
2004	828	994	1 159	1 325	1 491
Sensibilité	+40 %	+17 %		-12 %	-22 %

Source : auteur

Une fois estimée la DCM, nous présentons les agrégats macroéconomiques ajustés par la DCM (tableau 4.4). Les preuves empiriques montrent que la valeur du *PIN* est surestimée et que les décisions politiques ne considèrent pas la dépréciation du capital naturel lié à la principale activité économique du pays.

TABLEAU 4.4. Estimation des agrégats macroéconomiques miniers ajustés par la DCM
(millions de US\$ 1994)

Année	Dépréciation du capital minier DCM	Taux de croissance de la DCM (%)	DCM / PIB minier métallique (%)	PIB minier métallique	Taux de croissance du PIB minier métallique (%)	PIN minier	Taux de croissance du PIN minier (%)	DCM / PIN minier (%)
1994	473		30	1 594		1 476		32
1995	458	-3	28	1 652	4	1 528	4	30
1996	448	-2	28	1 624	-2	1 484	-3	30
1997	515	15	31	1 662	2	1 537	4	33
1998	389	-24	25	1 568	-6	1 437	-7	27
1999	522	34	33	1 590	1	1 485	3	35
2000	530	2	33	1 594	0	1 498	1	35
2001	576	9	32	1 778	12	1 671	12	34
2002	707	23	35	2 022	14	1 918	15	37
2003	907	28	41	2 202	9	2 109	10	43
2004	1 159	28	49	2 363	7	2 264	7	51

Source : auteur

Conclusion

Nous avons montré dans cette partie que la dépréciation du capital minier est en moyenne de 2 % du PNN pour la période 1994–2004, soit 1,4 % du PIB, et que la valeur actuelle du PNN est surestimée. Les décisions politiques ne prennent pas en compte la dépréciation du capital naturel lié à la principale activité économique du pays.

Nous avons exposé une méthodologie d'estimation de la DCM avec une analyse macroéconomique qui ne nécessite que des données macroéconomiques disponibles. Le système de comptes nationaux (SCN) devrait intégrer la DCM parmi les indicateurs macroéconomiques conventionnels, et offrir une plus grande information statistique significative sur l'évaluation des ressources naturelles. Des prises de décisions en matière de politique environnementale seraient ainsi possibles.

L'analyse macroéconomique possède des limites, essentiellement à cause de l'indisponibilité du coût marginal d'extraction de la ressource. Néanmoins, ces limites nous poussent à mesurer la rente de la ressource par une approche microéconomique.

Pour aller plus loin et éviter des biais importants de cette approche et afin de mieux situer la durabilité de l'activité minière péruvienne, la partie suivante estime la DCM en utilisant des données plus précises.

Troisième partie

Analyse microéconomique de la dépréciation du capital minier

Introduction

Dans le but d'avoir une mesure de durabilité plus affinée, nous allons considérer la DCM sous un angle microéconomique.

La construction de la base de données utilisée a été très délicate puisqu'elle a impliqué, non seulement d'obtenir des informations stratégiques de nombreuses entreprises minières (comme les coûts d'opération), mais aussi de considérer le caractère polymétallique des gisements miniers péruviens. Nous utilisons des données par entreprise minière, par minerais et par unité d'extraction.

Nous partons du cadre de la théorie hotellienne pour estimer la rente totale de Hotelling (R_{TH}) comme mesure de la dépréciation du capital naturel.

Pour estimer la R_{TH} , nous construisons une fonction de coût pour l'activité minière péruvienne. Pour prendre en compte le caractère polymétallique des gisements, nous travaillons avec une fonction de coût translog multi-produit.

La fonction de coût de l'activité minière nous montre la grande rentabilité des mines péruviennes. Nous constatons une rentabilité cachée (ou asymétrie d'information) ce qui est un outil important dans la formulation d'un système de taxation minière. De plus, d'autres estimations sont données : les élasticités de substitution des facteurs de production, les flexibilités de coût et les coûts marginaux. Ces dernières estimations sont utilisées dans le calcul de la R_{TH} .

Ayant les coûts marginaux, par agrégation nous estimons la DCM par une approche microéconomique.

5. La théorie des ressources épuisables

La question de l'équité intergénérationnelle dans l'utilisation des ressources naturelles n'a été traitée qu'au cours des années 1970–1980 par des économistes tels que Robert M. Solow et John M. Hartwick, dont les recherches concordantes ont donné naissance à la *règle de Hartwick*¹.

L'élaboration de principes de tarification concernant les ressources épuisables remonte à l'article de Hotelling (1931) intitulé *The Economics of Exhaustible Resources*. Il présente son principe fondamental de la théorie de ressources épuisables motivé par un monde où le stock de ressources naturelles, minières, forestières et autres, demande la régulation du rythme d'extraction. Il a le sentiment que les ressources épuisables sont trop bon marché et que leur extraction ne prend pas en compte les générations futures. Il considère qu'extraire aujourd'hui à un taux excessif baisse les prix des ressources et encourage leur consommation.

Le monde de Hotelling (1931) est toujours d'actualité, ce monde qui lutte entre la conservation, l'implémentation des impôts et la création de monopoles ou de combinaisons qui restreignent le commerce des ressources naturelles. Ces questions n'ont pas changées.

- À quel taux extraire ?
- Quel prix payer pour une ressource épuisable ?
- Quel est le taux de redevance (*royalty*) à imposer ?
- Quelle est notre dette envers les générations futures pour l'usage actuel des ressources ?

Le principe de Hotelling (1931) a des limites pour expliquer la réalité complexe des ressources épuisables. Malgré cela, il reste l'outil de choix pour de nombreux économistes de par sa simplicité et son attrait intuitif.

¹La règle de Hartwick a été traitée dans le chapitre 3 et sera estimée dans le chapitre 8.

Ce chapitre présente l'apport de Hotelling (1931) dans l'analyse des ressources épuisables. Dans une première partie, nous définirons la règle de Hotelling et ses hypothèses ; dans une deuxième partie, nous présenterons les arguments cherchant à réconcilier la théorie avec la réalité, malgré les hypothèses fortes du modèle.

5.1. La règle de Hotelling : principe d'évaluation des ressources épuisables

Étant donné un stock initial de ressources épuisables, lequel peut être réparti sur plusieurs sites, la quantité de ressources disponibles diminue à mesure que celles-ci sont consommées. La taille du stock est une fonction décroissante du taux d'utilisation de la ressource. Le nombre de gisements utilisables peut toutefois augmenter, soit en raison de la découverte de nouveaux gisements, soit parce que certains gisements deviennent économiquement exploitables. Pour note part, nous nous intéressons uniquement aux ressources qui sont techniquement accessibles et économiquement exploitables.

5.1.1. Présentation informelle du modèle de Hotelling

Dans le modèle de base, les hypothèses suivantes sont faites :

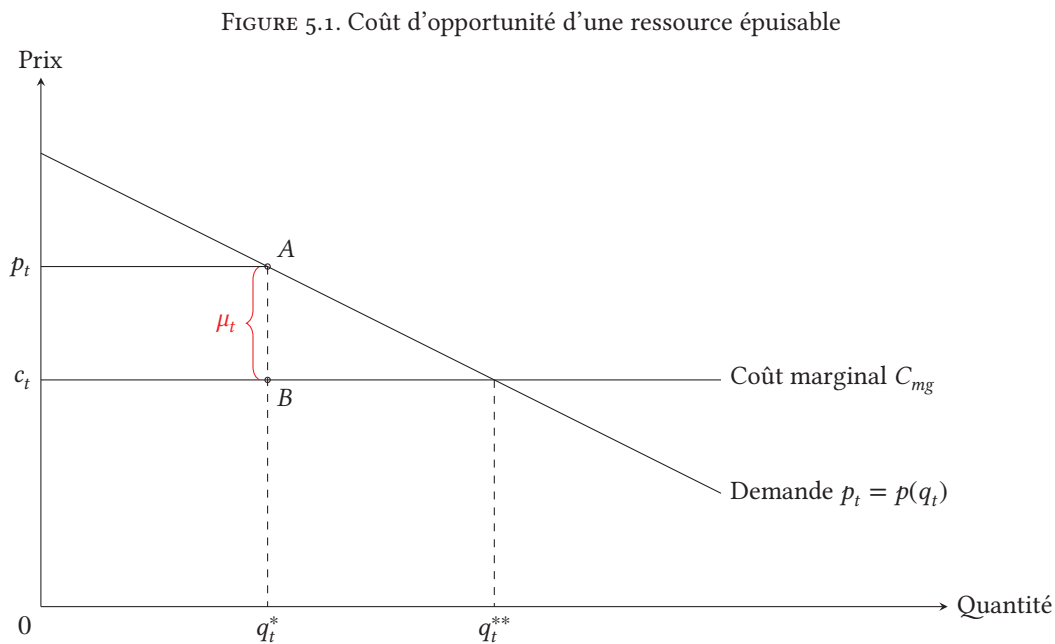
- le détenteur de la ressource est un producteur privé en situation de concurrence parfaite ;
- la demande cumulée épuise tout juste le stock. En d'autres termes, la fonction de demande de ressource est une fonction décroissante du prix de la ressource qui s'annule à la date T d'épuisement de la réserve ;
- le stock de la ressource est connu au départ et égal à S ; ce stock est homogène en degré et qualité. Il n'y a pas de changement technologique ;
- l'information est parfaite sur toute la durée d'exploitation des gisements. Il n'y a pas d'incertitude. Le producteur connaît la taille et la nature de la ressource, ainsi que les coûts et les prix actuels aussi bien que futurs ;

5. La théorie des ressources épuisables

- le taux de préférence pour le producteur au présent (ou taux d'actualisation) est constant et égal au taux d'intérêt r ;
- le producteur rationnel cherche alors à maximiser la séquence de ses profits actualisés sur toute la durée de vie T du gisement sous la contrainte du stock disponible S .

Le profit d'une période est équivalent à la différence entre les recettes procurées par l'exploitation de la ressource (prix multiplié par la quantité prélevée $\int p(q_t) dq_t$) et les coûts engendrés par l'activité d'extraction C_t . Les coûts d'extraction $C_t = C(Q_t, q_t)$ sont une fonction du niveau accumulé d'extraction de la ressource Q_t et de la quantité d'extraction prélevée q_t . Les coûts marginaux d'extraction $\frac{\partial C_t}{\partial Q_t}$ sont négatifs car l'extraction des réserves additionnelles est extrêmement chère.

Pour une ressource épuisable, le prix sera égal à la somme du coût marginal d'extraction et du *coût d'opportunité*, comme on le voit dans la figure 5.1.



Source : Fisher (1981)

La première condition d'une dépréciation optimale implique que la ressource naturelle sera moins extraite qu'une ressource productive ordinaire. Dans la figure 5.1, la demande est $p_t = p(q_t)$, dont seulement q_t^* sera extraite car l'entreprise cherche à répartir l'extraction sur le temps. La différence positive $AB = \mu_t$ est le coût d'opportunité (Gray, 1913).

5. La théorie des ressources épuisables

La deuxième condition d'une dépréciation optimale décrit le comportement du coût d'opportunité μ_t dans le temps. Il s'agit du bénéfice net d'extraire une unité aujourd'hui. Le coût d'opportunité variant dans le temps, on peut s'interroger sur le meilleur moment pour extraire la ressource afin d'obtenir un bénéfice social optimal.

La différence entre le prix et le coût marginal n'est pas un profit au sens économique ; c'est une *royalty* ou la valeur *in situ* de la ressource ; c'est aussi le prix de la ressource épuisable. C'est le coût d'opportunité d'extraire la ressource dans le futur.

La règle de Hotelling soutient que le coût d'opportunité d'une ressource épuisable μ_t augmente exponentiellement, à taux égal au taux d'intérêt.

La règle de Hotelling implique que le prix de la ressource tienne compte du coût d'opportunité ³ supporté par l'entreprise ou la collectivité dont la ressource s'épuise. Le caractère épuisable d'une ressource semble donc justifier la dissociation entre prix et coût marginal. Il s'agit alors de trouver à quel rythme ce coût d'opportunité μ_t doit évoluer dans le temps, afin de déterminer le sentier d'extraction optimal de la réserve prouvée S . On suppose qu'il existe un sentier optimal d'épuisement d'une ressource épuisable, dont la réserve est supposée connue au départ, et de plus qu'à ce sentier est associé un rythme optimal d'évolution du prix de cette ressource.

Les figures 5.2 et 5.3 montrent le système décrit par le modèle de base de Hotelling.

Dans le quadrant 2 des deux figures, nous avons le sentier de prix optimal de la ressource au cours du temps issu de la règle de Hotelling. Le quadrant 1 donne le tracé de la courbe de demande, et montre la relation inverse entre prix et quantité extraite. Le quadrant 4 est une droite qui sert uniquement à établir une correspondance entre les quadrants 2 et 3. Le quadrant 3 nous fournit la trajectoire temporelle de la quantité demandée ou extraite.

Dans la figure 5.2, nous voyons que si la demande s'élève, et que nous voulons conserver la même trajectoire d'extraction et donc la même date d'épuisement, il faudra que le prix initial

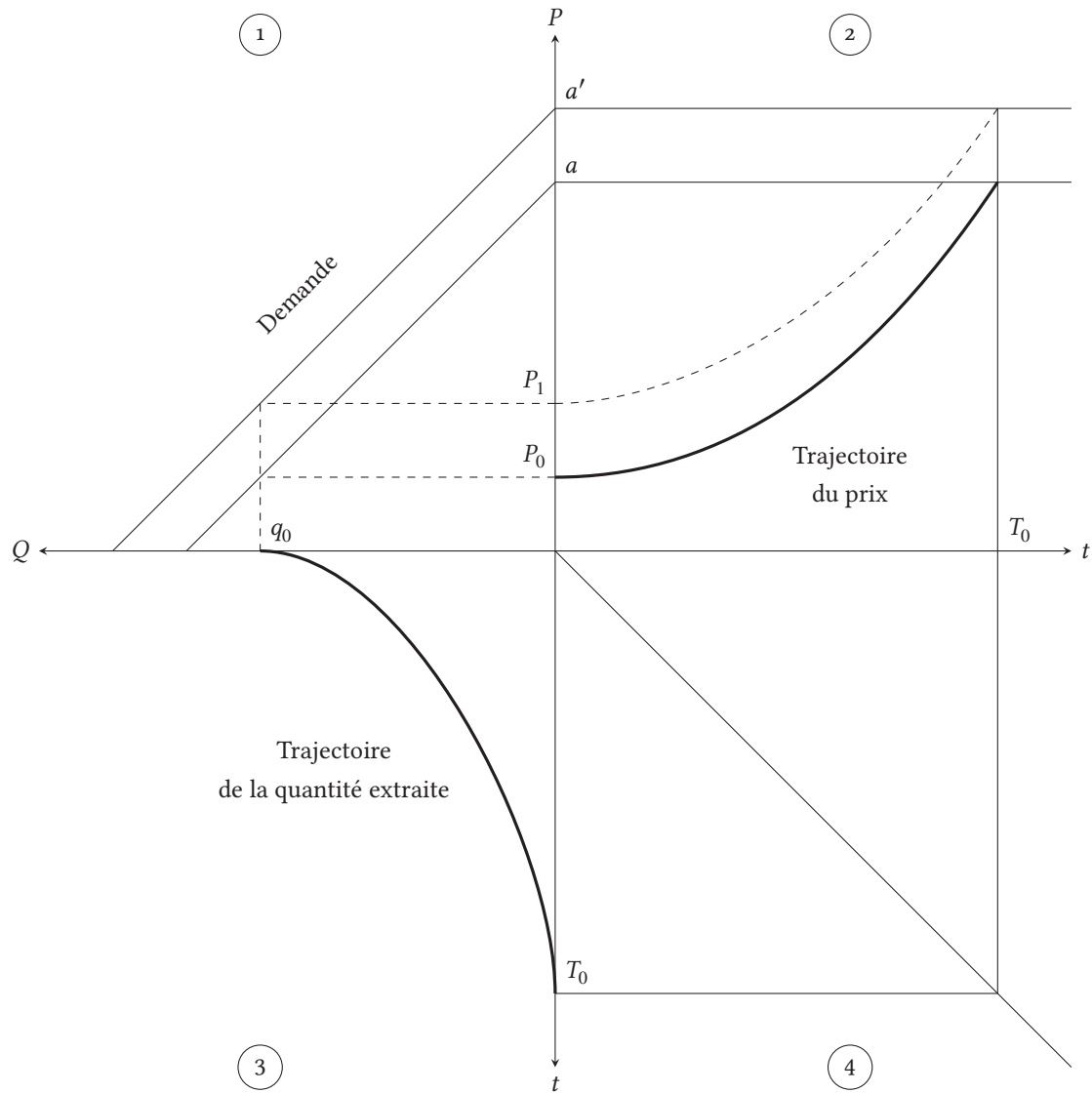
²Dans la littérature, on trouve plusieurs manières de nommer la différence entre le prix et le coût marginal : coût d'usage (coût d'opportunité d'extraction d'une unité aujourd'hui), *royalty*, rente de la ressource, prix net et profit marginal. Nous l'appellerons rente de Hotelling ou *royalty*.

³On parle indifféremment de coût d'opportunité, de coût marginal d'usage, de prix net du coût d'extraction ou encore de rente de rareté. Ces différents concepts sont détaillés dans le second chapitre. Pour Tietenberg (2006), le coût d'usage est le coût d'opportunité créée par la rareté et représente la valeur d'opportunité que la ressource ne soit pas utilisée par un meilleur usage futur. La rente de rareté est le surplus qui persiste à long terme et elle est due à une provision fixe et à l'augmentation des coûts d'extraction.

5. La théorie des ressources épuisables

s'élève de P_0 à P_1 . En suivant la règle de Hotelling, la trajectoire du prix s'élève de a à a' .

FIGURE 5.2. Influence de la variation de la demande sur les trajectoires de prix et sur les quantités d'une ressource épuisable



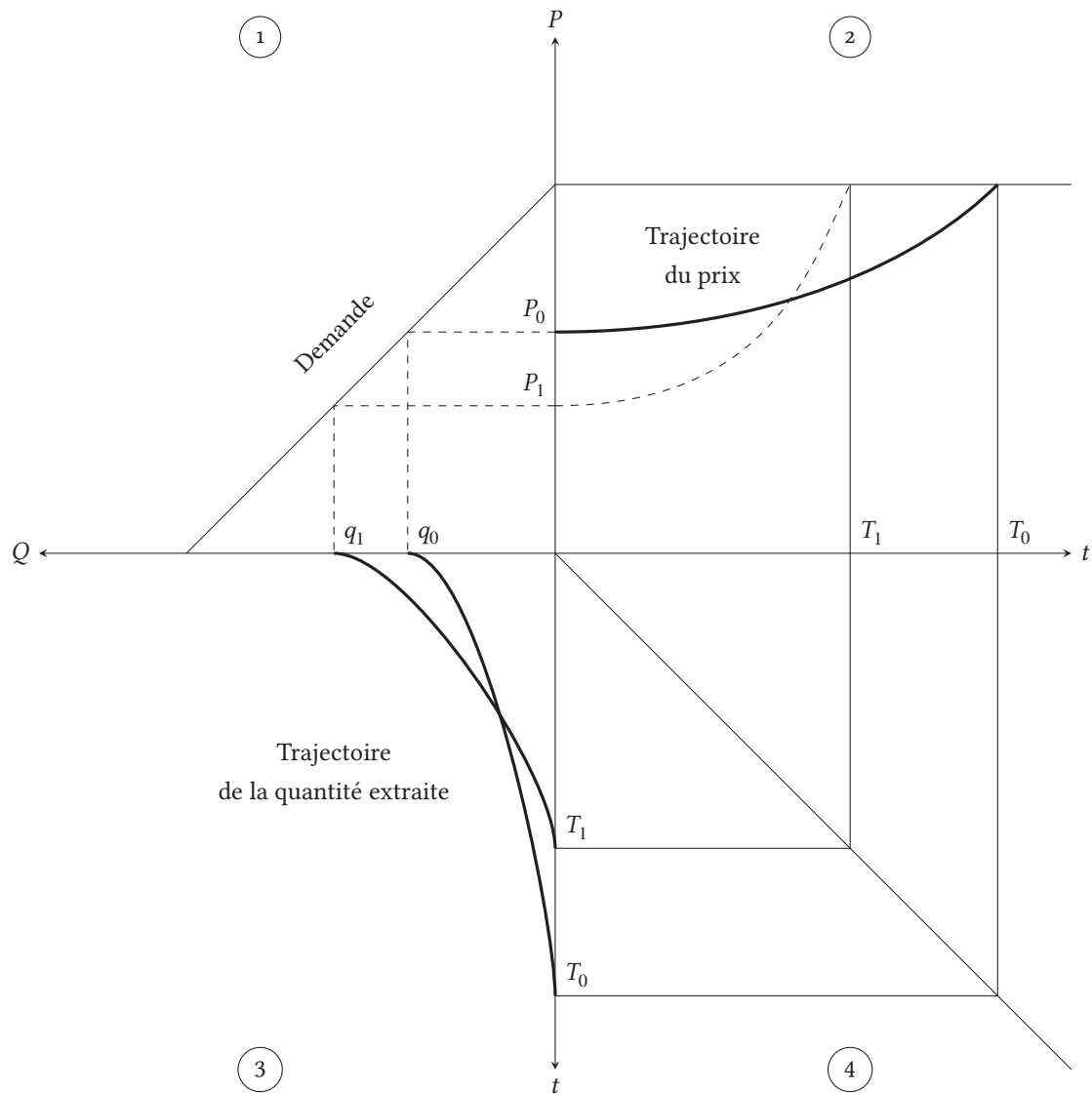
Source : Faucheux et Noël (1995)

Dans la figure 5.3, nous analysons l'impact d'une variation du taux d'actualisation. Dans le modèle de Hotelling, le taux d'intérêt joue également le rôle du taux d'actualisation. Il sert à escompter les profits futurs permis par l'extraction de la ressource. Un taux d'actualisation élevé incite les entreprises à bénéficier maintenant plutôt qu'ultérieurement des bénéfices de l'extraction. C'est pourquoi les défenseurs de l'environnement recommandent un taux faible, voire nul pour les ressources épuisables. En reprenant la figure 5.3, un accroissement du taux

5. La théorie des ressources épuisables

d'actualisation, à demande constante, entraîne à la fois une modification de la trajectoire du prix et une modification de la trajectoire des quantités extraites. En conclusion, le stock de la ressource s'épuise plus rapidement, ce que l'on voit dans la figure lorsque la date d'épuisement passe de T_0 à T_1 .

FIGURE 5.3. Influence de la variation du taux d'actualisation (taux d'intérêt) sur les trajectoires de prix et sur les quantités d'une ressource épuisable



Source : Faucheux et Noël (1995)

5.1.2. Règle de Hotelling discrète dans le temps

On considère n entreprises minières identiques qui exploitent la même ressource non renouvelable. Nous supposons $n = 1$ afin d'alléger les notations.

On se place dans le cadre d'un modèle à *temps discret*, c'est-à-dire que le temps t ne peut prendre que des valeurs entières. Le temps t est exprimé dans une unité arbitraire (année, mois, jour, etc.), et varie entre $t = 0$ (état initial) et $t = T$ (date d'épuisement de la ressource).

On note S le stock initial total de la ressource et Q_t le stock restant à l'instant t .

Hypothèses :

- le coût total d'extraction $C = C(q, Q)$ est ne dépend que de la quantité à extraire q et du stock restant Q ;
- le prix du marché de la ressource $p = p(q)$ ne dépend que de la quantité extraite q ;
- le taux d'actualisation r est constant.

Variables :

- q_t (où $0 \leq t \leq T - 1$) : quantité extraite entre les instants t et $t + 1$;
- Q_t : stock restant à l'instant t .

Notations :

- $C_t = C(q_t, Q_t)$ est le coût total d'extraction entre les instants t et $t + 1$;
- $c_t = \frac{\partial C}{\partial q}(q_t, Q_t)$ est le coût marginal d'extraction à l'instant t ;
- $\omega_t = \frac{\partial C}{\partial Q}(q_t, Q_t)$. Cette quantité représente la sensibilité du prix au stock et est normalement négative (moins il y a de stock, plus le prix augmente) ;
- $p_t = p(q_t)$ est le prix (aussi appelé demande) de la ressource extraite entre les instants t et $t + 1$;

5. La théorie des ressources épuisables

- $\mu_t = p_t - c_t$ est le *coût d'opportunité* à l'instant t ;
- $B_t = \int_0^{q_t} p(\xi) d\xi$ est le bénéfice entre les instants t et $t + 1$.

On définit la *valeur nette totale* de la ressource comme

$$V_0 = \sum_{t=0}^{T-1} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (5.1)$$

On considère V_0 comme une fonction des $2T + 1$ variables $(q_0, q_1, \dots, q_{T-1}, Q_0, Q_1, \dots, Q_T)$, et on cherche à maximiser V_0 sous les contraintes suivantes

$$\begin{cases} Q_0 = S, \\ Q_{t+1} = Q_t - q_t \quad \text{pour } 0 \leq t \leq T-1, \\ Q_T = 0. \end{cases} \quad (5.2)$$

On remarque que ces conditions entraînent

$$\sum_{t=0}^{T-1} q_t = \sum_{t=0}^{T-1} (Q_t - Q_{t+1}) = Q_0 - Q_T = S \quad (5.3)$$

Pour cela, on introduit le lagrangien associé

$$\mathcal{L} = V_0 + \alpha(S - Q_0) + \sum_{t=0}^{T-1} \lambda_t(Q_t - Q_{t+1} - q_t) + \beta(0 - Q_T) \quad (5.4)$$

où $(\alpha, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{T-1}, \beta)$ sont les multiplicateurs de Lagrange.

À l'optimum, on a nécessairement les contraintes données par le système d'équations 5.2, mais aussi

$$\begin{cases} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_0} = \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_1} = \dots = \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_{T-1}} = 0 \\ \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Q_0} = \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Q_1} = \dots = \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Q_T} = 0 \end{cases} \quad (5.5)$$

Pour expliciter ce système, il faut calculer les dérivées partielles. Commençons par remarquer que pour t et τ compris entre 0 et $T - 1$, on a

$$\frac{\partial B_t}{\partial q_\tau} = \begin{cases} p_t & \text{si } \tau = t \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad \text{et} \quad \frac{\partial C_t}{\partial q_\tau} = \begin{cases} c_t & \text{si } \tau = t \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (5.6)$$

5. La théorie des ressources épuisables

On en déduit que, pour $0 \leq t \leq T - 1$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial V_0}{\partial q_t} &= \sum_{\tau=0}^{T-1} \frac{1}{(1+r)^\tau} \left(\frac{\partial B_t}{\partial q_\tau} - \frac{\partial C_t}{\partial q_\tau} \right) \\
 &= \frac{1}{(1+r)^t} \left(\frac{\partial B_t}{\partial q_t} - \frac{\partial C_t}{\partial q_t} \right) \\
 &= \frac{1}{(1+r)^t} (p_t - c_t) \\
 \frac{\partial V_0}{\partial q_t} &= \frac{\mu_t}{(1+r)^t}
 \end{aligned} \tag{5.7}$$

Ainsi, pour $0 \leq t \leq T - 1$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_t} = \frac{\mu_t}{(1+r)^t} - \lambda_t \tag{5.8}$$

Un calcul analogue des dérivées partielles par rapport aux variables Q_t donne

$$\frac{\partial V_0}{\partial Q_t} = \begin{cases} -\frac{\omega_t}{(1+r)^t} & \text{si } 0 \leq t \leq T - 1 \\ 0 & \text{si } t = T \end{cases} \tag{5.9}$$

puis

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Q_t} = \begin{cases} -\omega_0 + \lambda_0 - \alpha & \text{si } t = 0 \\ -\frac{\omega_t}{(1+r)^t} + \lambda_t - \lambda_{t-1} & \text{si } 1 \leq t \leq T - 1 \\ -\lambda_{T-1} - \beta & \text{si } t = T \end{cases} \tag{5.10}$$

Les conditions de Lagrange (équations 5.5) deviennent

$$\begin{cases} \lambda_t = \frac{\mu_t}{(1+r)^t} & \text{pour } 0 \leq t \leq T - 1 \\ \lambda_t - \lambda_{t-1} = \frac{\omega_t}{(1+r)^t} & \text{pour } 1 \leq t \leq T - 1 \\ \alpha = \lambda_0 - \omega_0 \\ \beta = -\lambda_{T-1} \end{cases} \tag{5.11}$$

Des deux premières lignes, on déduit que pour $1 \leq t \leq T - 1$, on a

$$\frac{\mu_t}{(1+r)^t} - \frac{\mu_{t-1}}{(1+r)^{t-1}} = \frac{\omega_t}{(1+r)^t} \tag{5.12}$$

5. La théorie des ressources épuisables

ce qui s'écrit classiquement

ÉQUATION 5.13. Règle de Hotelling discrète

$$\mu_t = (1 + r)\mu_{t-1} + \omega_t \quad (5.13)$$

Cas où le prix ne dépend pas du stock

Dans le cas particulier où le coût total d'extraction ne dépend pas du stock, on a $\frac{\partial C}{\partial Q} = 0$, et donc $\omega_t = 0$, d'où

$$\mu_t = (1 + r)\mu_{t-1} \quad \text{pour } 1 \leq t \leq T - 1 \quad (5.14)$$

ce qui se résout immédiatement en

ÉQUATION 5.15. Règle de Hotelling discrète (cas simple)

$$\mu_t = \mu_0(1 + r)^t \quad \text{pour } 0 \leq t \leq T - 1 \quad (5.15)$$

Nous allons chercher à calculer la valeur du stock V_0 . Pour cela, nous commençons par calculer ses dérivées partielles.

On remplace dans l'équation 5.7, d'où

$$\frac{\partial V_0}{\partial q_t} = \frac{\mu_t}{(1 + r)^t} = \mu_0 \quad \text{pour } 0 \leq t \leq T - 1 \quad (5.16)$$

De plus, comme $\omega_t = 0$, l'équation 5.9 nous donne

$$\frac{\partial V_0}{\partial Q_t} = 0 \quad \text{pour } 0 \leq t \leq T \quad (5.17)$$

Nous voulons montrer que $V_0 = \mu_0 \sum_{t=0}^{T-1} q_t$. Pour cela, nous introduisons la fonction auxiliaire

$$\tilde{V}_0(q_0, \dots, q_{T-1}, Q_0, \dots, Q_T) = V_0 - \mu_0 \sum_{t=0}^{T-1} q_t \quad (5.18)$$

5. La théorie des ressources épuisables

Les deux équations précédentes (5.16 et 5.17) deviennent alors

$$\begin{cases} \frac{\partial \tilde{V}_0}{\partial q_t} = 0 & \text{pour } 0 \leq t \leq T-1 \\ \frac{\partial \tilde{V}_0}{\partial Q_t} = 0 & \text{pour } 0 \leq t \leq T \end{cases} \quad (5.19)$$

On en déduit que $\tilde{V}_0$ est une fonction constante.

On l'évalue au point $(q_0, \dots, q_{T-1}, Q_0, \dots, Q_T) = (0, \dots, 0, S, \dots, S)$ correspondant au cas où il n'y a aucune extraction, donc la constante est nulle. Ainsi, $\tilde{V}_0$ est la fonction nulle.

Ainsi, d'après 5.18, on a donc

$$V_0 = \mu_0 \sum_{t=0}^{T-1} q_t \quad (5.20)$$

Si l'on se restreint au domaine vérifiant les contraintes (équations 5.3), on arrive finalement à

ÉQUATION 5.21. Valeur optimale des réserves

$$V_0 = \mu_0 S \quad (5.21)$$

Vu l'équation 5.21, quand les prix et les coûts suivent la règle de Hotelling, la valeur présente totale des réserves dépend du coût d'opportunité. Cette expression est également appelée *principe d'évaluation de Hotelling*.

Cas où le prix dépend du stock

Dans l'expression la plus simple de la règle de Hotelling (équation 5.15), on suppose que les ressources sont extraites à un coût qui ne dépend pas du stock restant. Cette hypothèse pourrait être acceptable dans le cas de pays très riches en ressources naturelles, mais il est plus réaliste de supposer que le coût est une fonction décroissante du stock, c'est-à-dire que $\frac{\partial C}{\partial Q} < 0$.

Pour simplifier, plaçons-nous dans le cas où $\omega_t = \frac{\partial C}{\partial Q}(q_t, Q_t)$ est constant et égal à ω . L'équation 5.13 se réécrit

$$\mu_t = (1 + r)\mu_{t-1} + \omega \quad (5.22)$$

Il s'agit d'une relation de récurrence arithmico-géométrique. Pour la résoudre, introduisons

5. La théorie des ressources épuisables

$\tilde{\mu}_t = \mu_t + \frac{\omega}{r}$. On a alors

$$\begin{aligned}\tilde{\mu}_t &= \mu_t + \frac{\omega}{r} \\ &= \left[(1+r)\mu_{t-1} + \omega \right] + \frac{\omega}{r} \\ &= (1+r)\left(\tilde{\mu}_{t-1} - \frac{\omega}{r}\right) + \omega + \frac{\omega}{r} \\ \tilde{\mu}_t &= (1+r)\tilde{\mu}_{t-1}\end{aligned}\tag{5.23}$$

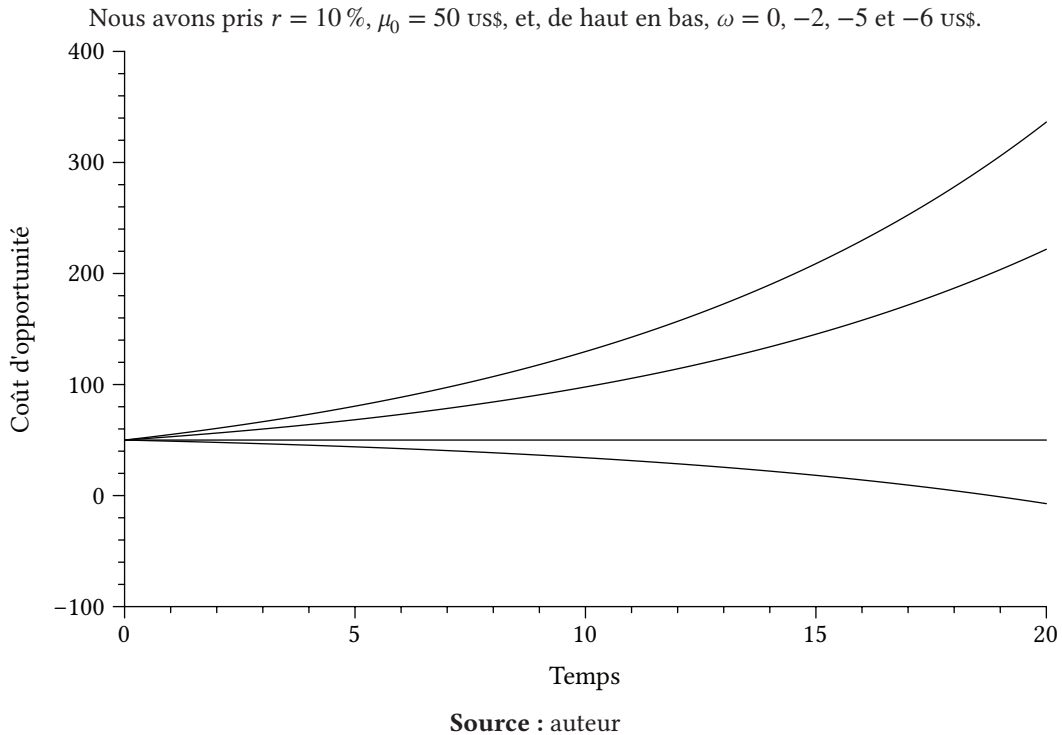
On en déduit immédiatement que $\tilde{\mu}_t = \tilde{\mu}_0(1+r)^t$, puis que

ÉQUATION 5.24. Règle de Hotelling discrète (cas $\partial C/\partial Q = \omega$ constant)

$$\mu_t = \left(\mu_0 + \frac{\omega}{r}\right)(1+r)^t - \frac{\omega}{r}\tag{5.24}$$

Avec cette équation, nous réalisons le graphique 5.1. Nous voyons que plus $-\omega$ est important, plus le coût d'opportunité diminue. Celui-ci peut même devenir négatif si $-\omega > r\mu_0$.

GRAPHIQUE 5.1 Influence de $\omega = \partial C/\partial Q$ sur le coût d'opportunité



Si $\frac{\partial C}{\partial Q} = \omega = 0$, la variation du stock et la rente de la ressource varient au rythme du taux d'actualisation. Si, par contre, nous avons $\omega < 0$, c'est-à-dire que la variation du coût total

par rapport au stock augmente à mesure que le stock de la ressource s'épuise, alors le taux de changement de la rente de Hotelling est inférieur au taux d'intérêt. L'écart constitué par ω est une forme de dividende associé au maintien d'une unité de stock.

L'hypothèse que $\frac{\partial C}{\partial Q}$ est constant est encore irréaliste, car il y a un effet de stock. Plus Q diminue, plus $-\frac{\partial C}{\partial Q}$ devient important. Les ressources les plus accessibles sont extraites au départ et les gisements plus éloignés sont plus coûteux.

Cependant, $-\frac{\partial C}{\partial Q}$ peut aussi diminuer grâce au progrès technique, lequel explique la forme en U de l'évolution des prix. Ceux-ci ont une tendance à la baisse pour remonter dans le temps (Slade, 1982b).

Si le progrès technique est une défaillance de la règle de Hotelling, nous pouvons en déduire deux choses. D'abord, la chute des prix est temporaire, car l'action de l'épuisement dans le long terme élève les prix. Ensuite, le progrès technique n'arrive pas seul, il a des répercussions dans les autres secteurs de l'économie. Selon la règle de Hotelling, le prix de la ressource est une combinaison de la valeur *in situ* qui augmente dans le temps, et de $\frac{\partial C}{\partial Q}$ qui décroît avec le progrès technique.

5.1.3. Règle de Hotelling continue dans le temps

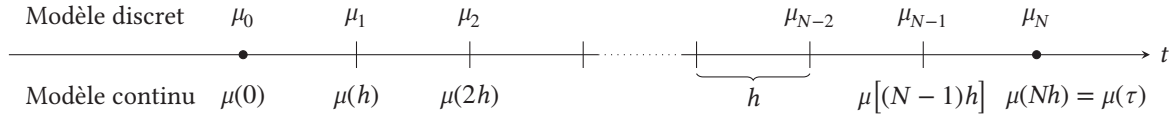
Le plus simple est de repartir de la règle de Hotelling discrète, et de faire tendre le pas de discrétisation (c'est-à-dire l'unité dans laquelle est exprimé t dans le modèle discret) vers 0.

Nous nous placerons dans le cas où $\frac{\partial C}{\partial Q} = 0$, mais on pourrait traiter de la même manière le cas où $\frac{\partial C}{\partial Q}$ est constant.

Soit $\tau > 0$ fixé, inférieur au temps d'épuisement T . Nous allons chercher à déterminer $\mu(\tau)$. Pour cela, nous divisons l'intervalle $[0, \tau]$ en N parts égales, chacune de longueur $h = \frac{\tau}{N}$. Nous allons utiliser le modèle discret μ_t avec t exprimé dans l'unité h (figure 5.4).

5. La théorie des ressources épuisables

FIGURE 5.4. Lien entre modèles discret et continu



Source : auteur

Sur chaque petit intervalle du modèle discret, nous considérerons que le taux d'actualisation est $\rho = rh$. Une autre possibilité serait de prendre $\rho = (1 + r)^h - 1$, ce qui donne quasiment le même résultat quand r est petit ⁴.

Reprenons l'équation du modèle discret (équation 5.15), qui s'écrit

$$\mu_t = \mu_0(1 + \rho)^t = \mu_0(1 + rh)^t = \mu_0 \left(1 + \frac{r\tau}{N}\right)^t \quad (5.25)$$

Quand on fait tendre N vers $+\infty$, le modèle discret s'approche du modèle continu, donc

$$\mu_N \xrightarrow{N \rightarrow +\infty} \mu(\tau) \quad (5.26)$$

Or d'après l'équation 5.25, on a

$$\mu_N = \mu_0 \left(1 + \frac{r\tau}{N}\right)^N \xrightarrow{N \rightarrow +\infty} \mu_0 e^{r\tau} \quad (5.27)$$

De ces deux dernières équations, nous déduisons que

$$\mu(\tau) = \mu_0 e^{r\tau} \quad (5.28)$$

Comme cela est valable pour tout τ , nous obtenons le modèle classique continu de la règle de Hotelling

ÉQUATION 5.29. Règle de Hotelling continue

$$\mu(t) = \mu_0 e^{rt} \quad (5.29)$$

⁴On arriverait à $\mu(t) = \mu_0(1 + r)^t = e^{\ln(1+r)t}$. Les expressions coïncident quand r est petit car alors $\ln(1 + r) \approx r$.

5.2. La réconciliation entre la théorie hotellienne et ses défaillances

La règle de Hotelling dans sa version simple ne s'approche pas de la réalité à cause de ses hypothèses très restrictives. Dans cette section, nous présenterons l'analyse de Kronenberg (2008) qui cherche à réconcilier la théorie et ses défaillances.

La pertinence de la règle de Hotelling dépendra de la nature de la défaillance.

5.2.1. L'exploration

Le modèle de base de Hotelling suppose que le stock de la ressource est fini, connu et certain. Dans la réalité, de nouveaux gisements peuvent être découverts par hasard ou par des efforts d'exploration et ils amplifient le stock de la ressource. Cet effet de stock pourrait diminuer les coûts d'extraction. Dans ce cas, le coût d'opportunité diminue dans des périodes caractérisées par des explorations importantes.

Les coûts d'exploration dépendent de la fréquence, de la qualité et de la taille des nouveaux gisements. De plus, l'exploration représente un coût qui pourrait simplement être ajouté au coût d'extraction. Les entreprises se basent sur les estimations des nouvelles réserves pour décider ou non d'extraire. Ces estimations seront révisées une fois l'information révélée ; néanmoins la règle de Hotelling reste applicable si les estimations des réserves ne sont pas systématiquement incorrectes.

5.2.2. La concurrence imparfaite

L'extraction de ressources épuisables a une tendance monopolistique due aux forts investissements en actifs fixes. Dans ce scénario, le revenu marginal sera donné par le profit en concurrence parfaite plus le profit lié au monopole.

Le revenu marginal en concurrence monopolistique s'exprime en

$$R_{mg,t} = \mu_t^* = \mu_t + \mu_t' q_t \quad (5.30)$$

5. La théorie des ressources épuisables

Nous supposons que le fournisseur monopolistique suit la règle de Hotelling donnée par l'équation 5.14

$$\mu_{t+1}^* = (1 + r)\mu_t^* \quad (5.31)$$

D'après les deux équations précédentes, la règle de Hotelling modifiée sera

$$\mu_{t+1} + \mu'_{t+1}q_{t+1} = (1 + r)(\mu_t + \mu'_t q_t) \quad (5.32)$$

Or l'élasticité-prix est définie par

$$\epsilon_t = \frac{\partial q_t}{\partial \mu_t} \cdot \frac{\mu_t}{q_t} \quad (5.33)$$

d'où

$$\begin{aligned} \epsilon_t \frac{\partial \mu_t}{\partial q_t} &= \frac{\mu_t}{q_t} \\ \mu'_t &= \frac{\partial \mu_t}{\partial q_t} = \frac{\mu_t}{\epsilon_t q_t} \\ \mu_t^* &= \mu_t + \mu'_t q_t = \mu_t \left(1 + \frac{1}{\epsilon_t} \right) \end{aligned} \quad (5.34)$$

Des équations 5.31 et 5.34, on déduit alors

$$\mu_{t+1} = \frac{\mu_{t+1}^*}{1 + \frac{1}{\epsilon_{t+1}}} = \frac{(1 + r)\mu_t^*}{1 + \frac{1}{\epsilon_{t+1}}} = \frac{(1 + r)\left(1 + \frac{1}{\epsilon_t}\right)\mu_t}{1 + \frac{1}{\epsilon_{t+1}}} \quad (5.35)$$

et finalement

ÉQUATION 5.36. Taux de croissance du coût d'opportunité en fonction de l'élasticité

$$\frac{\mu_{t+1}}{\mu_t} = (1 + r) \cdot \frac{1 + \frac{1}{\epsilon_t}}{1 + \frac{1}{\epsilon_{t+1}}} \quad (5.36)$$

Ainsi, le sentier du coût d'opportunité dépend de l'évolution de l'élasticité-prix. De l'équation 5.36, nous déduisons un fait important : *si l'élasticité ne varie pas*⁵, l'équation se réduit à la règle de Hotelling la plus simple, l'équation 5.14. Autrement dit, dans le marché d'une ressource épuisable, un monopole réagira comme une firme compétitive (Stiglitz, 1976).

⁵Un exemple est donné par la fonction de demande à élasticité constante obtenue si la ressource est un *input* dans une fonction de production Cobb-Douglas.

L'équation 5.36 nous montre que le coût d'opportunité varie dans le même sens que l'élasticité-prix. Autrement dit, si l'élasticité augmente, un fournisseur monopolistique pourra extraire plus de ressources que prévu par la règle de Hotelling. Par contre, si l'élasticité diminue, l'extraction sera inférieure à ce que prévoit Hotelling.

5.2.3. L'incertitude dans les droits de propriété

La règle de Hotelling suppose que les droits de propriété sont bien définis et protégés par un cadre institutionnel. Dans la réalité, les pays riches en ressources naturelles sont souvent victimes de la corruption et de la faiblesse des institutions.

Si η est la probabilité de conserver les droits d'extraction dans la période suivante, la règle de Hotelling modifiée sera :

ÉQUATION 5.37. Règle de Hotelling modifiée par la probabilité de conserver les droits d'extraction

$$\mu_{t+1} = \mu_t \eta (1 + r) \quad (5.37)$$

L'équation 5.37 montre que l'incertitude réduit le prix de la ressource. Plus les droits d'extraction sont incertains, plus l'entreprise sera incitée à extraire rapidement, à un taux supérieur à l'optimum social.

5.2.4. L'interaction stratégique

Une autre défaillance de la règle de Hotelling est l'interaction entre l'entreprise extractive E et les consommateurs C . Dans le cas où le stock est connu par E mais pas par C , l'entreprise E a intérêt à garder cette information pour influencer le prix et C pourrait perdre confiance. Sans interaction stratégique, C aura fort intérêt à développer une technologie de remplacement (*backstop*) et à chercher un substitut à la ressource naturelle. Les efforts en recherche et développement prennent du temps et sont coûteux. E peut retarder les efforts de C en partageant l'information.

Si E surestime le stock de la ressource, l'extraction augmente. De la même façon, C a intérêt à annoncer des développements technologiques. L'expérience montre que dans l'industrie pétrolière, les réserves ont tendance à être surestimées car leurs valeurs d'actifs dépendent

5. La théorie des ressources épuisables

justement de ces estimations. La surestimation génère sur le marché une augmentation du taux d'extraction et un retard dans le développement de technologies alternatives.

6. Fonction de coût pour l'activité minière péruvienne

Après un aperçu de la théorie des ressources épuisables, nous utilisons la règle de Hotelling pour analyser l'activité minière péruvienne. Nous partons de la construction d'une fonction de coût, dans l'objectif d'évaluer la rente de Hotelling.

Ce chapitre présente la construction d'une fonction de coût *translog multi-produit* qui rassemble les principales caractéristiques de l'activité minière nationale et qui permet d'identifier la participation des différents facteurs productifs dans les coûts totaux.

Pour la modélisation de la fonction de coût, nous utilisons la fonction translogarithmique, connue comme fonction translog (Christensen, Jorgenson et Lau, 1973). Nous utilisons cette approche au lieu d'une fonction de production, car en général les entreprises minières ne déterminent pas le niveau de production qui leur permettrait de maximiser leurs profits, mais produisent au maximum de leurs capacités installées. Ainsi, les décisions à l'intérieur de la firme ne commencent pas par définir la quantité à produire, mais par définir quel est le niveau optimal de facteurs de production. De plus, l'activité minière est en concurrence avec d'autres industries pour des facteurs de production rares. La fonction translog a l'avantage d'être assez flexible, car elle n'impose pas de restrictions sur les élasticités techniques de substitution ni sur les rendements d'échelle.

Nous utilisons l'approche multi-produit (Caves, Christensen et Tretheway, 1980) car elle nous permet d'incorporer la dimension polymétallique des différents gisements péruviens. La production q est monétarisée en milliers de US\$ et désagrégée de la façon suivante :

- production des métaux précieux q_{mp} : la production d'or et celle d'argent mesurée en once et multipliée par les cotations internationales ;

- production polymétallique q_{polym} : la production de zinc, d'étain, de cuivre, de plomb et de fer mesurée en tonnes et multipliée par les cotations internationales.

Ce chapitre est organisé de la manière suivante : nous définissons la fonction de coût translog multi-produit et ses hypothèses ; puis nous estimons les paramètres de la fonction de coût, les parts des facteurs de production (*cost shares*), les élasticités de substitution de chaque facteur de production et les coûts marginaux.

6.1. Fonction de coût translogarithmique multi-produit

Nous partons de trois hypothèses :

1. les prix des *inputs* sont prédéterminés, c'est-à-dire que les entreprises sont preneuses de prix sur le marché de facteurs ;
2. la fonction de production de l'industrie présente des rendements d'échelle constants ¹ ;
3. les entreprises minimisent leurs coûts selon les hypothèses 1 et 2.

La fonction de coût à 2 productions (q_{mp} et q_{polym}) et 3 facteurs de production (travail L , capital K et énergie E) intégrant un progrès technique non neutre au sens de Hicks (1939) ² est spécifiée par l'équation suivante ³

¹Pour l'estimation des paramètres avec rendements d'échelle variables, voir Chan et Mountain (1983) ; Kim (1992). Ils présentent une fonction translog avec des parts des facteurs en séparant les rendements d'échelle.

²Le progrès technique est neutre au sens de Hicks (1939) s'il ne porte que sur le produit. On définit donc le progrès technique par l'accroissement du produit qui ne peut pas être attribué aux variations dans les quantités d'*inputs*. Cette définition permet en outre d'assimiler progrès technique neutre au sens de Hicks (1939) et taux de croissance de la productivité totale des facteurs de production (Solow, 1957).

³Binswanger, 1974 ; Boussemart, 1989 ; Christensen, Jorgenson et Lau, 1973 ; Reynès et Yeddir-Tamsamani, 2009.

6. Fonction de coût pour l'activité minière péruvienne

ÉQUATION 6.1. Modèle translog multi-produit

$$\begin{aligned} \ln C(q, p, t) = & a_0 + \sum_i b_i \ln(q_i) + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j c_{ij} \ln(q_i) \ln(q_j) + \sum_j d_j \ln(p_j) \\ & + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j f_{ij} \ln(p_i) \ln(p_j) + \sum_i \sum_j g_{ij} \ln(q_i) \ln(p_j) \\ & + ht + \sum_i k_i \ln(p_i)t + \sum_j n_j \ln(q_j)t + \frac{1}{2} wt^2 \end{aligned} \quad (6.1)$$

où

- C : coût total opérationnel par entreprise minière
- q : production minière par entreprise ; soit de q_{mp} , soit q_{polym} .
- p_i, p_j : prix des *inputs*
- i, j : facteur de production, L le travail, K est le capital, E l'énergie
- t : temps

Nous supposons également que l'équation 6.1 est homogène par rapport aux prix des facteurs. Ainsi les restrictions nécessaires et suffisantes sont

- $\sum_i d_i = 1$, la somme des parts des facteurs de production dans le coût est égale à 100 %
- $\sum_j f_{ij} = 0$, la part du facteur j dans la production s_i ne varie pas lorsque les prix des *inputs* augmentent dans la même proportion
- $\sum_i g_{ij} = 0$, pour tout production j , la somme des biais d'échelle est nulle. La flexibilité du coût par rapport à la production j ne varie pas si tous les prix augmentent dans la même proportion
- la symétrie des différentielles d'ordre 2 impose $c_{ij} = c_{ji}$ et $f_{ij} = f_{ji}$, pour tous i et j .
- $\sum_i k_i = 0$, l'impact total sur les parts des facteurs d'une variation du niveau technique est nul. Si le progrès technique augmente les parts de certains *inputs*, c'est au détriment d'autres *inputs*

6. Fonction de coût pour l'activité minière péruvienne

L'index de la production est $q_{Tech(t)} = \frac{C_t}{P_{Tech(t)}}$ pour le niveau technologique $Tech$ à l'instant t , où P est le prix du produit.

Les séries statistiques dont nous disposons ne sont pas assez longues pour pouvoir déterminer l'équation 6.1. Cependant, par le lemme de Samuelson-Shephard⁴, nous pouvons estimer les équations des parts des facteurs, des flexibilités du coût et obtenir indirectement la fonction de coût.

Nous complétons la fonction de coût par les relations suivantes : l'équation des parts distributives des facteurs de production, l'équation des flexibilités du coût, les effets de substitution et les coûts marginaux.

6.1.1. Équation des parts distributives des facteurs de production

À l'équilibre, l'élasticité du coût de production par rapport au prix de l'*input* est égale à la part du facteur i dans le coût total (*cost share*). Ainsi, la part du facteur i ne varie pas lorsque tous les prix des *inputs* augmentent ou diminuent simultanément dans la même proportion.

ÉQUATION 6.2. Part du facteur i dans le coût total

$$s_i = \frac{\partial \ln(C)}{\partial \ln(p_i)} = \frac{p_i x_i}{C} = d_i + \sum_j f_{ij} \ln(p_j) + \sum_j g_{ij} \ln(q_j) + k_i t \quad (6.2)$$

En minimisant les coûts, nous avons l'ensemble des équations de demande des facteurs x_i , c'est-à-dire de la quantité de l'*input* i . Selon le lemme Samuelson-Shephard, le point de minimisation de la demande de facteurs est donné pour tout $i = K, L$ ou E par l'expression $\hat{x}_i = \frac{\partial C(\cdot)}{\partial p_i}$.

6.1.2. Équation des flexibilités du coût

Les parts des revenus de la fonction de coût ou la flexibilité du coût s'expriment par l'équation suivante :

⁴Cadoret et al., 2004.

6. Fonction de coût pour l'activité minière péruvienne

ÉQUATION 6.3. Flexibilité du coût

$$r_k = \frac{\partial \ln(C)}{\partial \ln(q_k)} = \frac{p_k q_k}{C} = b_k + \sum_i c_{ki} \ln(q_i) + \sum_j g_{kj} \ln(p_j) + n_k t \quad (6.3)$$

6.1.3. Effets de substitution

Ce modèle nous permet de mesurer les élasticités de substitution entre les *inputs*. Avec l'hypothèse de la maximisation du profit sur un marché concurrentiel, l'élasticité de substitution partielle au sens d'Allen (1938) se calcule à partir de la fonction de coût (Uzawa, 1962) :

ÉQUATION 6.4. Élasticité de substitution partielle au sens d'Allen

$$\epsilon_{ij} = \frac{\left(\frac{\partial^2 C}{\partial p_i \partial p_j} \right) C}{\left(\frac{\partial C}{\partial p_i} \right) \left(\frac{\partial C}{\partial p_j} \right)} \quad (6.4)$$

Pour la fonction translog, l'élasticité de substitution d'Allen (1938) s'écrit

ÉQUATION 6.5. Élasticité de substitution

$$\epsilon_{ij} = \frac{f_{ij} + s_i s_j}{s_i s_j} \quad (6.5)$$

De plus, l'élasticité-prix de la demande de facteur i par rapport au prix du facteur j s'exprime partiellement en fonction de l'élasticité de substitution d'Allen (1938) :

ÉQUATION 6.6. Élasticité de demande de facteur i par rapport au prix du facteur j

$$\sigma_{ij} = \frac{\partial \ln(x_i)}{\partial \ln(p_j)} = s_j \epsilon_{ij} \quad \text{pour } i, j = K, L, E \quad (6.6)$$

6.1.4. Coûts marginaux

Ils mesurent les variations relatives de l'offre quand les dépenses augmentent. Si la production varie, la flexibilité du coût r_k s'obtient par l'équation 6.3. À partir de cette relation, le coût marginal relatif à la production k est :

ÉQUATION 6.7. Coût marginaux

$$C_{mg,k} = \frac{\partial C}{\partial q_k} = \left(\frac{1}{r_k} \right) \left(\frac{C}{q_k} \right) \quad (6.7)$$

6.1.5. Gains de productivité

Les biais du progrès technique sont mesurés par les coefficients k_i . Ils montrent l'impact du progrès technique sur les parts des *inputs* utilisés dans la production totale. Si k_i est positif, la part de l'*input* augmente et la productivité marginale de ce facteur s'élève grâce au progrès technique, et on en utilise davantage au détriment d'autres *inputs* (*input using*). Si le biais est nul, le progrès technique n'influence pas les parts des facteurs. Le coefficient w du modèle translog mesure l'accélération du progrès technique.

6.2. Estimation des paramètres de la fonction de coût

L'échantillon est composé des 18 entreprises minières cotées à la bourse de Lima sur la période 2000–2008. Les données proviennent du Ministère de l'Énergie et des Mines du Pérou (MEM), de l'Institut National de Statistiques et Informatique du Pérou (INEI), de la Superintendance du Marché d'Actifs (SMV, anciennement Commission Superviseure des Entreprises CONASEV) et de l'Organisme Superviseur de l'Investissement en Énergie et dans l'Activité Minière (OSINERG).

L'échantillon rassemble 69 % de la production nationale d'or, 52 % de l'argent, 54 % du cuivre, 51 % du zinc, 67 % du plomb et 100 % de la production de fer et étain. En moyenne, nous analysons 82 % de la production totale sur la période 2000–2008. Le tableau 6.1 présente l'échantillon des entreprises, leurs productions moyennes et leurs taux de croissance annuels de ventes nettes. Cette période est caractérisée par une croissance extraordinaire. L'annexe G, page 226 présente les flux des ventes, les résultats de l'exercice et les coûts de l'échantillon.

6. Fonction de coût pour l'activité minière péruvienne

TABLAU 6.1. Productions et ventes nettes par entreprise minière (2000–2008)

Entreprises minières	Cuivre (tonnes)	Or (milliers d'onces)	Zinc (tonnes)	Plomb (tonnes)	Argent (milliers d'onces)	Fer (tonnes)	Etain (tonnes)	Taux de croissance annuel de ventes nettes (%)
Castroviireyna Compañía Minera SA				1 745,67	1 129,85			45,8
Compañía De Minas Buenaventura SA	163,03	224,48	9 908,89	9 628,81	11 039,20			70,5
Compañía Minera Atacocha SA	3 084,39	7,98	59 948,86	28 521,77	3 870,61			14,7
Compañía Minera Milpo SA			91 273,78	22 356,49	3 337,13			36,7
Compañía Minera Poderosa SA *		83,40						19,2
Compañía Minera Raura SA	3 790,25		23 790,77	11 514,03	1 641,61			16,7
Compañía Minera San Ignacio de Morococha			34 105,95	2 284,52				10,6
Compañía Minera Santa Luisa SA			44 003,83	17 877,87	1 414,70			10,6
Minera Barrick Misquichilca SA **		1 133,62			1 813,70			37,4
Minera Yanacocha SRL ***		2 340,50			2 746,19		39 432,57	0,2
Minsur SA	1 721,79							39,2
Perubar SA	1 639,43		12 564,78	7 715,93	804,91			7,7
Shougang Hierro Perú SAA						4 023 212,51		55,4
Sociedad Minera Cerro Verde SAA	133 181,98							165,0
Sociedad Minera Corona SA			27 089,21	11 252,87	3 214,58			15,6
Sociedad Minera El Brocal SAA			63 783,11	27 244,47	4 632,23			68,0
Southern Peru Copper Corporation	358 426,61	7,39			4 363,87			34,0
Volcan Compañía Minera SA			257 023,51	68 536,88	12 228,43			24,1

Analyse sur la période 2000–2008, sauf * 2004–2008, ** 2005–2008 et *** 2006–2008.

Source : MEM et SMV

6.2.1. Description des variables

Le tableau 6.2 regroupe les variables et leurs unités de mesure utilisées dans la construction de la fonction de coût translog. Nous séparons la production de métaux précieux de la production polymétallique.

6. Fonction de coût pour l'activité minière péruvienne

TABLEAU 6.2. Description des variables

Variable	Description
CT	Coût opérationnel total : donnée des états financiers de la SMV en milliers de US\$ par entreprise minière : $CT = C_1 + C_2$.
C_1	Coût opérationnel estimé dans la fonction translog : somme des facteurs de production en milliers de US\$ par entreprise minière.
C_2	Coût opérationnel différentiel : différence entre le coût opérationnel CT donné par la SMV et le coût opérationnel estimé comme somme de facteurs de production C_1 .
$C_{mg}(C_1)$	Coût marginal expliqué par la fonction translog.
$C_{mg}(C_2)$	Coût marginal différentiel : coût marginal des autres coûts non expliqués par la fonction translog.
$C_{mg}T$	Coût marginal total : somme de $C_{mg}(C_1)$ et $C_{mg}(C_2)$.
actif	Facteur capital K : actif fixe annuel en milliers de US\$.
tamex	Prix du facteur capital : taux d'intérêt annuel en monnaie étrangère US\$.
emploi	Facteur travail L : Nombre d'employés dans l'entreprise (administratifs et ouvriers).
rem	Rémunérations annuelles totales par entreprise en milliers de US\$.
salaire	Prix du facteur travail : salaire moyen annuel en milliers de US\$
electricite	Facteur énergie E : consommation en électricité en kWh.
priselect	Prix du facteur énergie : prix de l'électricité par entreprise minière en US\$ par kWh.
q	Production totale en milliers de US\$ et représentée par la variable minerais dans les estimations.
q_{mp}	Production de métaux précieux (argent et or) en milliers de US\$ et représentée par la variable mp dans les estimations.
prixmp	Prix moyen pondéré de la production des métaux précieuses en US\$/once.
q_{polym}	Production polymétallique (cuivre, zinc, étain, plomb, fer) en milliers de US\$ et représentée par la variable polym dans les estimations.
prixpolym	Prix moyen pondéré de polymétalliques en US\$ par tonne.
pmp	Prix moyen pondéré de la production minière.
sk	Part distributive du facteur capital K (<i>cost share</i> du capital).
sl	Part distributive du facteur travail L (<i>cost share</i> du travail).
se	Part distributive du facteur énergie E (<i>cost share</i> de l'énergie).
rk	Part des revenus de la fonction de coût pour la production totale.
rmp	Part des revenus de la fonction de coût pour la production de métaux précieux.
rpolym	Part des revenus de la fonction de coût pour la production polymétallique.

Note : les variables indiquées par une police à chasse fixe (variable) proviennent du logiciel Eviews.

Source : auteur

Les données des coûts opérationnels varient selon la source et selon la structure de coût des entreprises.

6. Fonction de coût pour l'activité minière péruvienne

Certaines entreprises mesurent les coûts d'opération pour les seuls champs d'extraction, d'autres incluent le transport et la vente des minerais, d'autres encore incluent même les coûts d'exploration. Les données de la SMV ne sont pas normalisées. Aujourd'hui, il ne faut pas oublier que les *royalties* pour l'année 2012 seront calculées en fonction des résultats bruts. L'annexe H, page 236 montre les variations dans les données pour trois cas particuliers, ainsi que la structure de coût opérationnel pour cinq entreprises.

Malgré la variabilité des données de coût opérationnel, et dans l'objectif d'estimer le coût marginal total, nous avons séparé le coût total CT en deux parties :

ÉQUATION 6.8. Coût opérationnel total

$$CT = C_1 + C_2 \quad (6.8)$$

Le coût opérationnel C_1 est la somme des facteurs de production et C_2 est le coût opérationnel différentiel, c'est-à-dire la différence des du coût opérationnel selon la SMV et de la somme des facteurs de production.

Le coût C_1 exprime les facteurs de production auxquels nous avons pu avoir accès : le facteur capital (actif fixe), le facteur travail (rémunérations) et le facteur énergie (électricité). C_1 s'appelle la partie du coût explicable. Il existe d'autres coûts opérationnels, dont le transport, les déplacements des stériles, les coûts de siège et la sous-traitance, pour lesquels l'information est d'accès très difficile. Ces coûts sont exprimés par la variable C_2 .

Nous estimons la fonction de coût translog pour la variable C_1 . Nous travaillons avec la somme des facteurs de production, selon les données compilées de chaque facteur, c'est-à-dire la somme des prix de chaque facteur multipliée par la quantité utilisée. Les valeurs moyennes des variables de chaque entreprise sont présentées dans le tableau 6.3.

TABLEAU 6.3. Valeurs moyennes des variables analysées sur la période 2000–2008
(milliers de us\$ 1994)

Enterprise	C_1	emploi	salaire	actif	electricite	prixselect
Castrovirreyna Compañía Minera SA	2 087,90	535	2,48	3 560,97	6 691,92	0,05
Compañía De Minas Buenaventura SA	43 342,24	3 300	13,46	83 266,81	50 149,08	0,05
Compañía Minera Atacocha SA	24 788,19	388	29,36	97 928,02	46 879,81	0,05
Compañía Minera Milpo SA	26 125,98	370	40,25	91 140,19	22 868,37	0,05
Compañía Minera Poderosa SA	10 590,49	760	7,83	36 125,13	14 986,85	0,05
Compañía Minera Raura SA	6 852,85	200	23,89	10 461,87	16 020,13	0,05
Compañía Minera San Ignacio De Morococha	10 305,77	570	11,15	26 630,72	49 775,59	0,05
Compañía Minera Santa Luisa SA	10 320,97	216	32,44	15 456,38	31 765,91	0,05
Minera Barrick Misquichilca SA	91 003,45	782	67,8	344 936,37	20 140,73	0,06
Minera Yanacocha SRL	239 222,89	9 633	15,62	856 913,35	3 610,56	0,05
Minsur SA	44 982,38	704	56,68	86 689,98	2 113,70	0,06
Perubar SA	4 388,04	139	15,2	14 051,96	20 756,76	0,06
Shougang Hierro Perú SAA	30 896,00	1 715	11,66	57 869,90	70 649,24	0,06
Sociedad Minera Cerro Verde SAA	61 317,03	591	16,31	485 436,00	588,63	0,05
Sociedad Minera Corona SA	7 369,21	1 091	3,99	23 228,55	15 855,09	0,05
Sociedad Minera El Brocal SAA	14 831,11	321	32,42	23 881,17	18 904,14	0,05
Southern Peru Copper Corporation	260 063,24	3 286	47,63	990 995,22	41 952,77	0,08
Volcan Compañía Minera SA	49 089,72	2 448	14,59	125 532,13	15,74	0,05

Pour la définition des variables, voir le tableau 6.2. Sur la période considérée, le tamex vaut 11 %.

Source : auteur avec les données de la SMV, du MEM et de l'OSINERG

TABLEAU 6.3. Valeurs moyennes des variables analysées sur la période 2000–2008 (suite)
(milliers de us\$ 1994)

Enterprise	q_{mp}	q_{polym}	q	sl	sk	se	rmp	rpoly	rk
Castrovirreyna Compañía Minera SA	8 918,33	1 896,48	10 814,81	0,62	0,19	0,19	4,01	0,83	4,84
Compañía De Minas Buenaventura SA	196 613,06	30 010,67	226 623,72	0,71	0,2	0,08	4,19	0,62	4,81
Compañía Minera Atacocha SA	28 340,95	132 778,51	161 119,46	0,45	0,43	0,12	1,25	5,22	6,47
Compañía Minera Milpo SA	23 775,69	169 414,74	193 190,43	0,56	0,38	0,06	0,98	6,71	7,7
Compañía Minera Poderosa SA	36 884,95		36 884,95	0,56	0,37	0,08	3,4		3,4
Compañía Minera Raura SA	12 406,64	64 075,54	76 482,18	0,7	0,16	0,14	1,8	9,31	11,12
Compañía Minera San Ignacio De Morococha		58 043,24	58 043,24	0,46	0,27	0,27		5,7	5,7
Compañía Minera Santa Luisa SA	10 121,63	87 517,17	97 638,81	0,66	0,15	0,19	1	8,49	9,49
Minera Barrick Misquichilca SA	556 942,02		556 942,02	0,57	0,42	0,01	5,71		5,71
Minera Yanacocha SRL	1 002 776,18		1 002 776,18	0,62	0,38	0	4,24		4,24
Minsur SA		339 769,17	339 769,17	0,73	0,27	0,01		7,95	7,95
Perubar SA	7 454,03	38 167,54	45 621,57	0,32	0,4	0,28	1,44	7,87	9,31
Shougang Hierro Perú SAA		127 025,30	127 025,30	0,67	0,21	0,12		3,78	3,78
Sociedad Minera Cerro Verde SAA		665 833,86	665 833,86	0,24	0,76	0		8,48	8,48
Sociedad Minera Corona SA	18 256,35	49 492,36	67 748,71	0,55	0,34	0,12	2,54	6,81	9,34
Sociedad Minera El Brocal SAA	40 043,43	146 683,61	186 727,04	0,68	0,22	0,1	2,8	10,52	13,32
Southern Peru Copper Corporation	28 651,93	1 359 387,11	1 388 039,05	0,59	0,4	0,01	0,1	4,82	4,92
Volcan Compañía Minera SA	99 467,67	492 427,15	591 894,81	0,73	0,27	0	1,83	9,45	11,28

Pour la définition des variables, voir le tableau 6.2.

Source : auteur avec les données de la SMV, du MEM et de l'OSINERG

6.2.2. Paramètres de la fonction de coût

Nous estimons les équations des parts de facteurs (*cost shares*) et les flexibilités pour obtenir indirectement la fonction de coût du modèle translog multi-produit donnée par l'équation 6.1 (Azzalini, Bloch et Haslehurst, 2007 ; Boussemart, 1989 ; Tzouvelekas, 2000).

Pour l'estimation nous utilisons un système d'équations qui considère les perturbations de chaque équation. C'est la méthode Zellner, connue sous le nom de méthode SURE par le logiciel Eviews.

Les paramètres estimés de la fonction de coût multi-produit sont indiqués dans le tableau 6.4. Nous présentons deux fonctions qui mettent en évidence la production de métaux précieux q_{mp} et la production polymétallique q_{polym} .

L'annexe I, page 241 présente d'autres estimations de la fonction translog, sans séparer la production de métaux précieux de la production polymétallique.

Les fonctions estimées prennent en compte les coûts opérationnels, dont les coûts de facteurs de production en simplifiant les estimations des parts de facteurs (*cost shares*) et les estimations des flexibilités de coût.

Nous estimons deux équations parmi les trois équations des parts de facteurs, la dernière étant obtenue avec les hypothèses d'homogénéité de la fonction translog. Cela nous fournit notamment C(4) le coefficient du prix du facteur travail ; C(10) le coefficient reliant le prix du facteur travail et la production de métaux précieux ; C(13) le coefficient reliant le prix du facteur travail et la production polymétallique ; C(25) le coefficient reliant le prix du facteur travail et la production totale ; C(17) le coefficient reliant le prix du facteur travail et le temps.

Le tableau 6.4 synthétise les résultats.

6. Fonction de coût pour l'activité minière péruvienne

TABLEAU 6.4. Estimation des paramètres de la fonction de coût translog multi-produit

Paramètres selon l'équation translog	Description de paramètres	Nomen- clature Eviews	LOGMPPOLYM	LOGMPPOLYM1
a	Autres facteurs	C(100)	-42,538	-41,879 1
$b(q)$	Production totale	C(22)	0,821	0,811 312
$b(q_{mp})$	Production métaux précieux	C(1)	9,131	9,073 365
$b(q_{polym})$	Production polymétallique	C(2)	2,880	2,886 476
$c(q_{mp} - q_{polym})$	Production croisée	C(3)	0,043	0,043 366
$d(L)$	Prix du facteur travail	C(4)*	0,266	0,278 892
$d(K)$	Prix du facteur capital	C(5)	0,210	0,198 428
$d(E)$	Prix du facteur énergie	C(6)	0,524	0,522 680
$f(KL)$	Prix des facteurs croisés capital-travail	C(7)	$-5,124 \times 10^{-3}$	$-5,612 \times 10^{-3}$
$f(EL)$	Prix des facteurs croisés énergie-travail	C(8)	-0,038	-0,045 529
$f(KE)$	Prix des facteurs croisés capital-énergie	C(9)	0,054	0,055 785
$g(L - q_{mp})$	Facteur travail et production des métaux précieux	C(10)**	$3,655 \times 10^{-3}$	$3,923 \times 10^{-3}$
$g(E - q_{mp})$	Facteur énergie et production des métaux précieux	C(11)	$6,320 \times 10^{-3}$	$3,78 \times 10^{-3}$
$g(K - q_{mp})$	Facteur capital et production des métaux précieux	C(12)	$-4,287 \times 10^{-3}$	$-4,301 \times 10^{-3}$
$g(L - q_{polym})$	Facteur travail et production polymétallique	C(13)**	$1,700 \times 10^{-3}$	$1,98 \times 10^{-3}$
$g(E - q_{polym})$	Facteur énergie et production polymétallique	C(14)	$2,670 \times 10^{-3}$	$2,403 \times 10^{-3}$
$g(K - q_{polym})$	Facteur capital et production polymétallique	C(15)	$-4,362 \times 10^{-3}$	-0,004 378
$g(L - q)$	Facteur travail et production totale	C(25)**	$7,222 \times 10^{-3}$	
$g(E - q)$	Facteur énergie et production totale	C(24)	$-6,863 \times 10^{-3}$	
$g(K - q)$	Facteur capital et production totale	C(23)	$-3,590 \times 10^{-4}$	

Note : E : Énergie, L : Travail, K : Capital.

Hypothèses de la fonction translog : * $\sum_i g_{ij} = 0$, ** $\sum_i d_i = 0$, *** $\sum_i k_i = 0$.

Source : auteur

6. Fonction de coût pour l'activité minière péruvienne

TABLEAU 6.4. Estimation des paramètres de la fonction de coût translog multi-produit (suite)

Paramètres selon l'équation translog	Description de paramètres	Nomen- clature Eviews	LOGMPPOLYM	LOGMPPOLYM1
$h(\text{dateid})$	Temps	C(16)	$6,500 \times 10^{-5}$	$6,42 \times 10^{-5}$
$k(L - \text{dateid})$	Temps et prix de facteur travail	C(17)***	$-2,630 \times 10^{-7}$	$-2,17 \times 10^{-7}$
$k(E - \text{dateid})$	Temps et prix de facteur énergie	C(18)	$-1,940 \times 10^{-7}$	$-2,61 \times 10^{-7}$
$k(K - \text{dateid})$	Temps et prix de facteur capital	C(19)	$4,570 \times 10^{-7}$	$4,78 \times 10^{-7}$
$n(\text{dateid} - q_{mp})$	Temps et q_{mp}	C(20)	$-1,290 \times 10^{-5}$	$-1,28 \times 10^{-5}$
$n(\text{dateid} - q_{polym})$	Temps et q_{polym}	C(21)	$-4,350 \times 10^{-6}$	$-4,36 \times 10^{-6}$
	Coefficient de détermination $\log(C_1)$: coût		0,784	0,783 761
	Coefficient de détermination sk : <i>cost share</i> capital		0,112	0,112 269
	Coefficient de détermination se : <i>cost share</i> énergie		0,256	0,234 165

Note : E : Énergie, L : Travail, K : Capital.

Hypothèses de la fonction translog : * $\sum_i g_{ij} = 0$, ** $\sum_i d_i = 0$, *** $\sum_i k_i = 0$.

Source : auteur

6.2.3. Fonction de coût translog générale

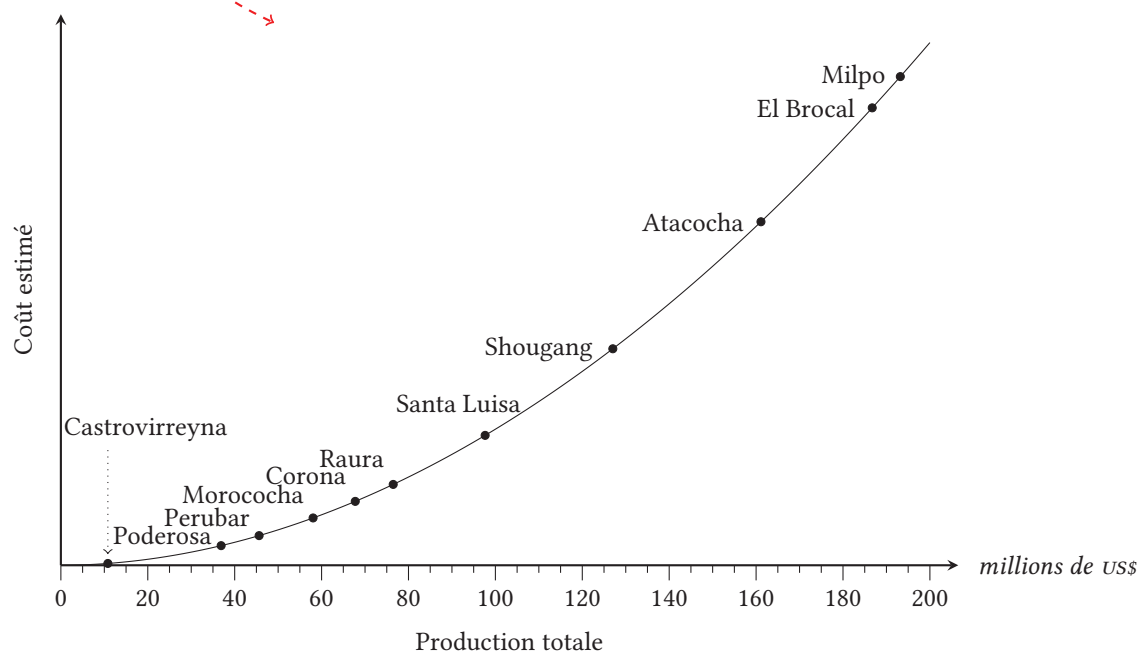
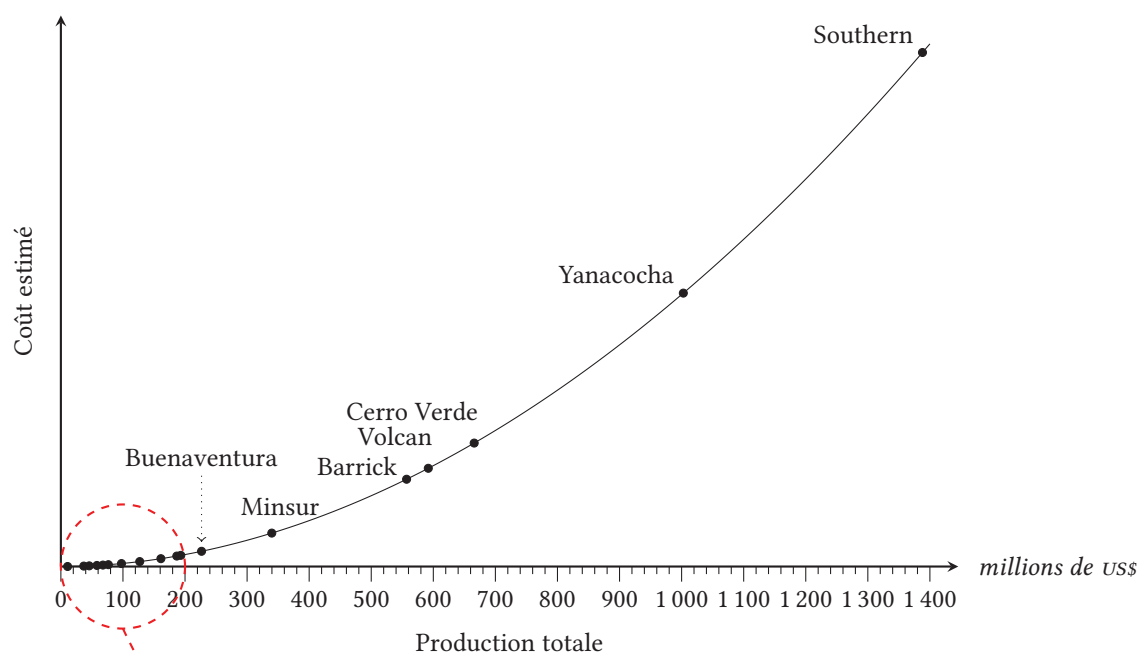
Parmi les diverses estimations d'une fonction de coût, nous travaillons sur les résultats de la fonction LOGMPPOLYM1 du tableau 6.4, car elle présente tous les coefficients nécessaires pour nos estimations de parts de facteur, de substitution, de flexibilité de coût, de temps et de coûts marginaux. Cette fonction est représentative, et fournit des résultats pour la production de métaux précieux et pour la production polymétallique.

En utilisant la fonction retenue, le graphique 6.1 présente le coût en fonction de la quantité de production totale, en supposant toutes les autres variables constantes et égales à leurs valeurs moyennes.

Nous l'appelons fonction de coût translog générale (FCTG).

6. Fonction de coût pour l'activité minière péruvienne

GRAPHIQUE 6.1 Fonction de coût translog générale et position des entreprises



Source : auteur

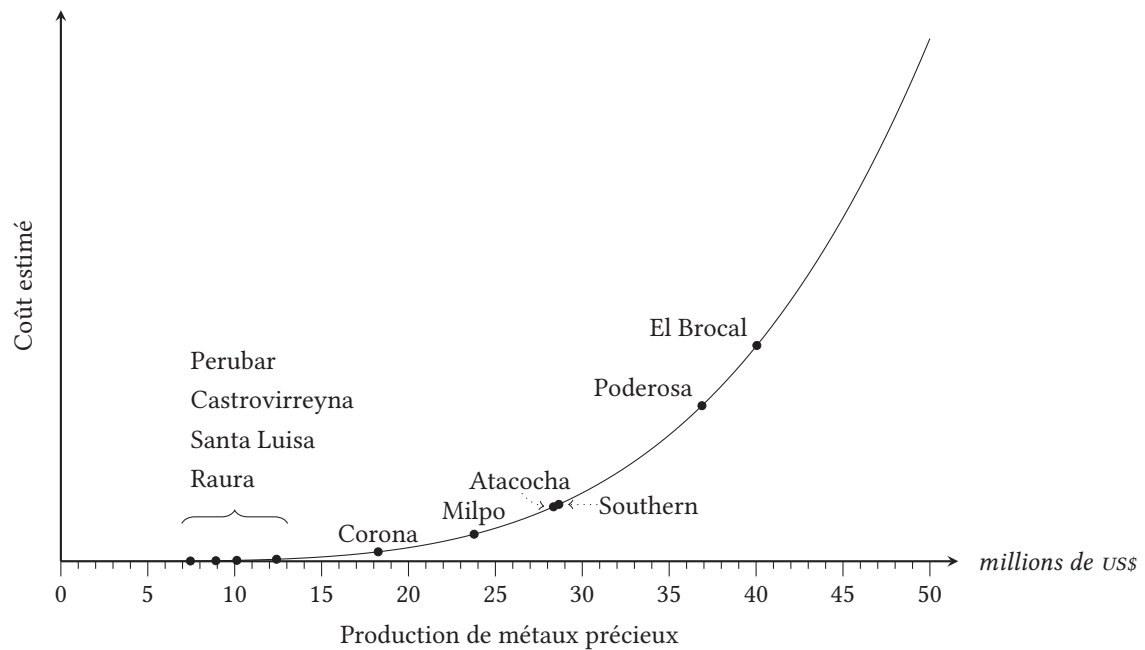
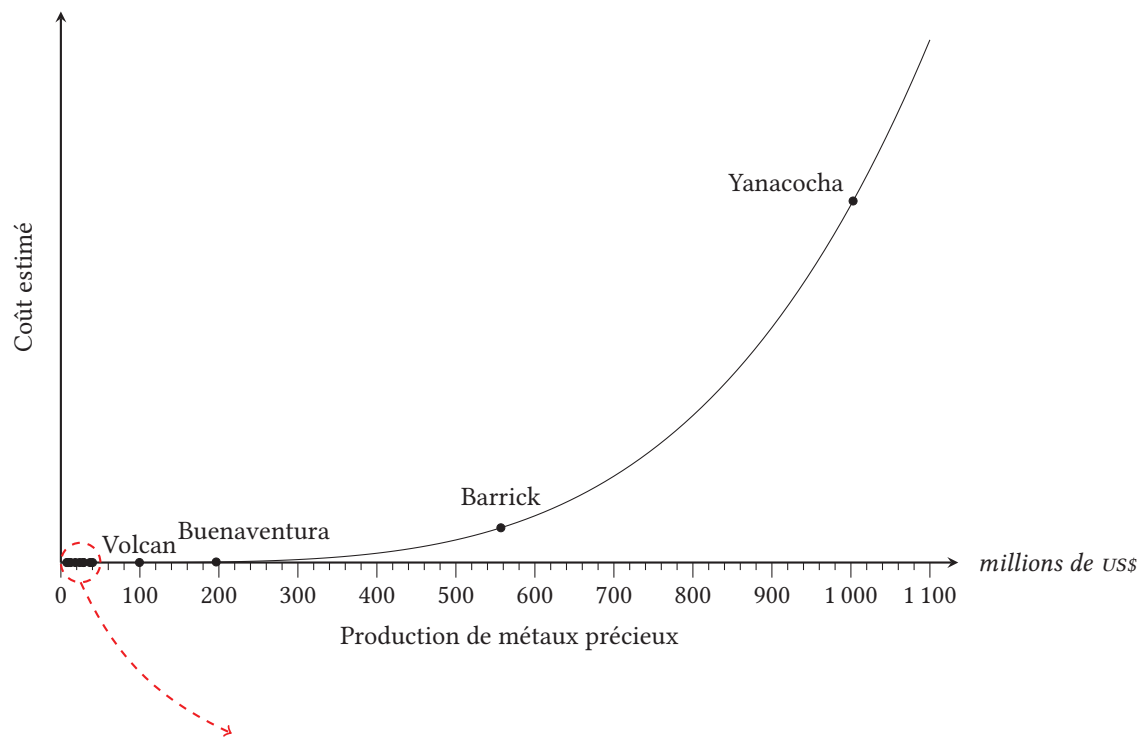
6.2.4. Fonction de coût translog multi-produit

De la même façon, nous pouvons exprimer la même fonction LOGMPPOLYM1, pour la production de métaux précieux (graphique 6.2) et pour la production polymétallique (graphique 6.3).

Nous l'appelons fonction de coût translog multi-produit ou FCTMP. Nous plaçons les entreprises sur les graphiques.

6. Fonction de coût pour l'activité minière péruvienne

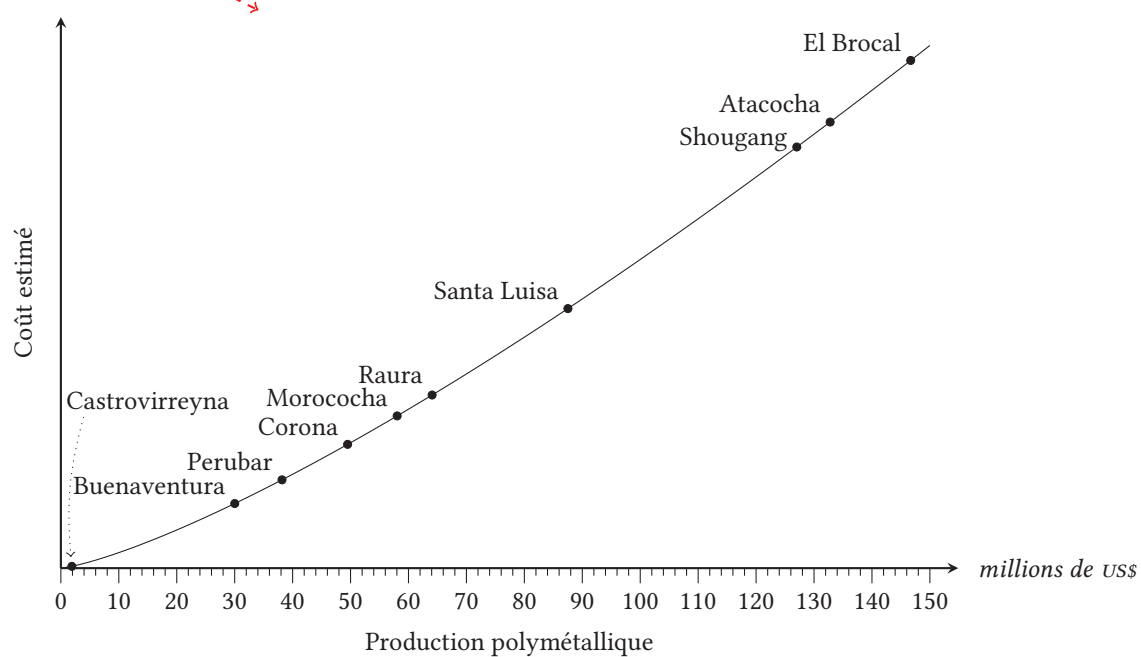
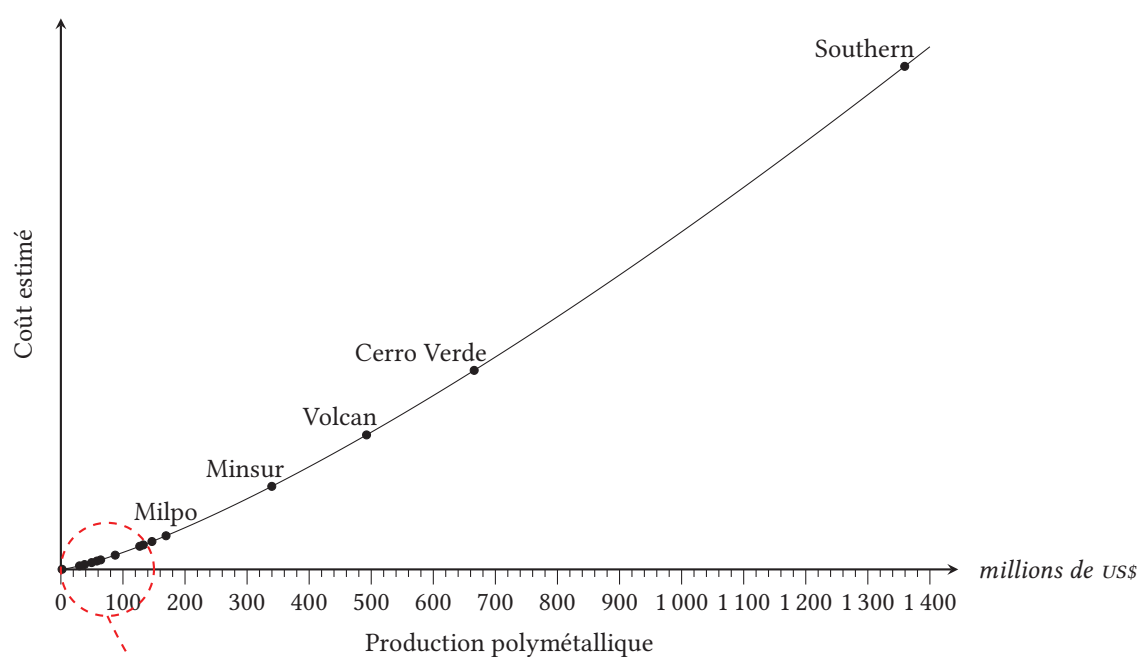
GRAPHIQUE 6.2 Fonction de coût translog multi-produit pour les métaux précieux et position des entreprises



Source : auteur

6. Fonction de coût pour l'activité minière péruvienne

GRAPHIQUE 6.3 Fonction de coût translog multi-produit pour la production polymétallique et position des entreprises



Source : auteur

6.2.5. Estimation des parts de facteurs (*cost shares*)

Dans le tableau 6.5, nous présentons les parts de facteurs de production à travers leurs valeurs moyennes données par l'estimation de la fonction de coût translog multi-produit. La part de facteur (*cost share*) montre la participation de chaque facteur dans le coût d'extraction. L'activité minière est fortement extensive en capital (*cost share* de 32 %) et en main d'œuvre (*cost share* de 57 %).

TABLEAU 6.5. Parts de facteurs de production

<i>Cost share</i>	Valeurs moyennes FCTMP
Travail (<i>SL</i>)	0,58
Énergie (<i>SE</i>)	0,10
Capital (<i>SK</i>)	0,32

Source : auteur

6.2.6. Estimation de flexibilités du coût

Les flexibilités de coût sont présentées dans le tableau 6.6. Nous constatons la forte rentabilité des mines péruviennes, surtout dans le cas de la production polymétallique dont la part de revenu représente en moyenne quatre fois le coût d'opération. Pour l'activité des métaux précieux, la part de revenu ne représente que le double du coût.

TABLEAU 6.6. Flexibilités du coût

Flexibilités du coût	Valeurs moyennes FCTMP
$r_k = \frac{q}{C_1}$	6,22
$r_{mp} = \frac{q_{mp}}{C_1}$	2,21
$r_{polym} = \frac{q_{polym}}{C_1}$	4,01

Source : auteur

6.2.7. Estimation des élasticités de substitution

La fonction translog nous permet d'estimer les élasticités de substitution partielle (équation 6.5). La positivité des élasticités montre que les facteurs sont substituables. Des valeurs proches de zéro montrent une certaine complémentarité⁵. Dans nos estimations, nous observons que le plus fort effet de substitution est entre les facteurs énergie et capital.

TABLEAU 6.7. Élasticités de substitution d'Allen

prix/prix	Travail (L)	Énergie (E)	Capital (K)
Travail (L)		0,20	0,97
Énergie (E)	0,20		2,76
Capital (K)	0,97	2,76	

Source : auteur

6.2.8. Estimation des élasticités-prix de la demande

La fonction translog nous permet également d'estimer l'élasticité de la demande de facteur i par rapport au prix du facteur j (équation 6.6). Dans les estimations, nous remarquons que l'augmentation du prix d'un facteur entraîne l'augmentation de la demande d'un autre facteur. Par exemple, l'élasticité-prix de l'énergie et du capital vaut 0,89, ce qui indique qu'une variation de 1 % dans le prix du capital (taux d'intérêt) engendre une variation de 0,89 % dans la quantité d'énergie utilisée.

TABLEAU 6.8. Élasticités prix de la demande des facteurs de production

prix/quantité	Travail (L)	Énergie (E)	Capital (K)
Travail (L)		0,02	0,31
Énergie (E)	0,12		0,89
Capital (K)	0,56	0,27	

Source : auteur

⁵Pour une discussion plus approfondie entre la substitution et la complémentarité des facteurs de production des ressources naturelles, voir E. Berndt et Field (1981).

6.2.9. Estimation des coûts marginaux

Nous partons des données du coût opérationnel de la SMV, que nous appelons coût total CT .

Pour estimer le coût marginal total $\frac{\partial CT}{\partial q}$, nous décomposons le coût marginal de la manière suivante :

ÉQUATION 6.9. Coût marginal total décomposé

$$\begin{aligned} C_{mg}T &= \frac{\partial CT}{\partial q} = C_{mg}(C_1) + C_{mg}(C_2) \\ &= \frac{\partial C_1}{\partial q} + \alpha \frac{C_2}{q} \end{aligned} \quad (6.9)$$

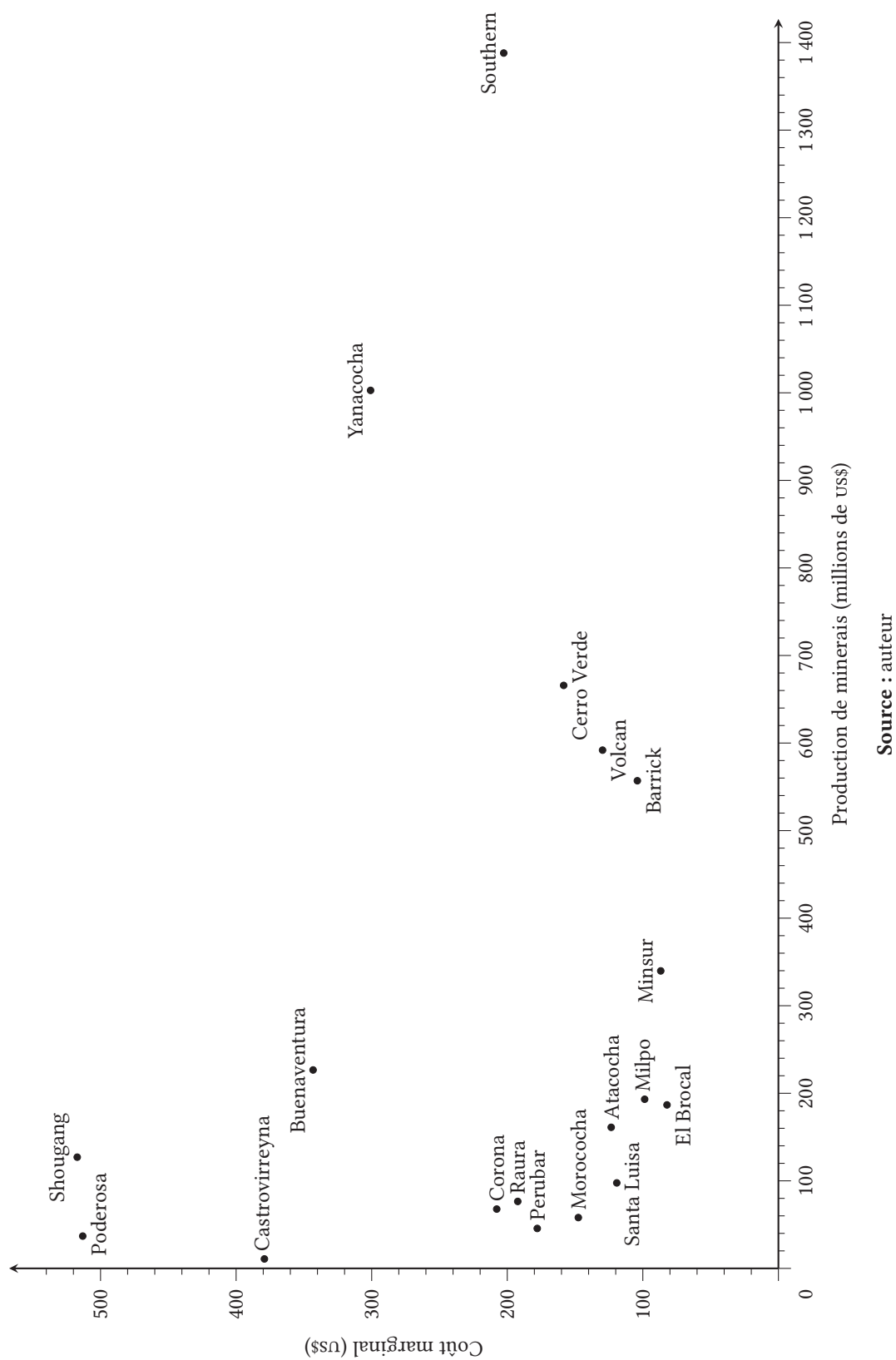
q est la production minière totale. Le coût marginal $C_{mg}(C_1) = \frac{\partial C_1}{\partial q}$ est estimé par la fonction translog. Le coût marginal de la partie non expliquée $C_{mg}(C_2) = \alpha \frac{C_2}{q}$ est égal au coût moyen de C_2 multiplié par un facteur de correction α . Nous prenons $\alpha = 0,7$ ⁶.

Nous présentons les coûts marginaux totaux $C_{mg}T$ dans le graphique 6.4. Les coûts marginaux de la production de métaux précieux (graphique 6.5) et de la production polymétallique (graphique 6.6) ne se basent que sur le coût expliqué.

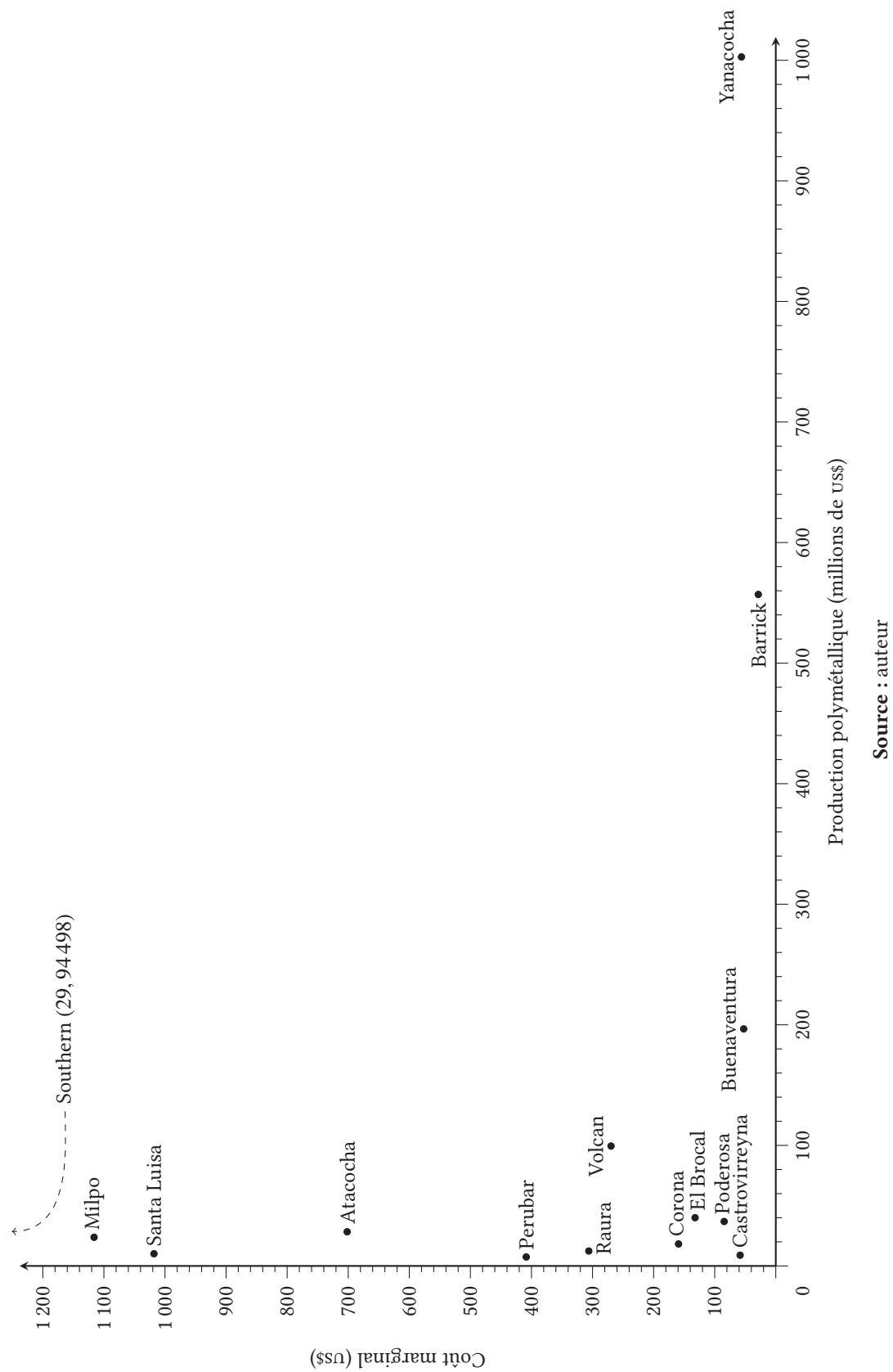
Ces graphiques mettent en évidence la rentabilité des différentes entreprises. Les coûts marginaux sont estimés à partir de l'équation 6.7.

⁶Le choix de cette valeur est lié aux travaux de G. A. Davis et Moore (2000) qui repose sur 28 études économétriques et mesure l'écart entre le coût marginal et le coût moyen de l'or dans la règle de Hotelling.

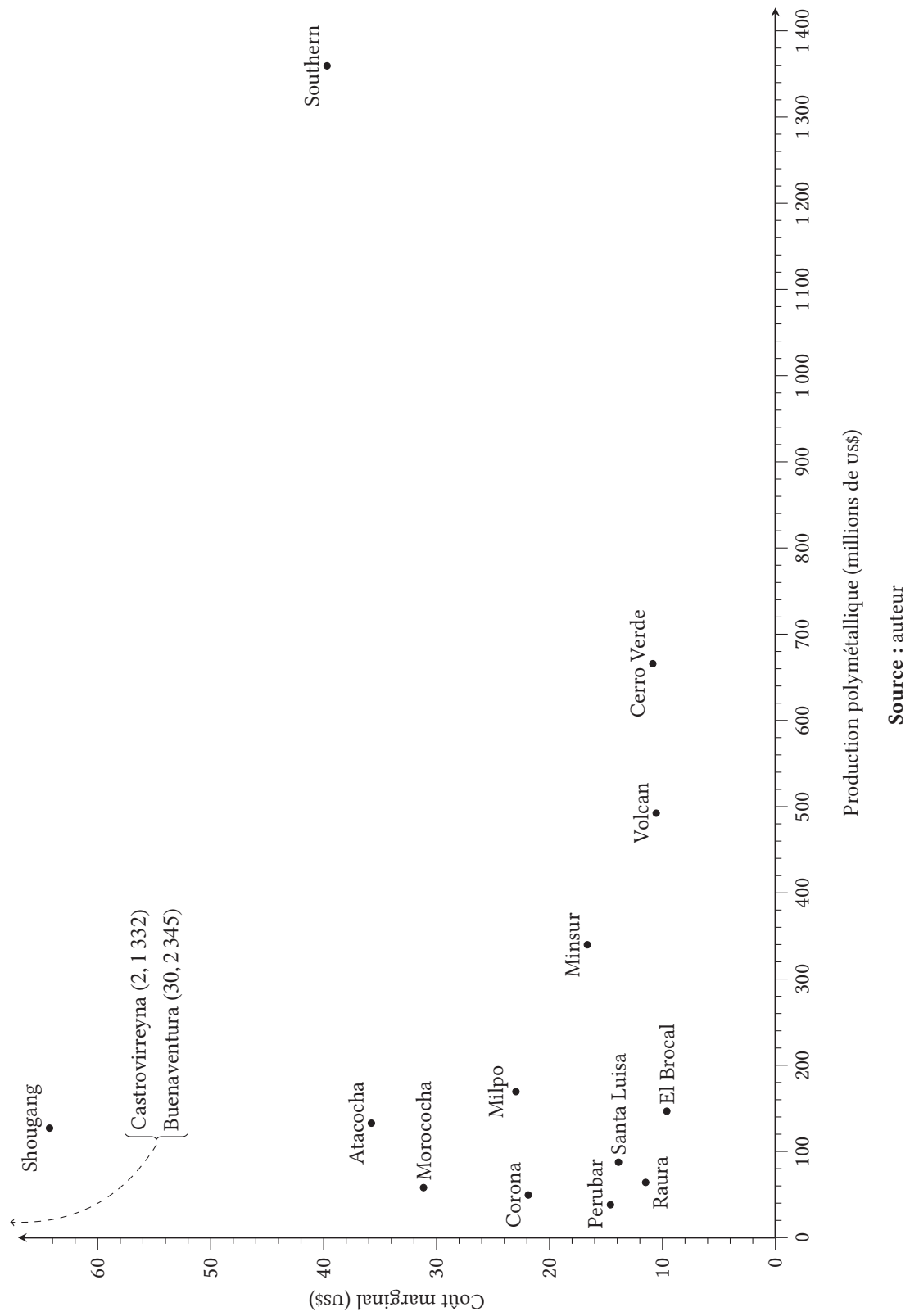
GRAPHIQUE 6.4 Coûts marginaux totaux $C_{mg}T$ et production minière totale



GRAPHIQUE 6.5 Coûts marginaux expliqués $C_{mg}(C_1)$ et production de métaux précieux



GRAPHIQUE 6.6 Coûts marginaux expliqués $C_{mg}(C_1)$ et production polymétallique



7. Évaluation de la dépréciation du capital naturel

Ce chapitre vise à mesurer la dépréciation du capital naturel selon la règle de Hotelling en utilisant les résultats de la fonction de coût estimée dans le chapitre précédent.

7.1. Estimation de la rente totale de Hotelling

La rente totale de Hotelling (RTH), présentée antérieurement, appelée aussi revenu total net, est définie comme la rente de Hotelling multipliée par la quantité extraite sur une période déterminée.

ÉQUATION 7.1. Rente totale de Hotelling

$$DCM = RTH = \sum_k \left[P_k(t) - C_{mg,k} T(E_k) \right] E_k(t) \quad (7.1)$$

$P(t)$ est le prix du marché de la ressource naturelle épuisable, k est l'entreprise minière, $C_{mg,k} T(E_k)$ est le coût marginal total d'extraction de la ressource, tandis que $E_k(t)$ est le niveau d'extraction. Cette expression a été montrée équivalente à la dépréciation du capital naturel pour une ressource épuisable (Hartwick et Hageman, 1993).

Pour le calcul de la rente de Hotelling, nous avons agrégé les résultats microéconomiques pour estimer d'abord un coût marginal total et en suite une rente totale de Hotelling. Le tableau 7.1 présente les formules de cette agrégation de données.

7. Évaluation de la dépréciation du capital naturel

TABLEAU 7.1. Formules et description de l'agrégation de données dans l'estimation de la rente de Hotelling

	Description	Formule	Estimation moyenne pour la période 2000–2008
$C_{mg}(C_1)$	Coût marginal de la partie expliquée par la fonction translog	$(pmp - C_{mg}(C_1)) \times \frac{q}{pmp}$	48,3 us\$
$C_m(C_2)$	Coût moyen de la partie non expliquée	$\frac{C_2}{q}$	305,0 us\$
$C_{mg}(C_2)$	Coût marginal de la partie non expliquée par la fonction translog	$\alpha \times C_m(C_2)$	213,5 us\$
$C_{mg}T$	Coût marginal total	$C_{mg}(C_1) + C_{mg}(C_2)$	261,7 us\$
RTH_{ij}	Rente totale de Hotelling de l'entreprise i pour l'année j	$(pmp_{ij} - C_{mg}T_{ij}) \times \frac{q_{ij}}{pmp_{ij}}$	
$DCM = RTH_j$	Rente totale de Hotelling pour l'activité minière de l'année j	$\sum_i RTH_{ij}$	5,828 milliards de us\$
i	Entreprise		
j	Année		

Source : auteur

Les mesures de la rente totale de Hotelling sont présentées dans le tableau 7.2. Sur la période 2000–2008, le ratio de la dépréciation du capital minier DCM sur le PIB total vaut en moyenne 6,86 %. Cela nous indique que l'activité minière a eu pour conséquence de déprécier les ressources naturelles en moyenne de 7 % de la valeur agrégée totale.

7. Évaluation de la dépréciation du capital naturel

TABLEAU 7.2. Évaluation de la Rente totale de Hotelling RTH sur la période 2000–2008

Année	Rente de Hotelling en milliers de <i>Nuevos Soles</i> courants	Rente de Hotelling en milliers de US\$ courants	Rente de Hotelling en milliers de US\$ 1994	DCM sur PIB total (%)
2000	9 223 923	2 643 034	1 799 107	4,96
2001	8 875 832	2 530 088	1 973 266	4,69
2002	9 315 604	2 648 241	1 964 895	4,67
2003	11 279 284	3 241 913	2 151 084	5,28
2004	15 105 508	4 424 811	2 188 047	6,35
2005	18 046 370	5 474 088	2 316 050	6,90
2006	29 528 941	9 017 660	2 539 431	9,77
2007	34 646 406	11 072 817	2 938 822	10,30
2008	33 357 269	11 400 615	3 185 782	8,83

Source : auteur

Conclusion

Par l'analyse microéconomique, nous confirmons la forte dépréciation du capital minier péruvien, en moyenne de 7 % *du PIB sur la période 2000–2008*. Autrement dit, il y a une surévaluation de 7 % en moyenne du PIB due à la non prise en compte de la dépréciation du capital minier.

Ce travail donne une mesure plus proche des caractéristiques de l'activité minière et un indicateur plus affiné de la DCM.

La mesure de DCM par entreprise pourrait être aussi prise en compte dans les décisions d'investissement des entreprises, en particulier dans leurs programmes de responsabilité sociale pour évaluer leurs niveaux de compensation de la dégradation et de l'utilisation de ressources naturelles.

L'analyse de la fonction de coût estimée nous permet amène aux deux remarques suivantes :

- La part de facteur capital est importante dans le coût (32 % du coût total), de même que la part de facteur travail (58 % du coût). Toutes deux ont été estimées avec la partie du coût expliqué ; il est vraisemblable que la part de facteurs énergie serait plus importante si l'on pouvait prendre en compte les coûts non expliqués.
- Les résultats de flexibilité de coût montrent la rentabilité de mines péruviens, en particulier les gisements polymétalliques dont les revenus atteignent en moyenne quatre fois leurs coût d'opération (expliqués). Pour les métaux précieux, le rapport n'est que de deux.

Quatrième partie

Réinvestissement des rentes

Introduction

Cette quatrième et dernière partie a un double objectif.

Le *premier objectif* est d'évaluer la durabilité de l'activité minière par la règle de Hartwick. À cette fin nous compilons les résultats de la mesure de la DCM obtenus.

Nous comparons la DCM avec les recettes minières perçues au travers de l'impôt sur le revenu et les *royalties*. Cela nous permet de déterminer si la perte de capital naturel est compensée par les recettes minières.

Nous nous demandons si les revenus miniers sont réinvestis dans d'autres types de capitaux : capital humain, recherche et développement, conservation de ressources naturelles, infrastructure, etc. À partir l'analyse de Hartwick, nous pouvons affirmer sans équivoque que l'activité minière péruvienne n'est pas durable sur les périodes analysées.

Le *second objectif* est de répondre aux questions suivantes : que faire pour créer de la durabilité à partir d'une activité extractive ? Est-il possible de transformer l'exploitation des ressources minières en un levier de développement pour le Pérou, pays fortement dépendant de ces ressources naturelles ?

Avec les recettes minières issues de la taxation à hauteur de la DCM, nous proposons un programme de réinvestissement des rentes en créant un fonds de développement. Ce fonds servira à générer un revenu durable qui compensera les générations futures, et qui pourra financer le développement d'autres activités, notamment l'éducation, la science et la technologie.

8. Dépréciation du capital minier, revenus miniers et *royalties*

8.1. La règle de Hartwick dans l'activité minière péruvienne

Les *royalties* et la durabilité sont indissociables selon la règle de Hartwick (1977) traitée dans le troisième chapitre, section 3.1.1. La première partie de cette règle énonce que les revenus miniers doivent compenser la dépréciation du capital minier, tandis que la seconde partie dit que ces revenus doivent être investis dans d'autres formes de capital (éducation, conservation des autres ressources naturelles, recherche et développement, etc.).

Nous observons que la règle de Hartwick (1977) n'est pas atteinte pour l'activité minière péruvienne, c'est-à-dire que les revenus miniers ne compensent pas la DCM. En outre, les revenus collectés sont peu utilisés pour le développement.

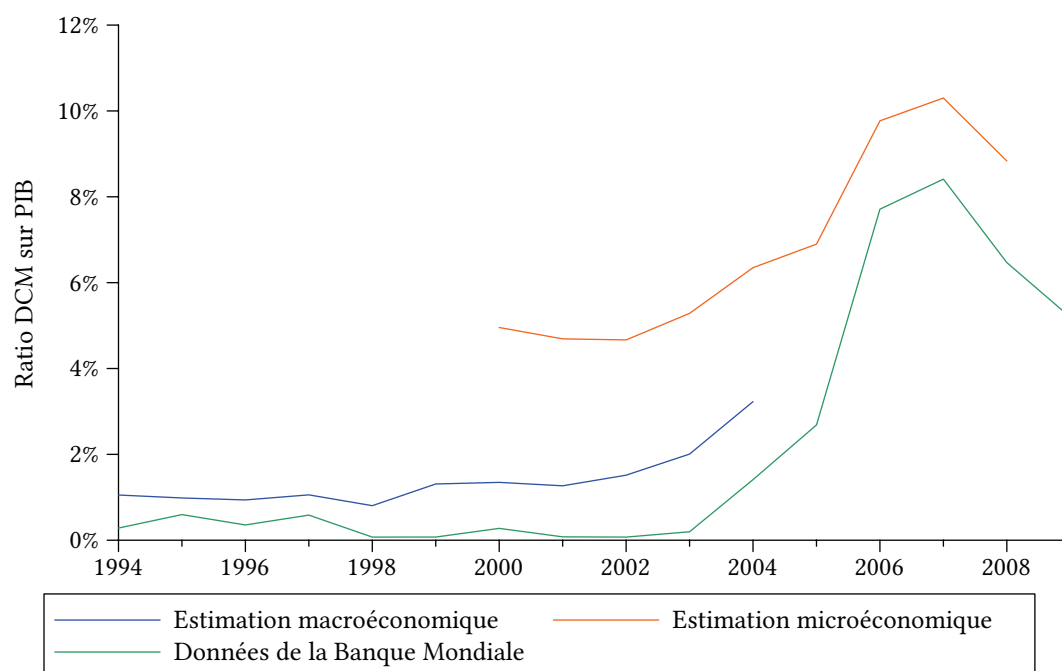
8.1.1. Première condition de la règle de Hartwick

La règle de Hartwick (1977) repose essentiellement sur la mesure de la DCM.

Le graphique 8.1 et le tableau 8.1 présentent une comparaison entre trois estimations de la DCM : celle de la Banque Mondiale (World Bank, 2009), celle issue de notre analyse macroéconomique et celle issue de notre analyse microéconomique.

8. Dépréciation du capital minier, revenus miniers et royalties

GRAPHIQUE 8.1 Comparaison des estimations de la DCM



Source : auteur

TABLEAU 8.1. Comparaison des estimations de la DCM

Année	Estimation macroéconomique (%)	Estimation microéconomique (%)	Données de la Banque Mondiale (%)
1994	1,05		0,28
1995	0,98		0,60
1996	0,94		0,36
1997	1,06		0,59
1998	0,80		0,07
1999	1,31		0,07
2000	1,35	4,96	0,28
2001	1,27	4,69	0,08
2002	1,51	4,67	0,07
2003	2,01	5,28	0,20
2004	3,23	6,35	1,41
2005		6,90	2,68
2006		9,77	7,71
2007		10,30	8,41
2008		8,83	6,47
2009			5,19

Source : auteur

8. Dépréciation du capital minier, revenus miniers et royalties

Les estimations microéconomiques de la DCM sont, à notre sens, les plus clairement établies. Elles sont basées sur les estimations de la rente de Hotelling à partir des données par entreprise, et donc sur les coûts réels d'opérations des mines. Ce sont aussi celles qui donnent les valeurs les plus élevées.

Nous nous baserons donc sur les valeurs de la DCM obtenues via notre analyse microéconomique.

Revenons à la règle de Hartwick (1977). Il est nécessaire de récupérer et de réinvestir une partie de la rente. Le tableau 8.2 montre le faible niveau de compensation des revenus miniers (*royalties* et impôts sur le revenu) par rapport à la DCM estimée par l'approche microéconomique.

Même si les revenus miniers ont considérablement augmenté, le pays reçoit en moyenne seulement 16,7 % de compensation de la DCM sur la période 2000–2008. On observe que le taux de compensation a tendance à s'améliorer au cours du temps. Il n'en reste pas moins vrai que la différence est un énorme cadeau du pays aux entreprises d'extraction minière.

TABLEAU 8.2. Compensation de la dépréciation du capital minier par les revenus miniers
(milliers de US\$ 1994)

Année	<i>Royalties</i>	Impôt sur le revenu	<i>Royalties</i> + impôt sur le revenu	Estimation micro-économique de la DCM	Compensation de la DCM (%)
2000		200 165	200 165	2 643 034	7,57
2001		174 479	174 479	2 530 088	6,90
2002		195 820	195 820	2 648 241	7,39
2003		313 717	313 717	3 241 913	9,68
2004		509 991	509 991	4 424 811	11,53
2005	80 579	947 449	1 028 027	5 474 088	18,78
2006	122 523	2 361 000	2 483 523	9 017 660	27,54
2007	168 255	3 439 025	3 607 280	11 072 817	32,58
2008	155 377	3 070 739	3 226 117	11 400 615	28,30

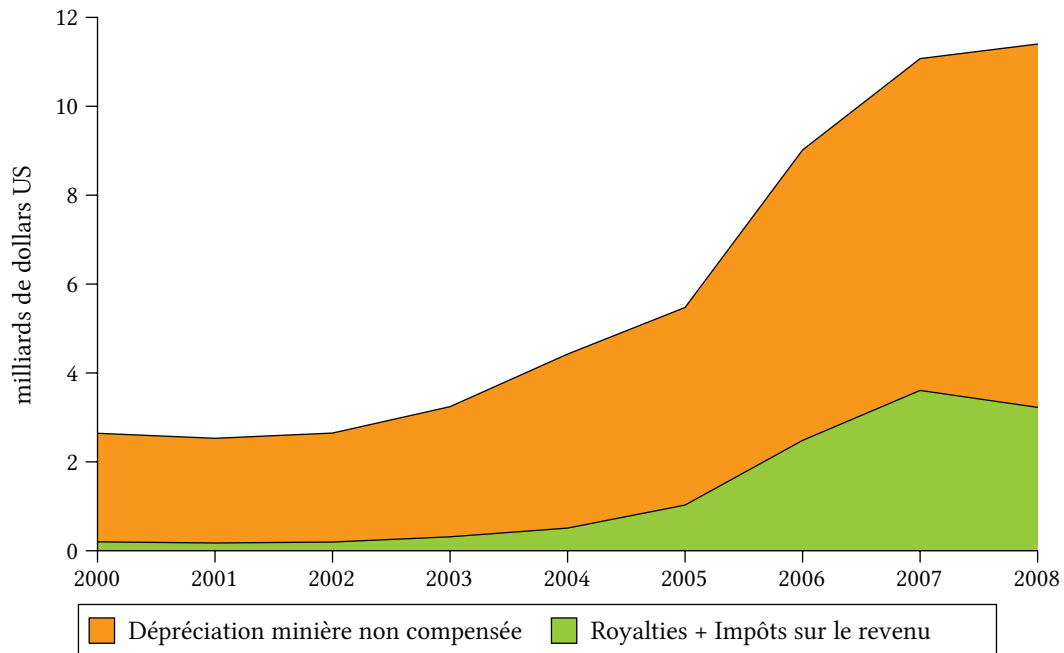
Source : auteur avec les données de la SUNAT

Pour la première condition de la règle de Hartwick (1977), les résultats indiquent clairement que le secteur minier n'a pas suffisamment compensé la société péruvienne pour l'épuisement

8. Dépréciation du capital minier, revenus miniers et royalties

du capital naturel (graphique 8.2).

GRAPHIQUE 8.2 Compensation de la DCM



Source : auteur

Il est également pertinent d'estimer la règle de Hartwick (1977) inversée (World Bank, 2006) :

Quelle richesse aurait accumulé le Pérou en l'an 2008, si le pays avait suivi la règle de Hartwick (1977) depuis l'année 2000 ?

Le Pérou aurait une richesse d'environ 54 milliards de us\$. Cette estimation repose sur la capitalisation en 2008 de la DCM avec un taux d'épargne en devise étrangère (us\$) sur la période 2000–2008.

8.1.2. Deuxième condition de la règle de Hartwick

L'étude de la deuxième condition de Hartwick (1977), qui affirme que les revenus doivent être réinvestis dans d'autres formes de capital, dépasse le cadre de cette thèse. Néanmoins, nous présentons brièvement plusieurs travaux ayant étudié la relation entre activité minière et développement.

Les royalties

La taxe de *royalty* a été instaurée en 2004¹, et impose aux entreprises minières de reverser 3 % de leurs ventes nettes à l'État.

Néanmoins, les grands groupes miniers ont réussi à échapper à cette taxe grâce à des « contrats de stabilisation fiscale », accordés par le gouvernement de A. Fujimori dans les années 1990 et renouvelés par le gouvernement de A. Toledo dans les années 2000. Ces contrats de stabilisations sont supposés garantir aux entreprises leurs conditions d'investissement, et ont permis jusqu'à présent aux principales entreprises minières de ne pas payer de *royalties*.

Ces dispositions ont été depuis quelques années contestées par le tribunal constitutionnel, mais pour l'heure sans résultat.

Le second gouvernement de A. García a toutefois voulu renégocier les *royalties*, mais n'a réussi à obtenir des grands groupes miniers qu'une contribution volontaire appelée *óbolo minero*, « aumône minière ».

En septembre 2011, le gouvernement de l'actuel Président O. Humala a modifié la loi de redevance minière (*royalties*) pour établir un impôt spécial sur l'activité minière. Cet impôt sera payé par toutes les entreprises et se calcule sur les résultats bruts, mais sera déductible de l'impôt sur le revenu.

Selon Manco Zaconetti (2011), chercheur à l'UNMSM², le bilan sur les recettes minières sera négatif, car la déduction des *royalties* de l'impôt sur le revenu ne sera pas compensée par le nouvel impôt. De plus, la redistribution aux zones minières basée sur l'impôt sur le revenu sera réduite. Ainsi, l'assiette fiscale augmentera pour le gouvernement central, mais les régions percevront moins, et au final les entreprises payeront moins que ce qu'elles devaient théoriquement jusqu'alors, quand elles étaient taxées sur les *royalties* à hauteur de 3 % de leurs ventes.

¹ *Ley de Regalías Mineras*, loi N°28 258, publiée le 24 juin 2004.

² *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, Lima, Pérou.

Le canon minero

Le *canon minero*, créé en 1997 et amendé en 2001³, est la redistribution de la moitié des sommes perçues via l'impôt sur le revenu payé par les entreprises minières, redistribution en direction des régions directement affectées. Ce mécanisme de compensation n'est pas une *royalty*, ni une rétribution de la rente de rareté, ni une compensation du coût d'opportunité aux générations futures. Il s'agit d'un transfert de recettes du gouvernement central aux zones minières.

La SUNAT met en moyenne 18 mois à reverser le *canon minero* aux localités minières à partir du moment où elle perçoit l'impôt sur le revenu. Un exemple instructif est donné par le cas de l'entreprise *Antamina* (tableau 8.3).

TABLEAU 8.3. Exemple de délai du *canon minero* pour la *Compañía Minera Antamina SA*

Date	Événement
1997	L'entreprise commence les activités d'explorations.
2001	L'entreprise commence les opérations d'extraction.
avril 2005	L'entreprise commence à payer l'impôt sur le revenu, après avoir amorti le capital investi.
juillet 2006	La région d'Ancash et le district de San Marcos, localité où opère la mine, reçoit pour la première fois les recettes du <i>canon minero</i> .

Source : CAD (2005)

Le *canon minero* est reparti de la façon suivante : 10 % au district où opère la mine, 25 % à la province, 40 % au département et 25 % au gouvernement régional. Les gouvernements régionaux donnent à leurs universités publiques 20 % du montant reçu, soit 5 % du *canon minero*, soit 2,5 % de l'impôt sur le revenu payé par les entreprises minières.

L'efficacité du *canon minero* comme outil de développement a été fortement critiquée (Barrantes, Zárate et Durand, 2005 ; Boza, 2006 ; CAD, 2005). Selon ces auteurs, il ne permet pas, par manque de capacité institutionnelle, de formuler et d'exécuter des plans de développement locaux.

Selon Boza (2006), il semblerait que plusieurs villes minières soient tombées dans la construction d'éléphants blancs⁴ avec les ressources du *canon*.

³*Ley del Canon*, loi N°27 506, publiée le 10 juillet 2001.

⁴Robinson et Torvik (2005) définissent les éléphants blancs (*white elephants*) comme les projets d'investissement

Le lien entre activité minière et pauvreté

Les villes minières reçoivent des revenus importants des entreprises minières, via le *canon*. Mais certains travaux montrent un faible impact sur la pauvreté.

De Echave et Torres (2005) ont travaillé sur la relation entre l'activité minière et la pauvreté par une analyse de données de *panel* sur la période 1991–2001. Ils concluent que l'activité minière a impact négatif sur la pauvreté.

Zegarra, J. C. Orihuela et Paredes (2005) ont cherché à identifier l'impact de l'activité minière sur les foyers des districts miniers. Ils ont constaté d'une part un effet positif sur les revenus, les dépenses et la réduction de la pauvreté. D'autre part, ils ont remarqué un effet négatif sur l'accès aux services d'eau potable et sur les installations sanitaires. Quant à l'activité agricole dans les zones minières, elle est en recul. Ils ont donc identifié des espaces de conflits d'usage potentiels.

Boza (2006) a remarqué que, durant la dernière décennie, le canon minier a couvert principalement les dépenses courantes au lieu des dépenses d'investissement public en développement.

De plus, nous constatons le faible recul de la pauvreté dans les départements miniers. Un indicateur important, la malnutrition infantile, est présenté dans une carte par départements (annexe C, page 222). En 2010, dans la région la plus riche en or, Cajamarca, plus de 40 % des enfants de moins de 5 ans sont en état de malnutrition chronique.

L'investissement direct en responsabilité sociale

Les entreprises minières investissent également dans le capital humain et dans la réduction de l'impact environnemental, à tel point que dans certaines villes, les entreprises se sont substituées de fait à l'État dans son rôle de pourvoyeur de services publics (santé et éducation).

Par exemple, l'entreprise minière Yanacocha, dans son mémoire de responsabilité sociale de 2010⁵, déclare avoir investi 78 millions de US\$, depuis son installation en 1993, dans un fonds de solidarité pour la région de Cajamarca, de façon volontaire et sans aucune obligation de l'État.

avec un surplus social négatif.

⁵Yanacocha, 2010.

Cela représente à peine 4 % de leurs ventes nettes de 2010, ou 10 % du résultat de l'exercice pour la même année. Ce fonds réalise des programmes d'éducation, de santé et de gestion d'eau.

8.2. Comparaison des *royalties* pour divers pays miniers

Le niveau optimal du taux de *royalties* et de taxes minières sont un sujet de discorde entre les entreprises et le gouvernement. Pour déterminer le niveau optimal de taxation, il est nécessaire de connaître le comportement des entreprises minières dans le présent, mais surtout les projections pour le futur. Autrement dit, il faut estimer les bénéfices futurs, lesquels dépendent essentiellement de la tendance des prix des minerais et de leurs coûts de production.

La question de la neutralité des impôts sur la rente de la ressource (*royalties*) dans les décisions d'investissement est discutable. Garnaut et Clunies Ross (1979) et plus récemment Fraser (1993) soutiennent que l'impôt sur la rente de la ressource n'influence pas les décisions d'investissement. Néanmoins, pour Smith (1999), c'est le contraire.

Il existe différentes positions sur la taxation minière. La plus radicale est celle de Otto (2004). Il affirme que les mines inexploitées fermeront à long terme si l'on taxe la rente pure. Selon Otto (2004), un pays qui taxe la rente pure devra subventionner les nouvelles explorations ou les faire lui-même. À l'opposé, Cairns (1998) soutient que les managers miniers ne considèrent pas le coût d'usage, simplement parce que les réserves sont optimisées en fonction de la capacité de la mine. Une fois que la mine est installée, c'est la capacité de production qui déterminera le niveau optimal de production.

La distribution de la rente entre les entreprises et le gouvernement est un sujet de négociation permanent pour s'approprier ce cadeau de la nature. Il faut remarquer que le gouvernement récupère la rente dans le but de créer d'autres sources de capitaux.

8.2.1. Les différents types de *royalties*

Les gouvernements ont plusieurs options dans la configuration de leur méthode de taxation. La World Bank (2006) a classifié les méthodes en deux grandes catégories : les taxes *in rem* et les taxes *in personam*.

8. Dépréciation du capital minier, revenus miniers et royalties

Les taxes *in rem* sont évaluées en fonction des gisements ou des *inputs* de production. Ces taxes sont divisées elles-mêmes en deux groupes : les taxes qui affectent le coût variable de production (comme les *royalties* par unité de production, les *royalties ad valorem*, les taxes sur les ventes et les taxes d'accise) et les taxes qui affectent le coût fixe (comme certains types de taxes foncières, les taxes d'importation, les frais d'inscription, les rentes foncières, la taxe sur la valeur ajoutée, certains types de droit de douane et les retenues d'impôt sur les intérêts d'emprunt et de services). Les taxes *in rem* prennent rarement en compte la notion de rentabilité.

Par opposition, les taxes *in personam* sont évaluées sur les revenus nets ou bénéfices, c'est-à-dire les revenus moins les coûts de l'activité. Les exemples incluent l'impôt sur le revenu, l'impôt progressif sur le revenu, l'impôt anticipé sur les dividendes versés, les *royalties* fondées sur une mesure de revenu et les *royalties* fondées sur une mesure du bénéfice.

Les travaux de Otto et al. (2006) décrivent en détail les principaux types de taxes que les gouvernements ont appliquées au secteur minier et leurs bases d'évaluation.

En général, les taxes *in rem* ont une plus grande probabilité de causer des distorsions dans les décisions relatives au degré d'extraction du minerai (*mine cutoff grade*), à la durée de vie de la mine et aux réserves. Selon nous, ce type de taxe est néanmoins le plus adapté à la prise en compte de la DCM.

De plus, avec un système de taxation basé sur le surplus financier (taxes *in personam*), les grands groupes multinationaux peuvent réduire leurs *royalties* en augmentant les transferts entre succursales avant impôts ou en diminuant les prix d'ordre.

8.2.2. Les différents systèmes de taxation

Lors de la conception d'un système de taxation, les décideurs publics doivent être conscients des effets cumulatifs que les impôts peuvent avoir sur l'économie des mines et sur les niveaux potentiels des futurs investissements. Il est nécessaire de reconnaître l'importance de chaque type d'impôt dans la réalisation des objectifs spécifiques et les effets cumulatifs.

Les investissements dans l'activité minière sont généralement irréversibles avec une anticipation très élevée. Si l'investissement se fait dans le cadre d'une politique fiscale particulière,

une fois que les investissements ont été réalisés, il peut être tentant pour le gouvernement d'imposer des taxes élevées sans subir de perte significative d'efficacité dans la production, et donc d'avoir des gains élevés de recettes dus au fait que l'assiette fiscale est relativement inélastique. À court terme, l'investissement est réalisé et ne sera pas affecté.

Boadway et Keen (2010) donnent une explication à ce problème. Pendant que le projet d'investissement minier est encore au stade de la conception, l'assiette fiscale potentielle est très sensible, très élastique au régime fiscal existant. Si l'investisseur estime que la taxe est excessive, il peut revoir son projet et annuler tout investissement supplémentaire. Les coûts irrécupérables (*sunk cost*) sont faibles. En revanche, une fois que les coûts irrécupérables sont réalisés, les investisseurs n'ont plus le choix : s'ils peuvent couvrir leurs coûts variables, il est préférable de continuer à produire plutôt que de stopper les opérations. Par conséquent, le gouvernement a intérêt à offrir un traitement relativement généreux au stade de la planification des investissements, lorsque l'assiette fiscale est relativement élastique, mais beaucoup moins généreux lorsque l'investissement a été fait, lorsque l'assiette fiscale est relativement inélastique.

Dans une perspective dynamique, ce changement dans la politique fiscale peut toutefois avoir des effets sur les attentes des entreprises. L'investissement dans le secteur sur le long terme peut diminuer beaucoup et donc affecter également l'assiette fiscale. Lorsque cette politique demeure discrétionnaire, les investisseurs dans les périodes suivantes peuvent se montrer réticents à investir (W. Mendoza, 2011).

Le tableau 8.4 décrit les taxes qui affectent l'activité minière de divers pays, concurrents potentiels des mines du Pérou. Nous voyons que le système fiscal péruvien partage des similitudes avec d'autres nations. En particulier, il possède un taux comparatif de taxation (32,8 %) dans la moyenne mondiale. Si les entreprises minières payaient les *royalties* prévues par la loi à hauteur de 3 % sur les ventes brutes, le niveau de compensation serait raisonnable.

TABLEAU 8.4. Comparatif international des principaux systèmes de taxation minière

Pays	Impôt sur le revenu	Redevances (royalties)	Impôts retenus à la source (<i>withholding taxes</i>)					Taux comparatif d'imposition*
			Dividendes	Intérêts	TVA et impôts sur des équipements importés	Impôts à l'exportation	Participation des salariés aux résultats de l'entreprise	
Pérou	30 %	1-3 % des ventes brutes	4,10 %	30 %. Avec taux réduit de 4,99 % ou 1 % appliqué sur certains intérêts	19 %	SD	8 %	32,87 %
Argentine	35 %	0-3 % de la valeur d'exportation (<i>pi-thead value</i>). Varie selon le lieu.	0 %	10 %	21 % taux standard. Autres taux 10,5 %	5 % ou 10 % selon les minerais	SD	35 %
Brésil	34 %	0,2-3 % de la valeur des ventes moins certaines déductions	0 %	15 %	17-18 %	SD	SD	34 %
Chili	17 %	0-5 % de la marge opérationnelle MOP	35 %	35 %	19 %	SD	SD	35 %

Source : Instituto Peruano de Economia (2011)

TABLEAU 8.4. Comparatif international des principaux systèmes de taxation minière (suite)

Pays	Impôt sur le revenu	Redevances (royalties)	Impôts retenus à la source (withholding taxes)				Participation des salariés aux résultats de l'entreprise	Taux comparatif d'imposition*
			Dividendes	Intérêts	TVA et impôts sur des équipements importés	Impôts à l'exportation		
Colombie	33 %	1-12 % de la valeur d'extraction	0 %	0 %	0-16 %	SD	SD	33 %
Mexique	30 %	Aucun	0 %	30 %	0-16 %	SD	10 %	30 %
Australie	30 %	0-10 % de la valeur d'extraction selon minerais	30 % ⁽ⁱ⁾	30 % ⁽ⁱ⁾	TVA 10 % ; taux de douane 5 % ; plusieurs exonérations	SD	SD	30-51 %
Canada	28-34 % (18 % impôt fédéral + 10-16 % national)	Variable selon le lieu (2,5-17,5 % des résultats de l'exercice)	25 % ⁽ⁱ⁾	Jusqu'à 25 % ⁽ⁱ⁾	5-13 %	SD	SD	32-51 %
Chine	25 %	Aucun	10 % ⁽ⁱ⁾	10 % ⁽ⁱ⁾	17 % ; il peut y avoir d'une exonération sur les investissements étrangers	Or et fer n'ont pas d'exportation ; cuivre et zinc ont un taux de 30 %	SD	29-33 %

Source : Instituto Peruano de Economia (2011)

TABLEAU 8.4. Comparatif international des principaux systèmes de taxation minière (suite)

Pays	Impôt sur le revenu	Redevances (royalties)	Impôts retenus à la source (withholding taxes)				Taux comparatif d'imposition *
			Dividendes	Intérêts	TVA et impôts sur des équipements importés	Impôts à l'exportation	Participation des salariés aux résultats de l'entreprise
Russie	15,5–20 %	3,8–8 % de la valeur d'exportation et commercialisation. Pour le pétrole et le gaz le pourcentage dépend des prix internationaux.	général 9 % ; investissement stratégique 0 % ; entreprises étrangères 15 %	20 % ⁽ⁱ⁾	18 %	5–10 % de la valeur de douane de produits transformés	SD 15,5–32 %
Afrique du sud	Variable : si la mine est d'or ou si elle est exportée par d'autres impôts, approx. 28 % + autres impôts	Variable entre minerais raffinés (5 %) et non raffinés (7 %)	10 % (en changement)	SD	14 %	SD	maximale 34,55 %

Source : Instituto Peruano de Economía (2011)

TABLEAU 8.4. Comparatif international des principaux systèmes de taxation minière (suite)

Pays	Impôt sur le revenu	Redevances (royalties)	Impôts retenus à la source (withholding taxes)					Taux comparatif d'imposition*
			Dividendes	Intérêts	TVA et impôts sur des équipements importés	Impôts à l'exportation	Participation des salariés aux résultats de l'entreprise	
États-Unis	35 %	Variable pour les mine-raies extraits dans de terres fédérales 12,5–18,5 %	30 % ⁽ⁱ⁾	30 % ⁽ⁱ⁾	SD	SD	SD	35 %

Note : TVA : taxe sur la valeur ajoutée. SD : sans donnée. MOP : rapport entre le résultat d'exploitation et le chiffre d'affaires.

* Le taux comparatif est l'impôt sur le revenu plus les impôts sur les bénéfices.

Dans le cas du Pérou, le calcul est $30 + (70 \times 4,1) \div 100 = 32,87 \%$.

⁽ⁱ⁾ Ce taux peut être réduit par des accord internationaux.

Source : Instituto Peruano de Economia (2011)

9. Revenu durable et constitution d'un fonds de ressources naturelles

L'abondance de ressources minières et l'importance de ces actifs naturels dans le développement du Pérou conduisent à s'interroger sur leur contribution à un développement durable. Notre proposition se base sur la construction d'un revenu durable à partir de ressources minières qui permettrait d'assurer une rente aux générations futures quand ces ressources seront épuisées.

Nous présentons le réinvestissement des rentes via la création d'un fonds de développement, et citons quelques exemples de fonds, puis nous calculons un revenu durable à partir des mesures de la DCM estimées auparavant.

9.1. Constitution d'un fonds de ressources naturelles

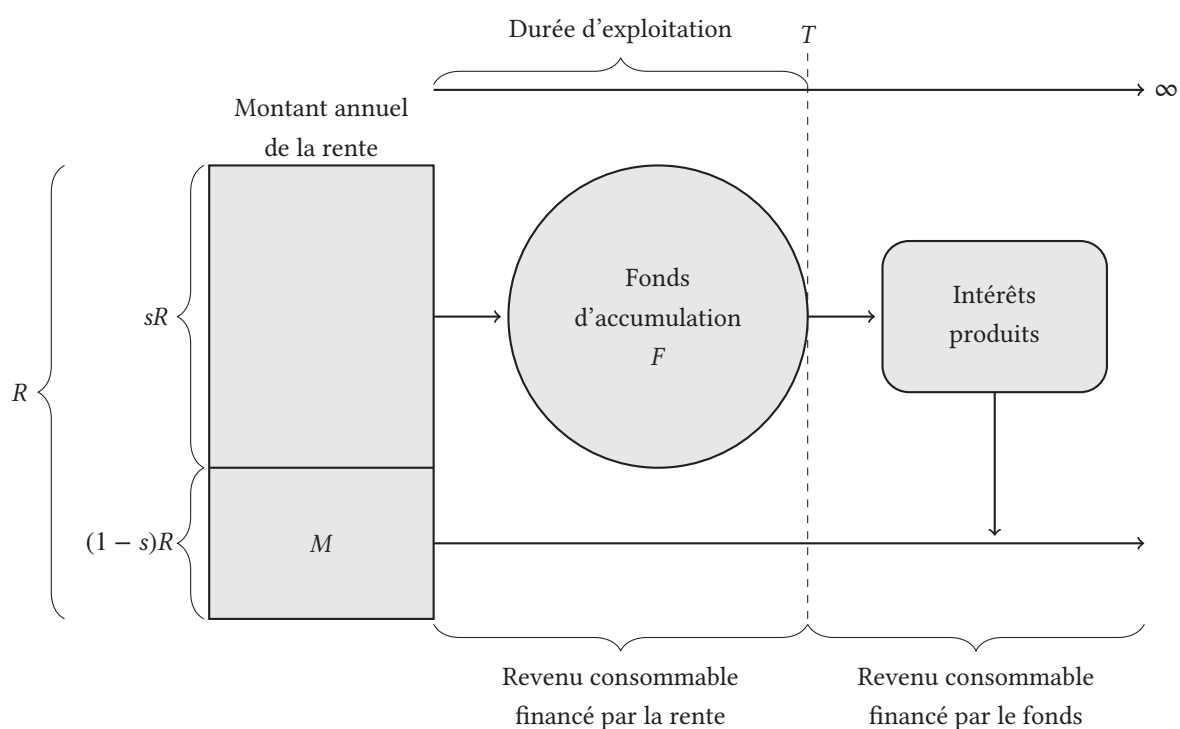
Pour Hicks (1939), le concept même de revenu fait appel à la durabilité. Il définit le revenu comme la somme maximale que l'on peut dépenser aujourd'hui sans réduire la consommation réelle dans le futur.

Lorsque l'on perçoit un revenu issu d'une ressource renouvelable, pour assurer sa durabilité, il faut effectuer un prélèvement qui n'excède pas la productivité nette de la ressource. En maintenant le stock de la ressource, on peut disposer chaque année du revenu associé à la productivité de la ressource. Cependant, pour une ressource non renouvelable, tout prélèvement se traduit par une réduction du stock : toute unité utilisée aujourd'hui n'est plus disponible demain. Si nous consommons la totalité du revenu, en fin d'extraction, nous n'aurons plus rien. Il faut donc trouver le moyen d'épargner une partie du revenu et de s'assurer que l'utilisation de cette épargne maintiendra un niveau de revenu égal à la fraction aujourd'hui consommée.

9.1.1. Fonctionnement d'un fonds de développement

Nous présentons le fonctionnement d'un fonds de développement (figure 9.1). Remarquons qu'un fonds de développement a vocation à prendre le relais de la ressource lorsqu'elle sera épuisée. C'est en se basant sur ce principe que l'on calcule un revenu durable et le montant du fonds.

FIGURE 9.1. Constitution d'un fonds de développement



Source : Point (2011)

Dans la figure 9.1, le revenu durable est calculé par

ÉQUATION 9.1. Calcul du revenu durable

$$M = R[1 - (1 + r)^{-T}]. \quad (9.1)$$

La fraction à épargner est

$$s = (1 + r)^{-T}. \quad (9.2)$$

Ainsi, le montant du fonds de développement est

9. Revenu durable et constitution d'un fonds de ressources naturelles

ÉQUATION 9.3. Montant du fonds de développement

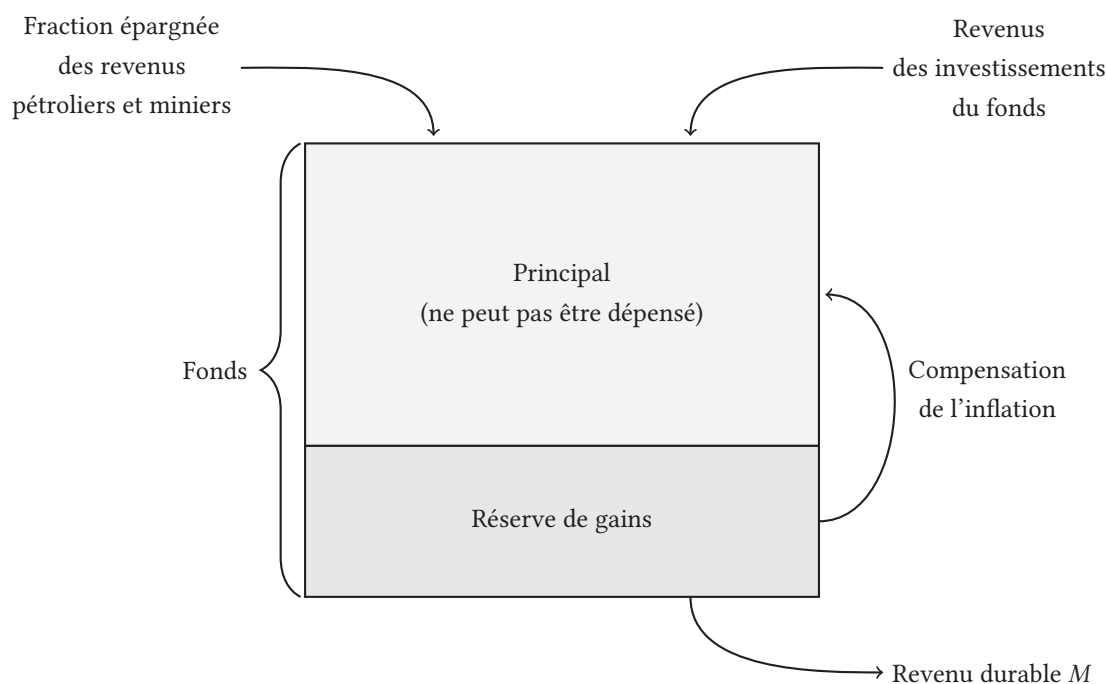
$$F = \frac{sR[(1+r)^T - 1]}{r}. \quad (9.3)$$

La date de fin d'exploitation est égale à T , où nous avons $M = rF$.

Le revenu de référence R est soumis à des facteurs qui en font varier le montant chaque année : les découvertes de nouveaux gisements, les techniques d'exploitation plus poussées qui augmentent la production, et les variations de prix (influencés par la rareté ou par les fluctuations de la demande). De la même façon, la durée d'exploitation T dépend de ces facteurs et peut donc varier.

Il est donc conseillé de calculer le revenu durable chaque année en fonction des conditions du moment et le fonds sera alimenté sur les bases de calculs annuels. Le fonctionnement d'un fonds de ressources pétrolières et minières est présenté dans la figure 9.2.

FIGURE 9.2. Fonctionnement d'un fonds de ressources pétrolières et minières



Source : Point (2011)

9.1.2. Exemples de création d'un fonds permanent

La création d'un fonds alimenté par les recettes issues de l'exploitation de ressources naturelles épuisables n'est pas une idée nouvelle. Elle est déjà mise en œuvre par plusieurs pays.

Un dénominateur commun aux pays qui ont opté pour la création d'un fonds est une forte dépendance aux recettes issues des ressources naturelles dans le budget de l'État et dans la stabilité de leurs balances commerciales. Ces pays sont en général des exportateurs nets de ressources naturelles. Dans le tableau 9.1 nous prenons l'exemple de la dépendance des recettes du pétrole avec certains pays ayant un fonds.

TABLEAU 9.1. Relation du secteur pétrolier dans l'économie des pays ayant un fonds, 2004

Pays	Production pétrolière (en milliers de barils par jour)	Réserves prouvées (en milliards de barils)	R/P Réserves sur Production (en années)	PIB <i>per capita</i> (en US\$ courants)	Exportations pétrolières sur Exportations totales (en %)	Recettes pétrolières sur Revenus publics totaux (en %)
Alaska	1 086	4,45	11	51 685		42
Azerbaïdjan	318	7,00	60	1 029	77	56
Canada (Alberta)	1 720	175,60	280	44 128	56	33
Kazakhstan	1 295	39,60	83,8	2 724	55	42
Koweït*	2 424	99,00	112	16 974	86	77
Norvège	3 188	9,70	8	54 598	39	23
Oman*	785	5,60	19,5	8 160	76	73
Russie	9 285	72,30	21	4 078	41	
Tchad	168	0,60	10	486		58
Vénézuéla	2 980	77,20	71	4 184	83	46

Note : * Le PIB a été pris pour l'année 2003.

Source : Bacon et Tordo (2006)

Le revenu public de l'échantillon des pays dépendent à 50 % en moyenne des recettes pétrolières. On peut remarquer que le Canada est très riche en réserves (280 ans) et a une dépendance moyenne, par contre le Koweït, également riche en réserves (112 ans), est le pays le plus dépendant (77 %). Un autre exemple est le Tchad, qui a des faibles réserves (10 ans) et une grande dépendance (58 %). Par contre, la Norvège (8 ans), avec aussi peu de réserves, est aussi le pays moins dépendant (23 %).

9. Revenu durable et constitution d'un fonds de ressources naturelles

Les objectifs associés à la création d'un fonds de ressources épuisables peuvent être liés à l'alimentation du fonds ou liés à l'utilisation des intérêts générés par le fonds.

Parmi les objectifs liés à l'alimentation du fonds nous avons :

- la continuité des revenus à long terme : le fonds cherche à épargner en substituant à un actif épuisable, un actif financier générateur d'un revenu permanent ;
- la stabilisation macro-économique : le fonds sert à limiter les variations des recettes liées à la volatilité des prix des ressources, et les risques d'inflation. Ainsi le fonds amortit les impacts lorsqu'une baisse intervient. Il permet la stabilisation du budget de l'État par ajustement des transferts ;
- l'utilisation optimale des ressources : l'afflux soudain de recettes peut avoir des effets pervers et conduire au syndrome hollandais.

Parmi les objectifs de l'utilisation des intérêts générés par le fonds, nous citons :

- la réattribution de revenus locaux : redistribution des revenus aux communautés affectées, car il y a souvent un coût environnemental et social lié à l'extraction, coût qu'il faut compenser ;
- le développement d'une énergie durable : faciliter la transition vers des énergies renouvelables ;
- le soutien à la diversification industrielle : développer d'autres activités pour compenser les activités extractives ;
- le soutien à des secteurs stratégiques : les transports, l'infrastructure, l'éducation et la santé.

Ensuite, nous décrivons certains fonds de ressources naturelles dans l'objectif de comparer les différents avantages et les principaux aspects dans la conception d'un fonds. Plusieurs fonds pétroliers et miniers sont présentés en utilisant des indicateurs sur quatre aspects : l'établissement du fonds, les transferts du fonds, le management et l'investissement, et la gouvernance (tableau 9.2).

TABLEAU 9.2. Principaux aspects dans la conception des fonds pétroliers et miniers

Indicateurs	Alaska	Canada (Alberta)	Azerbaïdjan	Tchad	Kazakhstan	Koweït	Norvège	Oman	Vénézuéla	Russie	Sao Tomé-et-Principe	Timor oriental	Chili	Nauru	Papouasie-Nouvelle-Guinée
<i>L'établissement du fonds</i>															
Campagne d'information avant la création du fonds	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non
Forme légale de l'établissement du fonds ¹	C	A	D	D	D	A	A	A	D	A	A	A	A	A	A
Objectif du fonds ²	F	F	B	B	B	F	B	T	T	T	F	F	T	F	T
État du fonds ³	A	A	A	M	M	M	M	A	M	M	M	M	M	M	M
<i>Les transferts du fonds</i>															
Détermination des paiements nets de financement ⁴	R	R	D	n.a.	R	D	D	R	D	D	R	R	R	D	D
Formule de calcul des prix	Non	Non	Non	n.a.	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui

Source : Bacon et Tordo (2006)

¹C = Amendement constitutionnel ; A = Acte parlementaire ; D = Décret présidentiel²T = Fonds de stabilisation ; F = Fonds d'épargne ; B = Fonds de stabilisation et d'épargne³A = Institution autonome ; M = Ministère des Finances, autre Ministère ou Banque Centrale⁴R = Règles fixes d'épargne ; D = Épargne discrétionnaire

TABLEAU 9.2. Principaux aspects dans la conception des fonds pétroliers et miniers (suite)

Indicateurs	Alaska	Canada (Alberta)	Azerbaïdjan	Tchad	Kazakhstan	Koweït	Norvège	Oman	Vénézuéla	Russie	Sao Tomé-et-Principe	Timor oriental	Chili	Nauru	Papouasie-Nouvelle-Guinée
<i>Le management et l'investissement</i>															
Stratégie flexible (court-long terme) vs règles prescriptives	Oui	Oui	Oui	n.a.	Oui	Oui	Non	?	Non	Non	Oui	Oui	Non	?	Non
Conseillers en placement	Oui	Oui	Non	n.a.	Non	?	Non	?	Non	Non	Oui	Oui	Non	?	Non
Managers externes	Oui	Non	Oui	n.a.	Oui	Oui	Oui	?	Non	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non
Publication d'objectifs de rendement global	Oui	Oui	Oui	n.a.	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non
Repères (<i>benchmarks</i>) établis et publiés	Oui	Oui	Oui	n.a.	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non
Investissement domestique autorisé	Oui	Oui	Non	n.a.	Non	?	Non	?	Oui	Non	Non	Non	Oui	?	Oui
Investissement en actions	Oui	Oui	Oui	n.a.	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non
Investissement gouvernemental autorisé	Oui	Oui	Non	n.a.	Non	?	Non	?	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non
Délimitation géographique internationale des investissements	Oui	Oui	Oui	n.a.	Non	?	Oui	?	n.a.	?	Non	Oui	n.a.	Non	n.a.

Source : Bacon et Tordo (2006)

TABLEAU 9.2. Principaux aspects dans la conception des fonds pétroliers et miniers (suite)

Indicateurs	Alaska	Canada (Alberta)	Azerbaïdjan	Tchad	Kazakhstan	Koweït	Norvège	Oman	Vénézuéla	Russie	Sao Tomé-et-Principe	Timor oriental	Chili	Nauru	Papouasie-Nouvelle-Guinée
<i>La gouvernance</i>															
Contrôle et administration à multi-niveaux	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non
Publication annuelle des rapports	Oui	Oui	Oui	n.a.	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui
Publication des performances	Oui	Oui	Oui	n.a.	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui
Publication des audits	Oui	Oui	Oui	n.a.	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non
Site web pour la performance du fonds	Oui	Oui	Oui	n.a.	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui

Source : Bacon et Tordo (2006)

9. Revenu durable et constitution d'un fonds de ressources naturelles

Dans le tableau comparatif, nous remarquons deux groupes distincts. D'une part, le groupe des « bons élèves », formé par l'Alaska, le Canada et le Timor oriental, qui ont des règles d'épargne fixes et qui promeuvent la transparence : ils ont fait une campagne d'information avant la création du fonds, ils publient objectifs et rendements, et le contrôle et l'administration se fait à plusieurs niveaux. D'autre part, le groupe des « mauvais élèves », formé par le Koweït, le Venezuela, la Russie, Nauru, la Papouasie-Nouvelle-Guinée, qui ont des règles d'épargne discrétionnaires et un faible niveau de transparence.

Les fonds de ressources naturelles sont fortement liés aux règles fiscales car ces règles permettent de créer et de maintenir un fonds. Les pays dépendants de recettes issues des ressources naturelles non renouvelables doivent faire face à la volatilité et à l'incertitude de ces recettes. De plus, la variabilité de ces revenus affectent la stabilité macroéconomique et la compétitivité, sans oublier la dette intergénérationnelle due à l'extraction de ces ressources.

Ces arguments montrent le besoin de règles fiscales à court terme pour assurer la permanence d'un fonds de ressources naturelles. Dans le tableau 9.3 nous présentons les indicateurs fiscaux sur lesquels sont basés les fonds de plusieurs pays pétroliers et miniers.

TABLEAU 9.3. Indicateurs fiscaux pour le fonds de ressources naturelles

Règle fiscale	Pays
Balance des paiements	Canada (Alberta), Indonésie, Mexique, Pérou
Balance commerciale	Vénézuéla
Balance commerciale	Vénézuéla
Déficit de la balance commerciale ajusté aux prix des ressources épuisables	Chili
Balance commerciale des autres ressources (hors ressources épuisables)	Azerbaïdjan, Équateur, Timor oriental
Déficit de la balance commerciale (hors ressources épuisables)	Norvège
Dépenses publiques (taux sur le niveau de croissance)	Tchad, Équateur, Guinée Équatorial, Pérou, Vénézuéla
Ratio de dette publique sur le PIB	Alberta, Équateur, Vénézuéla

Source : Bacon et Tordo (2006)

Nous voyons qu'il y a une grande variété d'indicateurs fiscaux utilisés pour la constitution des fonds de ressources naturelles. Le Pérou, par exemple, utilise deux indicateurs.

Pour la continuité et l'efficacité d'un fonds de ressources naturelles, Ossowski (2011) recommande un compromis entre rigidité et flexibilité dans les règles fiscales en créant des objectifs par intervalles ; par exemple : l'objectif de versements dans le fonds de 2 % à 4 % des recettes au lieu de 3 % fixe. Cela donne une marge d'action au gestionnaire et réaffirme le besoin d'un programme de transparence dans les comptes issus du fonds.

Il n'y a pas un modèle unique pour la création et la gestion d'un fonds de ressources non renouvelables. Les règles de base doivent prendre en compte les besoins et les particularités de chaque pays en matière sociale et institutionnelle. Deux exemples assez opposés sont la Norvège et le Venezuela (Bjerkholt et Niculescu, 2004), deux pays avec des productions pétrolières semblables (approximativement 3 millions de barils de pétrole par jour).

Le cas norvégien illustre l'approche *bird in the hand*, « un oiseau dans la main... » qui consiste en un fonds unique qui perçoit les recettes pétrolières et limite les variations macroéconomiques. Le fonds est basé sur la dépréciation du capital naturel.

Au contraire, le cas vénézuélien est l'exemple de l'approche *birds in the bush*, « ... vaut mieux que deux dans le buisson. » Le Venezuela a eu plusieurs fonds de stabilisation issus de recettes pétrolières (1990, 1998, 1999 et 2001). Pour le Venezuela, les recettes non pétrolières ne suffisent pas pour financer les besoins des programmes d'éducation, de santé et d'infrastructure. Il a été décidé de séparer la partie stabilisation de la partie épargne dans le fonds, en utilisant une combinaison de règles fiscales et une épargne graduelle dans le futur.

Les expériences des pays dépendants des recettes issues de ressources épuisables montrent le besoin de règles fiscales pour dépolitiser la constitution et la gestion d'un fonds. La simplicité et la transparence des règles fiscales favorisent le maintien d'une épargne pour les générations futures.

Un exemple de programme de transparence est donné par le fonds permanent du gouvernement de l'Alaska⁵, lequel publie régulièrement des indicateurs de gestion et d'administration du fonds ainsi que les états financiers détaillés. Parmi les objectifs de ce fonds, il y a la redistribution de dividendes aux citoyens (graphique 9.1), ce qui permet aux habitants de l'Alaska

⁵Site web du Fonds Permanent de l'Alaska : <http://www.apfc.org/home/Content/home/index.cfm>.

9. Revenu durable et constitution d'un fonds de ressources naturelles

d'augmenter leur pouvoir d'achat dans une région où il y a un fort chômage (60 % en zone rurale) et des liquidités faibles.

GRAPHIQUE 9.1 Dividendes du Fonds Permanent de l'Alaska



Source : site web du fonds permanent de l'Alaska

10. Fonds de ressources minières au Pérou

La crise des années 1980, l'hyperinflation et les déséquilibres macroéconomiques ont abouti à la création de la loi de responsabilité et de transparence fiscale (LRTF). La règle était de maintenir un déficit fiscal inférieur à 1 % du PIB. Même si cette règle n'a pas été respectée (pendant les années 2001–2006, le déficit était autour de 2 % du PIB), cette loi représente le premier effort en matière de responsabilité fiscale.

Un cas d'épargne péruvienne est le fonds issus des privatisations des principales entreprises publiques. Malgré la LRTF, comme l'a signalé Morón (2006), ces fonds ont été dilapidés dans le financement des dépenses courantes de la deuxième période du gouvernement de A. Fujimori, entre 1998 et 2000.

En 2006, le Pérou atteint l'objectif d'un déficit fiscal fixé par la LRTF. La bonne santé de l'économie péruvienne et la stabilité macroéconomique permettent une transition de gouvernement favorable (Kapsoli, W. Mendoza et Rabanal, 2006).

En 2011, le fonds de stabilisation et d'épargne a été créé par décret d'urgence, avec les excédents fiscaux des recettes minières. Ce fonds est constitué de 2 milliards de *Nuevos Soles* (approximativement 740 millions de US\$) et vise la stabilité macroéconomique et le maintien de l'épargne en cas de crise internationale.

Aujourd'hui le Pérou n'a pas encore incorporé dans son épargne une compensation de la perte d'une ressource épuisable, ou une épargne qui vise à compenser la dette envers les générations futures.

10.1. Estimation d'un revenu durable pour l'activité minière péruvienne

Sur la base de la mesure de la dépréciation du capital minier (DCM), nous présentons les estimations pour un fonds issus des ressources minières. L'objectif est de créer un revenu durable qui prendra le relais des recettes minières lors de l'épuisement des minerais. Il s'agit donc d'un fonds qui vise à compenser la perte d'une ressource et à créer une épargne pour les générations futures qui n'auront pas connu de boom minier.

Le tableau 10.1 et le graphique 10.1 présentent les hypothèses pour la création d'un fonds minier. Les données sont présentées dans l'annexe J, page 249. Si le Pérou épargne 8 % de la DCM de l'année 2008 (3,2 milliards US\$) estimée par l'analyse microéconomique, le pays aurait en 25 ans un fonds estimé de 27,6 milliards US\$ et un revenu durable de 2,9 milliards US\$.

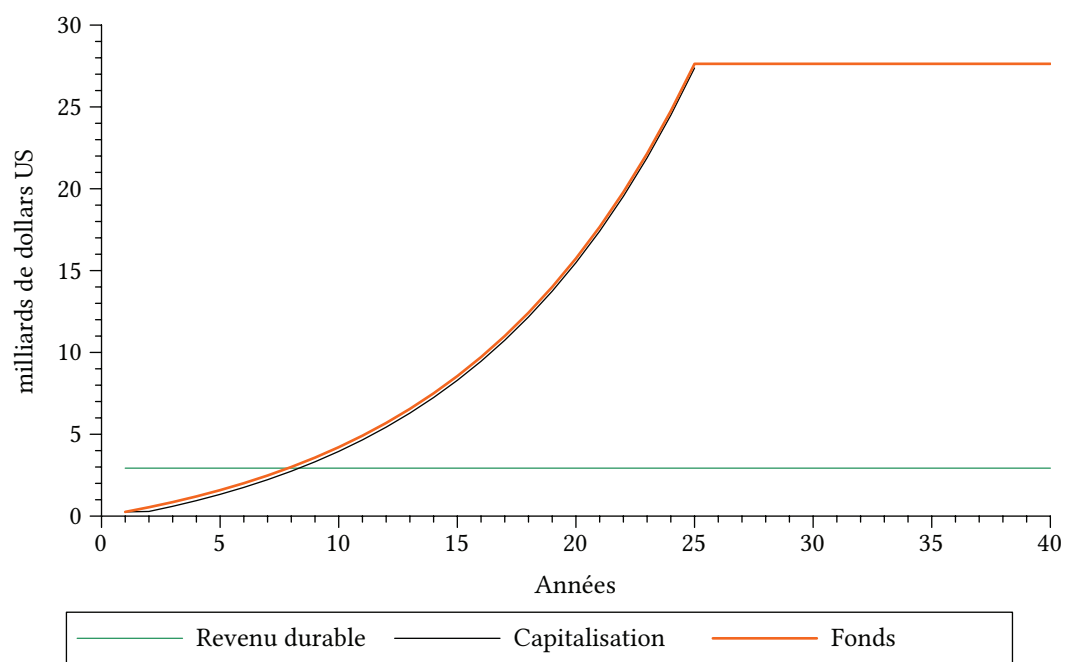
TABLEAU 10.1. Création d'un fonds de ressources minières avec la dépréciation minière de 2008

Variable	Description	Donnée	Formules
T	Fin d'exploitation	25 ans	
R	Dépréciation minière de 2008	3 186 millions de US\$1994	
M	Revenu durable	2 929 millions de US\$ 1994	$R[1 - (1 + r)^{-t}]$
S	Fraction à épargner	8 %	$(1 + r)^{-t}$
F	Montant du fonds	27 633 millions de US\$1994	$\frac{sR}{r}[(1 + r)^t - 1]$
R	Taux d'intérêt (TAMEX)	10,6 %	

Source : auteur

10. Fonds de ressources minières au Pérou

GRAPHIQUE 10.1 Revenu durable pour les ressources minières pour un fonds de 25 ans



Source : auteur

Nous supposons une durée de vie de l'activité minière de 25 ans. Cette estimation repose sur la pondération de la durée de vie de chaque minerai par leur prix international. La durée de vie d'un minerai est estimée par le ratio réserves sur production (tableau 10.2).

TABLEAU 10.2. Durée de vie de l'activité minière au Pérou

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Argent	Production (milliers d'onces fines)	78 374	82 663	92 261	93 998	98 375	103 064	111 584	112 574
	Réserves (milliers d'onces fines)	1 302 353	1 594 751	1 367 850	1 406 584	1 802 185	1 305 763	1 915 282	3 242 121
	Prix (us\$/once)	4,56	4	4,22	4,48	6,1	6,69	10,55	12,23
	Durée d'exploitation (années)	17	19	15	15	18	13	17	29
Or	Production (milliers d'onces fines)	4 263	4 454	5 065	5 550	5 569	6 687	6 521	5 473
	Réserves (milliers d'onces fines)	113 194	120 311	101 254	96 460	59 916	62 562	72 823	66 553
	Prix (us\$/once)	254,63	247,21	282,67	331,42	373,56	406,03	551,05	635,66
	Durée d'exploitation (années)	27	27	20	17	11	9	11	12
Zinc	Production (milliers de TMF)	910	1 057	1 233	1 374	1 209	1 202	1 203	1 444
	Réserves (milliers de TMF)	16 344	18 154	18 071	18 151	15 422	18 309	17 106	20 696
	Prix (us\$ /TN)	1 128	886	779	828	1 048	1 382	3 275	3 242
	Durée d'exploitation (années)	18	17	15	13	13	15	14	14
Cuivre	Production (milliers de TMF)	554	722	845	843	1 036	1 010	1 048	1 190
	Réserves (milliers de TMF)	57 122	58 702	59 792	57 878	38 087	44 031	57 132	88 998
	Prix (us\$ /TN)	1 813	1 578	1 560	1 779	2 866	3 679	6 722	7 119
	Durée d'exploitation (années)	103	81	71	69	37	44	54	75
Plomb	Production (milliers de TMF)	271	290	306	309	306	319	313	329
	Réserves (milliers de TMF)	3 551	4 915	5 429	5 195	3 936	4 945	6 295	5 876
	Prix (us\$ /TN)	454	476	453	515	886	976	1 290	2 580
	Durée d'exploitation (années)	13	17	18	17	13	15	20	18
Fer	Production (milliers de TLF)	2 768	3 038	3 056	3 485	4 247	4 565	4 785	5 104
	Réserves (milliers de TLF)	850 332	827 326	854 801	846 923	914 176	967 072	1 141 203	1 224 008
	Prix (us\$ /TN)	18,5	19,4	19	15,9	21,5	32,7	37,4	39,84
	Durée d'exploitation (années)	307	272	280	243	215	212	239	240
Étain	Production (milliers de TMF)	37	38	39	40	42	42	38	39
	Réserves (milliers de TMF)	712	743	736	686	636	604	474	385
	Prix (us\$ /TN)	5 436	4 484	4 060	4 895	8 513	7 382	8 781	14 539
	Durée d'exploitation (années)	19	19	19	17	15	14	12	10
Dépréciation (milliers us\$ courants)									
Dépréciation (milliers us\$ 1994)									
Durée pondérée par le prix de minerais (années)									

Source : auteur avec les données du MEM

10. Fonds de ressources minières au Pérou

Une donnée déterminante est la durée de vie de l'activité. Plus la période d'extraction est longue, plus l'épargne sera faible, et plus le revenu durable sera important et donc également le fonds (tableau 10.3).

TABLEAU 10.3. Étude de sensibilité pour le calcul d'un fonds minier basé sur la DCM de 2008
(en millions de US\$ 1994)

Dépréciation minière 2008	3 186		
Taux d'intérêt (TAMEX)	10,6 %		
Durée d'exploitation	25 ans	30 ans	40 ans
Revenu durable	2 929	3 031	3 129
Fraction à épargner	8 %	5 %	2 %
Montant du fonds	27 633	28 592	29 520

Source : auteur

Conclusion

Nos travaux montrent que les revenus miniers sont loin de compenser la dépréciation du capital minier, mais aussi que ces revenus ne sont pas raisonnablement réinvestis. Cette situation accentue la non durabilité de l'activité minière au Pérou. La règle de Hartwick n'est pas respectée pour les périodes analysées. Le Pérou perd plus de richesses qu'il n'en crée.

La marge entre revenus miniers et DCM donne un argument pour la négociation d'un système de taxation minière qui prend en compte la perte du capital naturel. L'étude comparative des *royalties* dans divers pays miniers nous pousse à recommander un système basé sur une taxe sur les ressources extraites (taxe à la production), de façon à incorporer le coût d'opportunité d'extraction d'une unité de minerais.

Finalement, nous pouvons produire des rentes durables d'une ressource non renouvelable. La création d'un fonds de développement pourrait permettre au pays d'augmenter sa stabilité, d'épargner pour les générations futures et d'améliorer sa gouvernabilité.

Conclusion générale

Les années 1990 ont vu, au Pérou, des privatisations massives de gisements miniers et l'octroi de « contrats de stabilité » protégeant les intérêts des entreprises, ce qui a permis un important investissement étranger dans le secteur minier. Vingt ans après le décret-loi de 1992 ¹, nous sommes en droit de nous interroger sur la contribution effective de l'activité minière au développement du pays.

La notion de dépréciation du capital minier (DCM) semble, au Pérou, complètement absente à tous les niveaux, tant dans les débats politiques, que dans les discussions économiques, dans les articles de recherche, et bien évidemment, dans le système de taxation minier. Nous avons constaté qu'il s'agit pourtant d'un outil conceptuel indispensable à l'analyse objective de la situation.

Récapitulatif

Le Pérou est un pays qui possède d'abondantes ressources minières, sur lesquelles reposent une grande partie de son économie. Nous avons construit un *modèle de croissance* du Pérou prenant en compte les ressources naturelles, l'ouverture économique, les termes de l'échange, l'investissement et l'éducation. Notre analyse se base sur des *séries temporelles*, et non pas sur une étude transversale à un instant donné, comme on le retrouve dans la plupart des travaux sur la *ressource curse*. Notre modèle nous a permis de montrer l'absence de *malédiction des ressources naturelles* au Pérou sur la période 1960–2007, mais a en même temps souligné la forte dépendance de l'économie par rapport aux ressources minières.

¹Loi de promotion de l'investissement dans l'activité minière, décrétée par le Président Fujimori (Pouvoir Exécutif, 1992).

Conclusion générale

Tout au long de cette thèse, nous avons à évaluer de différentes manières la *durabilité de l'activité minière péruvienne*. En effet, la forte croissance ne garantit pas la durabilité (faible) de celle-ci. L'outil central de notre étude pour estimer la durabilité est la règle de Hartwick, dont l'évaluation repose en grande partie sur la mesure de la DCM.

Notre première approche relativement classique de la mesure de la DCM, repose sur l'utilisation d'indicateurs macroéconomiques (Hamilton, 2000). Nous arrivons à une approximation de la DCM à 1,4 % du PIB sur la période 1994–2004.

Depuis l'an 2000, le Ministère de l'Énergie et des Mines péruvien (MEM) impose à chaque entreprise minière une déclaration annuelle (DAC²). À partir de ces informations, ainsi que d'autres informations stratégiques, nous avons contruit notre base de données de coûts opérationnels, de prix et quantités de facteurs de production par entreprise minière. Cela nous a permis de déterminer une *fonction de coût translog multi-produit* en utilisant des données de *panel*. Nous avons obtenus les *coûts marginaux par entreprise*, ce qui nous permet de calculer une estimation *plus précise* de la rente totale de Hotelling (RTH). Selon Hartwick et Hageman (1993), la DCM est équivalente à la RTH. Nous obtenons alors une valeur de la DCM de 6,9 % du PIB sur la période 2000–2008.

Ce qui nous frappe, c'est que cette seconde valeur est quasiment *cinq fois* plus importante que l'estimation classique. Cela a plusieurs conséquences, dont la principale est la forte sur-estimation du PIB. Si l'on prenait en compte la DCM dans le calcul du PIB, on constaterait une *perte nette de capital* au profit des grands groupes miniers. La première condition de la règle de Hartwick nous dit alors que l'activité minière péruvienne est *non durable*, malgré une forte croissance économique et une augmentation des recettes minières.

Un option durable serait de *taxer à hauteur de la DCM* les entreprises minières, et d'utiliser ces recettes pour créer un fonds de développement. Nous avons pour cela évalué les réserves minières des 7 principaux minéraux et estimé la durée de vie de l'activité, puis nous avons simulé le fonctionnement d'un tel fonds de développement. En épargnant seulement 8 % de la DCM de 2008, nous obtiendrions en 25 ans un fonds de 28 milliards de US\$.

² *Declaración Anual Consolidada*, déclaration annuelle consolidée. Il s'agit d'une déclaration des états financiers et des détails d'extraction par unité minière.

Limites

Notre travail comporte cependant quelques limites.

Notre modèle de croissance de 1960 à 2007 ne prend pas en compte les variables institutionnelles mises en évidence par Brunnschweiler (2008). Cela permettrait d'affiner nos résultats, mais nous n'avons pu obtenir ces données (il s'agit principalement des indices de corruption, de développement humain et de gouvernance) que sur la période 1995–2007, ce qui ne nous a pas permis de les incorporer à notre modèle.

Notre estimation macroéconomique repose sur un paramètre de correction λ , mis en évidence par G. A. Davis et Moore (2000). Malheureusement, notre modèle présente une forte sensibilité au paramètre de correction.

Notre estimation de la fonction de coût ne repose que sur certains facteurs de production, ceux pour lesquels nous avons réussi à obtenir les données. La part des coûts non expliqués est d'environ 44 %. Par exemple, pour la variable « énergie », nous nous basons exclusivement sur la consommation d'électricité. Il serait intéressant d'avoir des informations sur le coût de transport, de déplacement des stériles (*stripping ratio*), les coûts de siège et de la sous-traitance.

Dans l'application de la règle de Hartwick, nous n'utilisons que la première condition. Nous n'avons pas évalué la seconde condition qui traite des compensations du capital naturel par d'autres formes de capital, notamment l'investissement direct des entreprises dans la santé, l'éducation, les infrastructures, la recherche et le développement, l'innovation, les passifs environnementaux, etc.

Recommandations

À la suite de nos travaux, nous formulons trois recommandations, de la plus réaliste, à la plus optimiste.

Tout d'abord, il nous semble crucial d'incorporer la notion de DCM à la comptabilité nationale. Ceci ne poserait pas de difficulté d'ordre technique, car le ministère MEM possède toutes les données utiles pour cela. Il ne s'agit que d'un problème de volonté politique.

Incorporer la DCM à la comptabilité nationale ouvrirait la porte à la création d'une comptabilité environnementale, ce que cherche à obtenir l'INEI depuis plus de dix ans à travers ses programmes de statistiques environnementales.

De plus, cela fournirait un important *levier de négociation* avec les groupes miniers pour définir un *taux plus juste* de *royalties*.

Ensuite, nous recommandons, de *taxer davantage* l'extraction minière pour compenser la DCM. Le Pérou a eu récemment une opportunité historique, avec l'élection du Président Ollanta Humala, de remettre à plat les systèmes de taxations minières. Mais il semble aujourd'hui manifeste qu'il ne s'agit là que d'une occasion manquée. La nouvelle loi du 28 septembre 2011 accorde des conditions encore plus favorables aux grands groupes miniers...

Enfin, nous proposons la création d'un fonds de compensation qui servirait d'épargne aux générations futures, lesquelles ne pourront plus compter sur la manne minière. Cela permettrait en outre une plus grande stabilité macroéconomique et une meilleure gouvernabilité. De plus, une compensation, incorporée au fonds de développement, aux communautés affectées par la dégradation environnementale permettrait d'apaiser les conflits miniers, très présents en ce moment au Pérou.

Perspectives de recherches

Nous présentons quelques *perspectives de recherches* pour continuer à évaluer la durabilité :

- nous pourrions étendre notre étude de la dépréciation du capital naturel à d'autres secteurs d'activité (hydrocarbures, pêche, exploitation forestière) ;
- il serait intéressant d'effectuer une comparaison des résultats présentés avec d'autres méthodologies d'estimation de la rente de la ressource et d'incorporer la valeur des découvertes minières et des réserves futures ;
- nous pourrions élargir la base de données des entreprises (dont le MEM dispose) pour estimer la DCM annuellement pour l'ensemble de la production minière ;
- à partir de l'estimation de la fonction de coût de l'activité, nous pourrions de considérer la spatialisation des coûts d'extraction dans les programmes de promotion des investissements miniers ;
- la rente de Hotelling que nous avons estimée intègre une partie des coûts externes, dont la dégradation de l'activité minière (pollution de sols, des eaux et impact sur la biodiversité). Si nous pouvions estimer ces facteurs, cela nous fournirait une estimation plus précise de la rente de rareté ;
- l'exploitation de la matrice *input/output* nous permettrait de mettre en lumière l'articulation de l'activité minière avec les autres secteurs économiques. Nous pourrions ainsi identifier les contributions réelles des différentes mines aux régions ;
- enfin et surtout, il faudrait engager des investigations pour estimer les coûts externes de l'exploitation minière (dégradation des terres, altération des ressources en eau, impacts sur la santé des populations locales notamment).

Le mot de la fin

Comme Glave et J. Kuramoto (2007) l'affirment :

Los peruanos tenemos una relación de amor-odio con la minería.

« Nous, péruviens, entretenons une relation d'amour-haine avec l'activité minière. »

Ils signifient par là que, si de nombreux péruviens de Lima et des villes côtières perçoivent l'activité minière comme extrêmement bénéfique pour le pays, celle-ci fait beaucoup de laissés-pour-compte qui non seulement stagnent dans la pauvreté, mais voient également leurs terres, leurs eaux polluées. Cette dualité, entre ceux qui vivent la croissance et ceux qui luttent pour leur survie, cette dualité par rapport à l'activité minière, divise le pays.

Les péruviens doivent choisir quel type de durabilité ils souhaitent pour leur principale source de revenu, sans oublier les générations futures.

Travaux cités

ADELMAN, M. A. (1990). « Mineral Depletion, with Special Reference to Petroleum ». *The Review of Economics and Statistics* 72.1, p. 1–10.

URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:tpr:restat:v:72:y:1990:i:1:p:1-10>.

ALLEN, R. G. D. (1938). *Mathematical Analysis for Economists*. London : Macmillan.

AMSBERG, J. von (1993). *Project Evaluation and the Depletion of Natural Capital : An Application of the Sustainability Principle*. Environment Working Paper. Environment Department. The World Bank.

URL : <http://books.google.fr/books?id=Kk8zygAACAAJ>.

ATKINSON, G. et K. HAMILTON (2003). « Savings, Growth and the Resource Curse Hypothesis ». *World Development* 31.11. Special issue : Links between poverty and environment degradation in Latin America, p. 1793–1807.

URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X03001529>.

AUTY, R. M. (1993). *Sustaining development in mineral economies : the resource curse thesis*. Routledge, London ; New York : p. ix, 272.

— (mai 2001). « The political economy of resource-driven growth ». *European Economic Review* 45.4-6, p. 839–846.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/eecrev/v45y2001i4-6p839-846.html>.

— (mar. 2007). « Natural resources, capital accumulation and the resource curse ». *Ecological Economics* 61.4, p. 627–634.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/ecolec/v61y2007i4p627-634.html>.

AZZALINI, P., H. BLOCH et P. HASLEHURST (mar. 2007). *Australian Coal Mining : Estimating Technical Change and Resource Rents in a Translog Cost Function*. Rap. tech. 3. Australia : School of Economics et Finance Curtin University of Technology.

URL : <http://goo.gl/xF04X>.

BACON, R. et S. TORDO (juin 2006). *Experiences with Oil Funds : Institutional and Financial Aspects*. Rap. tech. Washington DC : World Bank.

URL : <http://www.earthrights.net/docs/WorldBankResourceRentFunds.pdf>.

BARRANTES, R., P. ZÁRATE et A. DURAND (nov. 2005). *“Te quiero pero no” : minería, desarrollo y poblaciones locales*. Lima, Perú : Instituto de Estudios Peruanos.

URL : <http://www.iep.org.pe/textos/DDT/tequieroperono.pdf>.

BERNDT, E. et B. FIELD (1981). *Modeling and measuring natural resource substitution*. MIT Press.

URL : <http://books.google.fr/books?id=J2KTAAAAIAAJ>.

BERNDT, E. R. et L. R. CHRISTENSEN (mar. 1973). « The translog function and the substitution of equipment, structures, and labor in U.S. manufacturing 1929-68 ». *Journal of Econometrics* 1.1, p. 81-113.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/econom/v1y1973i1p81-113.html>.

BINSWANGER, H. P. (1974). « A Cost Function Approach to the Measurement of Elasticities of Factor Demand and Elasticities of Substitution ». *American Journal of Agricultural Economics* 56.2, p. 377-386.

URL : <http://ajae.oxfordjournals.org/content/56/2/377.short>.

BJERKHOLT, O. et I. NICULESCU (2004). « Fiscal Rules for Economies with Nonrenewable Resources : Norway and Venezuela ». *Rules-Based Fiscal Policy in Emerging Markets : Background, Analysis and Prospects*. Sous la dir. de G. KOPITS. Macmillan.

URL : <http://goo.gl/qneHj>.

BLIGNAUT, J. et R. M. HASSAN (2002). « Assessment of the performance and sustainability of mining sub-soil assets for economic development in South Africa ». *Ecological Economics* 40.1, p. 89-101.

URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:ecolec:v:40:y:2002:i:1:p:89-101>.

BOADWAY, R. et M. KEEN (2010). « Theoretical perspectives on resource tax design ». *The Taxation of Petroleum and Minerals : Principles, Problems and Practice*. Sous la dir. de P. DANIEL, M. KEEN et C. MCPHERSON. Routledge Explorations in Environmental Economics. Routledge/International Monetary Fund, p. 13-74.

URL : <http://books.google.fr/books?id=x5rBYdly8AIC>.

BOUSSEMART, J.-P. (1989). « Changements technologiques et demandes de facteurs de production. Une analyse de la modification des combinaisons productives de l'agriculture française ». *Économie rurale* 192.1, p. 75–80.

URL : http://EconPapers.repec.org/RePEc:prs:recoru:ecoru_0013-0559_1989_num_192_1_3997.

BOZA, B. (fév. 2006). *Canon minero : ¿Caja chica o palanca para el desarrollo ?* Rap. tech. Lima, Pérou : CAD Ciudadanos al Día.

URL : http://www.ciudadanosaldia.org/pubs/canon/Libro_Canon_Minero_Mar06.pdf.

BRAVO-ORTEGA, C. et J. DE GREGORIO (jan. 2005). *The relative richness of the poor ? natural resources, human capital, and economic growth*. Policy Research Working Paper Series 3484. The World Bank.

URL : <http://ideas.repec.org/p/wbk/wbrwps/3484.html>.

BRUNNSCHWEILER, C. N. (mar. 2008). « Cursing the Blessings ? Natural Resource Abundance, Institutions, and Economic Growth ». *World Development* 36.3, p. 399–419.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/wdevel/v36y2008i3p399-419.html>.

BRUNNSCHWEILER, C. N. et E. H. BULTE (déc. 2006). *The Resource Curse Revisited and Revised : A Tale of Paradoxes and Red Herrings*. CER-ETH Economics working paper series 06/61. Center of Economic Research at ETH Zurich.

URL : <http://ideas.repec.org/p/eth/wpswif/06-61.html>.

CAD (août 2005). *Canon Minero 2005 : Situación y Perspectivas Transparencia Fiscal*. Rap. tech. Lima, Pérou : Ciudadanos al Dia.

URL : <http://goo.gl/piHE8>.

CADORET, I., C. BENJAMIN, F. MARTIN, N. HERRARD et S. TANGUY (2004). *Econométrie appliquée : Méthodes, Applications, Corrigés*. Ouvertures économiques. Série Balises. De Boeck Université.

URL : <http://books.google.fr/books?id=A4GcSaEJgYYC>.

CAIRNS, R. D. (1998). « Are mineral deposits valuable ? A reconciliation of theory and practice ». *Resources Policy* 24.1, p. 19–24.

URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142079800004X>.

CAVES, D. W., L. R. CHRISTENSEN et M. W. TRETHERWAY (1980). « Flexible Cost Functions for Multiproduct Firms ». *The Review of Economics and Statistics* 62.3, p. 477–81.

URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:tpr:restat:v:62:y:1980:i:3:p:477-81>.

CHAN, M. W. L. et D. C. MOUNTAIN (nov. 1983). « Economies of Scale and the Tornqvist Discrete Measure of Productivity Growth ». *The Review of Economics and Statistics* 65.4, p. 663–67.

URL : <http://ideas.repec.org/a/tpr/restat/v65y1983i4p663-67.html>.

CHRISTENSEN, L. R., D. JORGENSEN et L. J. LAU (1973). « Transcendental Logarithmic Production Frontiers ». *The Review of Economics and Statistics* 55.1, p. 28–45.

URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:tpr:restat:v:55:y:1973:i:1:p:28-45>.

CLARIDA, R. H. et R. FINDLAY (mai 1992). « Government, Trade, and Comparative Advantage ». *American Economic Review* 82.2, p. 122–27.

URL : <http://ideas.repec.org/a/aea/aecrev/v82y1992i2p122-27.html>.

COMMON, M. et K. SANYAL (juil. 1998). « Measuring the depreciation of Australia's non-renewable resources : a cautionary tale ». *Ecological Economics* 26.1, p. 23–30.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/ecolec/v26y1998i1p23-30.html>.

CORDEN, W. M. (1984). « Booming Sector and Dutch Disease Economics : Survey and Consolidation ». *Oxford Economic Papers*. New Series 36.3, p. 359–380.

URL : <http://www.jstor.org/stable/2662669>.

CORDES, J. A. (1995). « An Introduction to the Taxation of Mineral Rents ». *The taxation of mineral enterprises*. Sous la dir. de J. OTTO. James Otto. London ; Boston : Graham & Trotman/M. Nijhoff. Chap. 2.

URL : <http://trove.nla.gov.au/work/31639348>.

CROWARDS, T. M. (1996). « Natural resource accounting. A case study of Zimbabwe ». *Environmental and Resource Economics* 7 (3), p. 213–241.

URL : <http://dx.doi.org/10.1007/BF00782146>.

DASGUPTA, P. et G. M. HEAL (1974). « The Optimal Depletion of Exhaustible Resources ». *The Review of Economic Studies* 41, p. 3–28.

URL : <http://dx.doi.org/10.2307/2296369>.

— (1979). *Economic theory and exhaustible resources*. Cambridge economic handbooks. J. Nisbet.

URL : <http://books.google.fr/books?id=A76MAAAIAAJ>.

DASGUPTA, P. et K.-G. MÄLER (fév. 2000). « Net national product, wealth, and social well-being ». *Environment and Development Economics* 5.01, p. 69–93.

URL : http://ideas.repec.org/a/cup/endeec/v5y2000i01p69-93_00.html.

DASGUPTA, P. et K.-G. MÄLER (avr. 2001). *Wealth as a Criterion for Sustainable Development*. The Beijer Discussion Paper 139. Stockholm : Beijer International Institute of Ecological Economics.

URL : http://www.beijer.kva.se/PDF/14471521_Disc139.pdf.

DAVIS, G. A. (1995). « Learning to love the Dutch disease : Evidence from the mineral economies ». *World Development* 23.10, p. 1765–1779.

URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0305750X9500071J>.

DAVIS, G. A. et D. J. MOORE (fév. 2000). « Valuing mineral stocks and depletion in green national income accounts ». *Environment and Development Economics* 5.01, p. 109–127.

URL : http://ideas.repec.org/a/cup/endeec/v5y2000i01p109-127_00.html.

DAVIS, J., R. OSSOWSKI, A. FEDELINO et I. M. FUND (2003). *Fiscal Policy Formulation and Implementation in Oil-Producing Countries*. International Monetary Fund.

URL : <http://books.google.fr/books?id=F7jtg1BpJJ0C>.

DE ECHAVE, J. et V. TORRES (2005). *Hacia una estimacion de los efectos de la actividad minera en los indices de pobreza en el Perú*. Cooperación, Accion Solidaria para el Desarrollo.

URL : <http://books.google.fr/books?id=T18UAQAIAAJ>.

DEFENSORIA DEL PUEBLO (fév. 2007). *Informe Extraordinario Los Conflictos Socioambientales por actividades extractivas en el Perú*. Rap. tech. Lima, Perú.

URL : http://www.caaap.org.pe/documentos/informe_socioambiental_2007_defensoria_del_pueblo_06042009.pdf%5B1%5D.pdf.

DIARIO LA REPUBLICA, éd. (mar. 2012). *Alarmanes cifras 195 muertos y más de 2300 heridos dejaron los conflictos sociales en los últimos 5 años*.

URL : <http://www.larepublica.pe/29-03-2012/195-muertos-y-mas-de-2300-heridos-dejaron-los-conflictos-sociales-en-los-ultimos-5-anos>.

DIETZ, S. et E. NEUMAYER (mar. 2007). « Weak and strong sustainability in the SEEA : Concepts and measurement ». *Ecological Economics* 61.4, p. 617–626.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/ecolec/v61y2007i4p617-626.html>.

EL SERAFY, S. (1989). « The proper calculation of income for depletable natural resources ». *Environmental Accounting for Sustainable Development*. Sous la dir. de S. E. S. Y.J. AHMAD et E. LUTZ. Washington, DC : The World Bank, p. 10–18.

FAUCHEUX, S. et J.-F. NOËL (1995). *Economie des ressources naturelles et de l'environnement*. U. Économie. Armand Colin.

URL : <http://books.google.fr/books?id=u0bjHAAACAAJ>.

FIGUEROA, E., E. CALFUCURA et J. NUÑEZ (mai 2002). « Green national accounting : the case of Chile's mining sector ». *Environment and Development Economics* 7.02, p. 215–239.

URL : http://ideas.repec.org/a/cup/endeec/v7y2002i02p215-239_00.html.

FISHER, A. C. (1981). *Resource and environmental economics*. Cambridge University Press, p. xv, 284.

URL : <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0834/81009951-t.html>.

FRASER, R. W. (1993). « On the Neutrality of the Resource Rent Tax ». *The Economic Record* 69.204, p. 56–60.

URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:bla:ecorec:v:69:y:1993:i:204:p:56-60>.

GARNAUT, R. et A. CLUNIES ROSS (1979). « The Neutrality of the Resource Rent Tax ». *The Economic Record* 55.150, p. 193–201.

URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:bla:ecorec:v:55:y:1979:i:150:p:193-201>.

GELB, A. (1985). *Are oil windfalls a blessing or a curse ? : policy exercises with an Indonesia-like model*. Discussion paper. Development Research Dept., Economics et Research Staff, World Bank.

URL : <http://books.google.fr/books?id=DswlAQAAIAAJ>.

— (1988). *Oil windfalls : blessing or curse ?* A World Bank research publication. Published for The World Bank [by] Oxford University Press.

URL : <http://books.google.fr/books?id=IU47olmrKogC>.

GELB, A. et S. GRASMANN (nov. 2008). « Confronting the Oil Curse. » *AFD/EUDN Annual Conference*. AFD/EUDN. Paris.

GLAVE, M. et J. KURAMOTO (nov. 2007). « La minería peruana : lo que sabemos y lo que aún nos falta saber ». *Investigación, políticas y desarrollo en el Perú*. Sous la dir. de G. de ANÁLISIS PARA EL DESARROLLO. T. 1. Chap. 4, p. 135–181.

URL : <http://ideas.repec.org/h/gad/capitu/02-04.html>.

GÓMEZ-LOBO, A. (déc. 2001). « Sustainable development and natural resource accounting in a small open economy : a methodological clarification ». *Estudios de Economía* 28, p. 203–216.

URL : <http://ideas.repec.org/a/udc/esteco/v28y2001i2p203-216.html>.

GONZALES DE OLARTE, E. (mar. 2012). *Primero la gente*.

URL : <http://pacasmayo08.blogspot.fr/2012/03/primero-la-gente.html>.

GRAY, L. C. (1913). « The Economic Possibilities of Conservation ». *Quarterly Journal of Economics* 27, p. 497–519.

GYLFASON, T. (mar. 2001a). « Lessons from the Dutch disease : causes, treatment and cures. » *The Paradox of Plenty*. Department of Economics, University of Iceland.

— (mai 2001b). « Natural resources, education, and economic development ». *European Economic Review* 45.4-6, p. 847-859.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/eecrev/v45y2001i4-6p847-859.html>.

GYLFASON, T. et G. ZOEGA (août 2006). « Natural Resources and Economic Growth : The Role of Investment ». *The World Economy* 29.8, p. 1091-1115.

URL : <http://ideas.repec.org/a/bla/worldde/v29y2006i8p1091-1115.html>.

HAMILTON, K. (1994). « Green adjustments to GDP ». *Resources Policy* 20.3, p. 155-168.

URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:jrpoli:v:20:y:1994:i:3:p:155-168>.

— (1995). « Sustainable development, the Hartwick rule and optimal growth ». *Environmental & Resource Economics* 5.4, p. 393-411.

URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:kap:enreec:v:5:y:1995:i:4:p:393-411>.

— (2000). « Genuine Saving as a sustainability indicator ». *Environment* October 2000, p. 65.

URL : <http://goo.gl/vCJse>.

HAMILTON, K. et M. CLEMENS (août 1998). *Genuine Savings Rates in Developing Countries*. Rap. tech. World Bank.

URL : <http://goo.gl/cBV1J>.

HAMILTON, K. et M. WARD (1997). « Greening the National Accounts : Valuation Issues and Policy Uses ». *Environmental Accounting in Theory and Practice*. Sous la dir. de K. UNO et P. BARTLEMUS. London : Kluwer.

HARTWICK, J. M. (déc. 1977). « Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources ». *American Economic Review* 67.5, p. 972-74.

URL : <http://ideas.repec.org/a/aea/aecrev/v67y1977i5p972-74.html>.

— (1978). « Substitution among Exhaustible Resources and Intergenerational Equity ». *Review of Economic Studies* 45.2, p. 347-54.

URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:bla:restud:v:45:y:1978:i:2:p:347-54>.

— (1989). *Non-Renewable Resources : Extraction Programs and Markets*. Fundamentals of pure and applied economics vol. 1. Harwood Academic Publishers.

URL : <http://books.google.fr/books?id=I5un0egH0BgC>.

— (1990). « Natural resources, national accounting and economic depreciation ». *Journal of Public Economics* 43.3, p. 291-304.

URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:pubeco:v:43:y:1990:i:3:p:291-304>.

HARTWICK, J. M. et A. HAGEMAN (1993). « Economic depreciation of mineral stocks and the contribution of El Serafy ». *Toward improved accounting for the environment*. Sous la dir. d'E. LUTZ. Washington DC : World Bank.

HICKS, J. (1939). *Value and capital*. Oxford : Clarendon.

URL : <http://en.books4study.org.ua/kniga1458.html>.

HODLER, R. (août 2006). « The curse of natural resources in fractionalized countries ». *European Economic Review* 50.6, p. 1367–1386.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/eecrev/v50y2006i6p1367-1386.html>.

HOTELLING, H. (1931). « The Economics of Exhaustible Resources ». *Journal of Political Economy* 39.2, p. 137–175.

URL : <http://www.jstor.org/stable/1822328>.

INSTITUTO PERUANO DE ECONOMIA (jan. 2011). *La tributación minera en el Perú : contribución, carga tributaria y fundamentos conceptuales*. Rap. tech. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía.

URL : <http://ipe.org.pe/?p=15864>.

KAPSOLI, J., W. MENDOZA et J. P. RABANAL (2006). « La Política Fiscal 2001–2006 y los retos para el futuro ». *Desafíos de la Política Fiscal en el Perú*. Sous la dir. de J. PORTOCARRERO. Lima, Perú : CIES, p. 35–66.

URL : <http://cies.org.pe/investigaciones/elecciones2006/nacional/politica-fiscal>.

KIM, H. Y. (1992). « The Translog Production Function and Variable Returns to Scale ». *The Review of Economics and Statistics* 74.3, p. 546–52.

URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:tpr:restat:v:74:y:1992:i:3:p:546-52>.

KRONENBERG, T. H. (2008). « Should we worry about the failure of the Hotelling rule ? » *Journal of Economic Surveys* 22.4, p. 774–793.

URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:bla:jecsur:v:22:y:2008:i:4:p:774-793>.

KRUEGER, A. O. (1974). « The Political Economy of the Rent-Seeking Society ». *The American Economic Review* 64.3, p. 291–303.

URL : <http://www.jstor.org/stable/1808883>.

KRUGMAN, P. (1987). « The narrow moving band, the Dutch disease, and the competitive consequences of Mrs. Thatcher : Notes on trade in the presence of dynamic scale economies ». *Journal of Development Economics* 27.1-2, p. 41–55.

URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0304387887900058>.

KUMAR, S. (2008). *Is India on a Sustainable Development Path ?* MPRA Paper. University Library of Munich, Germany.

URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:pra:mprapa:10086>.

KURAMOTO, J. R. (juil. 2000). *Las aglomeraciones productivas alrededor de la minería : el caso de la minera Yanacocha SA*. Documentos de Trabajo 27. Grupo de Análisis para el Desarrollo (GRADE).

URL : <http://ideas.repec.org/p/gad/doctra/dt27.html>.

LANGE, G.-M. (jan. 2003). *Policy Applications of Environmental Accounting*. Rap. tech. 88. Washington : Environment Department, The World Bank.

URL : <http://goo.gl/LpdN3>.

LEAMER, E. E., H. MAUL, S. RODRIGUEZ et P. K. SCHOTT (1999). « Does natural resource abundance increase Latin American income inequality ? » *Journal of Development Economics* 59.1, p. 3-42.

URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304387899000048>.

LEDERMAN, D. et W. F. MALONEY (avr. 2003). *Trade structure and growth*. Policy Research Working Paper Series 3025. The World Bank.

URL : <http://ideas.repec.org/p/wbk/wbrwps/3025.html>.

LEITE, C. et J. WEIDMANN (1999). *Does Mother Nature Corrupt — Natural Resources, Corruption, and Economic Growth*. IMF Working Papers 99/85. International Monetary Fund.

URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:imf:imfwpa:99/85>.

LEWIS, T. R. (nov. 1979). « The Exhaustion and Depletion of Natural Resources ». *Econometrica* 47.6, p. 1569-71.

URL : <http://ideas.repec.org/a/ecm/emetrp/v47y1979i6p1569-71.html>.

MANCO ZACONETTI, J. (2011). *El Nuevo Marco Tributario Minero Amigable*. Blog.

URL : <http://pacasmayo08.blogspot.fr/2011/10/el-nuevo-marco-tributario-minero.html>.

MEHLUM, H., K. O. MOENE et R. TORVIK (mai 2005). *Cursed by resources or institutions ?* Working Paper Series 5705. Department of Economics, Norwegian University of Science et Technology.

URL : <http://www.svt.ntnu.no/iso/WP/2005/10worldeconomy7.pdf>.

MENDOZA, A. (juil. 2007). *Minería y creación de empleo, ¿a qué precio ?* Bolg Actualidad Económica del Perú.

URL : <http://aeperu.blogspot.fr/2007/07/minera-y-creacin-de-empleo-qu-precio.html>.

MENDOZA, W. (mar. 2011). *La politica impositiva aplicable a los minerales : teoria, experiencias y propuestas de politica para el Perú*. Rap. tech. Lima, Perú : CIES.

URL : <http://goo.gl/8kJzx>.

MIKESELL, R. F. (juin 1994). « Viewpoint : Sustainable development and mineral resources ». *Resources Policy* 20.2, p. 83–86.

URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBM-458XKK-1G/2/0f573def9f73d59a7cacc66280ef9fda>.

— (déc. 1997). « Explaining the resource curse, with special reference to mineral-exporting countries ». *Resources Policy* 23.4, p. 191–199.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/jrpoli/v23y1997i4p191-199.html>.

MORÓN, E. (2006). « Política Fiscal 1980-2000 : de la precariedad a la crisis y viceversa ». *Desafíos de la Política Fiscal en el Perú*. Sous la dir. de J. PORTOCARRERO. Lima, Perú : CIES, p. 21–34.

URL : <http://cies.org.pe/investigaciones/elecciones2006/nacional/politica-fiscal>.

NATIONS UNIES (2001). *Comptabilité environnementale et économique intégrée. Manuel des opérations*. Nations Unies. New York.

URL : http://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesF/SeriesF_78F.pdf.

— (2003). *Handbook of National Accounting. Integrated Environmental and Economic Accounting SEEA*. Nations Unies.

URL : <http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seea2003.pdf>.

NATURE'S NUMBERS (1999). *Expanding the National Economic Accounts to Include the Environment*. Sous la dir. de W. D. NORDHAUS et E. C. KOKKELENBERG. The National Academies Press.

URL : http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=6374.

NEUMAYER, E. (oct. 2004). « Does the "Resource Curse" hold for Growth in Genuine Income as Well ? » *World Development* 32.10, p. 1627–1640.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/wdevel/v32y2004i10p1627-1640.html>.

ORIHUELA, C. (avr. 2004). « Ajustes al Producto Minero : El caso de la Minería Metálica Peruana ». Mém.de maîtr. Chile : Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad de Concepción.

OSSOWSKI, R. (mar. 2011). *Fiscal Policies of Commodity Exporters and the Role of Fiscal Rules and Resource Funds*. Vidéo. CASE Center for Social et Economic Research.

URL : <http://www.case-research.eu/en/node/56626>.

OTTO, J. (mar. 2004). « Evaluación de Aplicación de Regalías ». *Presentacion al Congreso del MEM*. Lima, Perú.

OTTO, J., C. ANDREWS, F. CAWOOD, M. DOGETT, P. GUJ, F. STERMOLE, J. STERMOLE et J. TILTON (2006). *Mining Royalties : a global study of their impact on investors, government, and civil society*. Rap. tech. Washington DC : World Bank.

URL : <http://siteresources.worldbank.org/INTOGMC/Resources/336099-1156955107170/miningroyaltiespublication.pdf>.

PASCO-FONT, A., E. MCCORMICK et E. SCHROTH (1996). *Ingreso sostenible de la minería peruana*. Rap. tech. Lima, Perú : CIES Consorcio de Investigacion Economica y Social.

PEARCE, D. W. et G. D. ATKINSON (1993). « Capital theory and the measurement of sustainable development : an indicator of "weak" sustainability ». *Ecological Economics* 8.2, p. 103–108.

URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:ecolec:v:8:y:1993:i:2:p:103-108>.

PEARCE, D. W., K. HAMILTON et G. ATKINSON (1996). « Measuring sustainable development : progress on indicators ». *Environment and Development Economics* 1.01, p. 85–101.

URL : http://EconPapers.repec.org/RePEc:cup:endeec:v:1:y:1996:i:01:p:85-101_00.

PERU SUPPORT GROUP (2005). *Mineral Depletion*. Worldmapper.org.

URL : http://www.worldmapper.org/posters/worldmapper_map313_ver5.pdf.

PESKIN, H., E. LUTZ et W. B. E. DEPT (1990). *A survey of resource and environmental accounting in industrialized countries*. Environment working paper. World Bank, Sector Policy et Research Staff, Environment Dept.

URL : <http://books.google.fr/books?id=-02AAAAIAAJ>.

PESSOA, A. (mai 2008). *Natural resources and institutions : the "natural resources curse" revisited*. MPRA Paper 8640. University Library of Munich, Germany.

URL : <http://mpira.ub.uni-muenchen.de/8640/>.

POINT, P. (juin 2011). « Développement durable et patrimoine naturel. Comment rendre durable le revenu d'une ressource non renouvelable ? » Libreville, Gabon.

POUVOIR EXÉCUTIF (juin 1992). *Décret Suprême N° 014-92-EM. Loi de promotion de l'investissement dans l'activité minière*.

URL : http://www.peru.gob.pe/docs/PLANES/94/PLAN_94_DS%20N%C2%BA%20014-92-EM_2008.pdf.

PROOPS, J. et G. ATKINSON (1993). *A Practical Sustainability Criterion when There is International Trade*. CSERGE Working Papers on global environmental change. Centre for Social et Economic Research on the Global Environment.

URL : <http://books.google.fr/books?id=DF1zIQAACAAJ>.

REPETTO, R., W. MAGRATH, M. WELLS, C. BEER et F. ROSSINI (1989). *Wasting assets : natural resources in the national income accounts*. World Resources Institute, Washington, DC : p. vi, 68.

URL : <http://nla.gov.au/nla.cat-vn1819408>.

REYNÈS, F. et Y. YEDDIR-TAMSAMANI (déc. 2009). *Substituabilité des facteurs et rendements d'échelle sectoriels en France : une estimation par une fonction de coût flexible*. Rap. tech. 2009-37. Centre de recherche en économie de Sciences Po.

RICARDO, D. (1821). « On the Rent of Mines ». *On the Principles of Political Economy and Taxation*. London : John Murray. Chap. 3.

URL : <http://www.econlib.org/library/Ricardo/ricP1a.html#Ch.3,OntheRentofMines>.

ROBINSON, J. A. et R. TORVIK (fév. 2005). « White elephants ». *Journal of Public Economics* 89.2-3, p. 197–210.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/pubeco/v89y2005i2-3p197-210.html>.

ROEMER, M. (1983). *Dutch disease in developing countries : swallowing bitter medicine*. Development discussion paper. Harvard Institute for International Development, Harvard University.

URL : <http://books.google.fr/books?id=5jGQPQAACAAJ>.

SACHS, J. D. et A. M. WARNER (déc. 1995). *Natural Resource Abundance and Economic Growth*. NBER Working Papers 5398. National Bureau of Economic Research, Inc.

URL : <http://ideas.repec.org/p/nbr/nberwo/5398.html>.

— (2001). « The curse of natural resources ». *European Economic Review* 45.4-6. 15th Annual Congress of the European Economic Association, p. 827–838.

URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014292101001258>.

SANTOPIETRO, G. D. (mar. 1998). « Alternative methods for estimating resource rent and depletion cost : the case of Argentina's YPF ». *Resources Policy* 24.1, p. 39–48.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/jrpoli/v24y1998i1p39-48.html>.

SCHULDT, J. (2005). *¿Somos pobres porque somos ricos ? Recursos naturales, tecnología y globalización*. Lima, Perú : Fondo Editorial del Congreso del Perú.

SLADE, M. E. (juin 1982b). « Trends in natural-resource commodity prices : An analysis of the time domain ». *Journal of Environmental Economics and Management* 9.2, p. 122–137.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/jeeman/v9y1982i2p122-137.html>.

SMITH, B. (sept. 1999). *The Impossibility of a Neutral Resource Rent Tax*. Rap. tech. Australian National University.

URL : <http://cbe.anu.edu.au/research/papers/pdf/wp380.pdf>.

SOLOW, R. M. (1957). « Technical Change and the Aggregate Production Function ». *The Review of Economics and Statistics* 39.3, p. 312–320.

URL : <http://www.jstor.org/stable/1926047>.

— (1974). « Intergenerational Equity and Exhaustible Resources ». *The Review of Economic Studies* 41, p. 29–45.

URL : <http://dx.doi.org/10.2307/2296370>.

STERN, D. I. (1995). « The contribution of the mining sector to sustainability in developing countries ». *Ecological Economics* 13.1, p. 53–63.

URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0921800994000573>.

STIGLITZ, J. E. (1974). « Growth with Exhaustible Natural Resources : Efficient and Optimal Growth Paths ». *The Review of Economic Studies* 41, p. 123–137.

URL : <http://dx.doi.org/10.2307/2296377>.

— (1976). « Monopoly and the Rate of Extraction of Exhaustible Resources ». *American Economic Review* 66.4, p. 655–661.

URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:aea:aecrev:v:66:y:1976:i:4:p:655-661>.

— (1996). *Principles of microeconomics*. 2. ed. New York : Norton. XXI, 436, 20.

STIJNS, J.-P. C. (juin 2005). « Natural resource abundance and economic growth revisited ». *Resources Policy* 30.2, p. 107–130.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/jrpoli/v30y2005i2p107-130.html>.

— (juin 2006). « Natural resource abundance and human capital accumulation ». *World Development* 34.6, p. 1060–1083.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/wdevel/v34y2006i6p1060-1083.html>.

TIETENBERG, T. (2006). *Environmental and Natural Resource Economics*. 7^e éd. Prentice Hall, p. 656.

TILTON, J. E. (2002). *On Borrowed Time ? : Assessing the Threat of Mineral Depletion*. Rff Press Series. Resources for the Future.

URL : <http://books.google.fr/books?id=VbYIdv5z7DAC>.

— (2009). « Is mineral depletion a threat to sustainable mining ? » *International Conference on Sustainable Mining*. Santiago de Compostela, Spain.

URL : http://inside.mines.edu/UserFiles/File/economicsBusiness/Tilton/Sustainable_Mining_Paper.pdf.

TONGEREN, J. van, S. SCHWEINFEST, E. LUTZ, M. GOMEZ LUNA et F. GUILLEN MARTIN (1991). *Integrated environmental and economic accounting : a case study for Mexico*. Environment working paper. World Bank, Sector Policy et Research Staff, Environment Dept.

URL : <http://goo.gl/NUCDa>.

TORVIK, R. (avr. 2002). « Natural resources, rent seeking and welfare ». *Journal of Development Economics* 67.2, p. 455–470.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/deveco/v67y2002i2p455-470.html>.

TZOUVELEKAS, E. (jan. 2000). « Approximation Properties and Estimation of the Translog Production Function with Panel Data ». *Agricultural Economics Review* 1.1.

URL : <http://ideas.repec.org/a/ags/aergaa/26412.html>.

USUI, N. (2007). *How effective are oil funds ? : managing resource windfalls in Azerbaijan and Kazakhstan*. Asian Development Bank, Metro Manila, Philippines : p. 15.

URL : <http://nla.gov.au/nla.cat-vn4498243>.

UZAWA, H. (1962). « Production Functions with Constant Elasticities of Substitution ». *The Review of Economic Studies* 29.4, p. 291–299.

URL : <http://www.jstor.org/stable/2296305>.

VARIAN, H., J. HOMMET et B. THIRY (1995). *Analyse microéconomique*. Ouvertures économiques : Série Balises. De Boeck université.

URL : <http://books.google.fr/books?id=Rh7u8e1xBSQC>.

VIGNOLO, C. (1982). « Los recursos naturales, el libre comercio y el desarrollo economico : notas para un modelo de analisis basado en la teoria de la renta ». *Revista Ingenieria de Sistemas* 3.2.

VINCENT, J. R. (1997). « Resource depletion and economic sustainability in Malaysia ». *Environment and Development Economics* 2.01, p. 19–37.

URL : http://EconPapers.repec.org/RePEc:cup:endeec:v:2:y:1997:i:01:p:19-37_00.

WEITZMAN, M. L. (fév. 1976). « On the Welfare Significance of National Product in a Dynamic Economy ». *The Quarterly Journal of Economics* 90.1, p. 156–62.

URL : <http://ideas.repec.org/a/tpr/qjecon/v90y1976i1p156-62.html>.

WORLD BANK (2006). « The importance of investment resource rents : a Hartwick rule counterfactual. » *Where is the Wealth of Nations ?* Washington DC : World Bank. Chap. 4, p. 49–60.

URL : <http://siteresources.worldbank.org/INTEEI/214578-1110886258964/20745191/Chapter4.pdf>.

Travaux cités

WORLD BANK (2009). *Adjusted savings : mineral depletion (% of GNI)*.

URL : <http://data.worldbank.org/indicator/NY.ADJ.DMIN.GN.ZS>.

WRIGHT, G. et J. CZELUSTA (nov. 2003). « Mineral resources and economic development ». *Sector Reform in Latin America*. Stanford Center for International Development.

YANACocha (2010). *Reporte de Sostenibilidad*.

URL : <http://www.yanacocha.com.pe/documentos-recientes/memoria-de-sostenibilidad-2010/>.

YOUNG, C. E. et R. SERÔA DA MOTTA (juin 1995). « Measuring sustainable income from mineral extraction in Brazil ». *Resources Policy* 21.2, p. 113–125.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/jrpoli/v21y1995i2p113-125.html>.

ZEGARRA, E., J. C. ORIHUELA et M. PAREDES (nov. 2005). *Minería y economías familiares : explorando impactos y espacios de conflicto*. Rap. tech. Lima, Perú : CIES.

URL : <http://goo.gl/ej7gx>.

Autres références

BARNETT, H. J. et C. MORSE (1963). *Scarcity and growth ; the economics of natural resources availability*. Published for Resources for the Future by Johns Hopkins Press, Baltimore [Washington], p. xv, 288.

URL : <http://nla.gov.au/nla.cat-vn2474164>.

BERCK, P. et M. ROBERTS (juil. 1996). « Natural Resource Prices : Will They Ever Turn Up ? » *Journal of Environmental Economics and Management* 31.1, p. 65–78.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/jeeman/v31y1996i1p65-78.html>.

BERNDT, E. R. (1991). *The practice of econometrics : classic and contemporary*. Addison-Wesley Pub. Co.

URL : <http://books.google.fr/books?id=L8K2AAAAIAAJ>.

BIRDSALL, N., T. PINCKNEY et R. SABOT (fév. 2000). *Natural Resources, Human Capital, and Growth*. Working Paper 9. Carnegie Endowment for International Peace.

URL : <http://carnegieendowment.org/files/natresources.pdf>.

BREAN, D. et M. GLAVE (nov. 2000). « Recursos Naturales y Desarrollo. Un dialogo Canadiense Latinoamericano ». Consorcio de Investigacionn Economica y Social.

CAIRNS, R. D. (fév. 2002). « Green national income and expenditure ». *Canadian Journal of Economics* 35.1, p. 1–15.

URL : <http://ideas.repec.org/a/cje/issued/v35y2002i1p1-15.html>.

— (mar. 2011). *Measurement of Traded and Non-traded Capital*. Rap. tech. Montreal, Canada : Department of Economics et Cireq McGill University.

URL : <http://www.econ.canterbury.ac.nz/research/pdf/capitalmeasure.pdf>.

CAMERON, A. C. et P. K. TRIVEDI (mar. 2005). *Microeconometrics*. Cambridge University Press.

URL : <http://ideas.repec.org/b/cup/cbooks/9780521848053.html>.

Autres références

CANTUARIAS, C. et P. POINT (juin 2009). « Ce n'est pas le Pérou, c'est la malédiction des ressources naturelles ». *Les Suds confrontés au développement soutenable*. Université Montesquieu Bordeaux IV.

URL : http://jourdev.gretha.u-bordeaux4.fr/sites/jourdev.gretha/IMG/pdf/Cantuarias_Villesuzanne-Point.pdf.

COMISION DE AMBIENTE Y ECOLOGIA DEL CONGRESO DE LA REPUBLICA DEL PERÚ (août 2003). « Dialogos Ambientales ». *Foros Ambientales*. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental, p. 282.

CONCYTEC (2003). *Perú ante la sociedad del conocimiento : indicadores de Ciencia, tecnología e innovación 1960-2002*. Sous la dir. de C. N. de CIENCIA Y TECNOLOGIA. Lima, Perú : Concytec.

URL : <http://www.catalogo.uni.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=121191>.

DEFENSORIA DEL PUEBLO (déc. 2011). *Reporte de Conflictos Sociales n°94*. Rap. tech. Lima, Perú : Defensoria del Pueblo.

URL : <http://www.defensoria.gob.pe/conflictos-sociales/home.php>.

DE SILVA, K. et J. M. OLIN (1994). *The political economy of windfalls : the "Dutch Disease" — theory and evidence*. Business, Law, and Economics Center working paper series. Business, Law, et Economics Center, John M. Olin School of Business, Washington University.

URL : <http://books.google.fr/books?id=70n3GgAACAAJ>.

DIETZ, S. et E. NEUMAYER (2006). « A critical appraisal of genuine savings as an indicator of sustainability ». *Sustainable development indicators in ecological economics*. Edward Elgar, p. 117–136.

URL : http://www.e-elgar.co.uk/Bookentry_Main.lasso?id=3641.

DIEWERT, W. et T. WALES (juin 1991). *Multiproduct Cost Functions and Subadditivity Test : a Critique of the Evans and Heckman Research on the U.S. Bell Systems*. Rap. tech. 91-21. Vancouver, Canada : Department of economics The University of British Columbia.

FONDS D'ALASKA (2011). *Permanent Fund Dividend Division, Alaska*.

URL : <http://www.pfd.state.ak.us/appsandpaymnts/index.aspx>.

HAAN, M. de et P. KEE (2004). « Accounting for Sustainable Development : the NAMEA-based approach ». *Measuring Sustainable Development Integrated Economic Environmental and Social Frameworks*. OECD, p. 183–197.

URL : <http://www.oecd.org/dataoecd/37/22/33703829.pdf>.

INEI. *Instituto Nacional de Estadística e Informatica del Perú*.

URL : <http://www.inei.gob.pe/>.

Autres références

- JOHNSTON, J. et J. DINARDO (1997). *Méthodes économétriques*. 4ème éd. Paris : Economica.
- KURAMOTO, J. R. (déc. 2007). « Minería hoy : la bonanza que no hay que desperdiciar ». *Análisis & Propuestas* 13. Sous la dir. de G. G. de ANALISIS PARA EL DESARROLLO.
- URL : <http://www.grade.org.pe/upload/publicaciones/archivo/download/pubs/boletin13.pdf>.
- LANEGRA QUISPE, I. K. (2008). *El Ausente Estado Ambiental*. Lima, Perú : Consultores para Decisiones Estrategicas CDE.
- LIVERNOIS, J. R., H. THILLE et X. ZHANG (2006). « A test of the Hotelling rule using old-growth timber data ». *Canadian Journal of Economics* 39.1, p. 163–186.
- URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:cje:issued:v:39:y:2006:i:1:p:163-186>.
- LORENTZEN, J. (fév. 2006). *Lateral Migration in Resource-Intensive Economies : Technological Learning and Industrial Policy*. Rap. tech. Human Sciences Research Council.
- URL : http://www.hsrc.ac.za/research/output/outputDocuments/4023_Lorentzen_Lateralmigration.pdf.
- LUIT, D., G. LAGOS et A. BERTENS (2004). « Midiendo la innovacion en la mineria y metalurgia del cobre ». *¿Minería para siempre ? Foro en Economia de Minerales*. Sous la dir. de G. LAGOS. Santiago de Chile : Universidad Catolica de Chile.
- MEF. *Ministerio de Economia y Finanzas del Perú*.
- URL : <http://www.mef.gob.pe/>.
- MEM. *Ministerio de Energia y Minas del Perú*.
- URL : <http://www.minem.gob.pe/>.
- MENDIOLA, A., O. DAVILA, M. HERRERA, N. LUJAN et R. MUÑOZ (2010). *Macro normativo y generacion de valor en empresas mineras : analisis comparativo entre el Perú y Chile*. Rap. tech. 15. Lima, Perú : ESAN, p. 222.
- URL : <http://www.esan.edu.pe/conexion/publicaciones/2010/10/peru-y-chile-implicancias-de-la-normatividad-del-sector-minero/>.
- METALS ECONOMICS GROUP (2012). *World Exploration Trends 2012*. Rap. tech. Metals Economic Group.
- URL : <http://www.metalseconomics.com/sites/default/files/uploads/PDFs/wet2012english.pdf>.
- MILLER, M. H. et C. W. UPTON (1985). « A Test of the Hotelling Valuation Principle ». *Journal of Political Economy* 93.1, p. 1–25.
- URL : <http://EconPapers.repec.org/RePEc:ucp:jpollec:v:93:y:1985:i:1:p:1-25>.

Autres références

OECD (2002). « The Relevance of the OECD Guidelines for Multinational Enterprises to the Mining Sector and the Promotion of Sustainable Development ». *Conference on Foreign Direct Investment and the Environment Lessons to be Learned from the Mining Sector*. Paris, France, p. 22.

URL : <http://www.oecd.org/dataoecd/45/4/1819638.pdf>.

PEIRCE, W. S. (1996). *Economics of the Energy Industries*. 2^e éd. Wadsworth Pub Co.

URL : <http://www.amazon.com/exec/obidos/redirect?tag=citeulike07-20&path=ASIN/053405286X>.

PERMAN, R. (2003). *Natural Resource and Environmental Economics*. Pearson Education.

URL : <http://books.google.fr/books?id=BtFEUHZMGDwC>.

PNUD. *Informe sobre el desarrollo humano*.

URL : <http://hdr.undp.org/es/informes/mundial/idh2011/>.

POINT, P. (2004). *Cours Économie de l'Environnement. Ressources naturelles non renouvelables*. Université Montesquieu Bordeaux IV.

Bulletin Officiel El Peruano Décret d'urgence n°012-2011 : Fondo de Estabilizacion Fiscal (mar. 2011).

URL : http://sisfoh.mef.gob.pe/descargas/du012_2011.pdf.

SACHS, J. D. et A. M. WARNER (1999). « The big push, natural resource booms and growth ». *Journal of Development Economics* 59.1, p. 43-76.

URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438789900005X>.

SALAZAR, A. et E. SALGADO (2004). *Efectos y canales de transmision de la riqueza en recursos no renovables sobre el crecimiento economico*. Rap. tech. Lima, Perú : Universidad del Pacifico.

SERGEANT, B. (jan. 2010). *Top 100 Mining Companies : What a difference a year makes*. Mineweb.

URL : <http://www.mineweb.com/mineweb/view/mineweb/en/page67?oid=95737&sn=Detail>.

SLADE, M. E. (juin 1982a). « Cycles in natural-resource commodity prices : An analysis of the frequency domain ». *Journal of Environmental Economics and Management* 9.2, p. 138-148.

URL : <http://ideas.repec.org/a/eee/jeeman/v9y1982i2p138-148.html>.

SMV. *Superintendencia del Mercado de Valores*.

URL : <http://www.conasev.gob.pe/>.

SNMPE Sociedad Nacional de Minería, P. y E. (mar. 2004). *Regalias mineras : analisis de un discutido impuesto*. Rap. tech. Lima, Perú : Sociedad Nacional de Minería, Petroleo y Energia.

URL : <http://www.snmpe.org.pe/pdfs/RegaliasMineras.pdf>.

Autres références

SUNAT. *Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administracion Tributaria*.

URL : <http://www.sunat.gob.pe/>.

TILTON, J. E. (2004). « Debate sobre los impuestos mineros ». *¿Minería para siempre ? Foro en Economia de Minerales*. Sous la dir. de G. LAGOS. Santiago de Chile : Universidad Catolica de Chile.

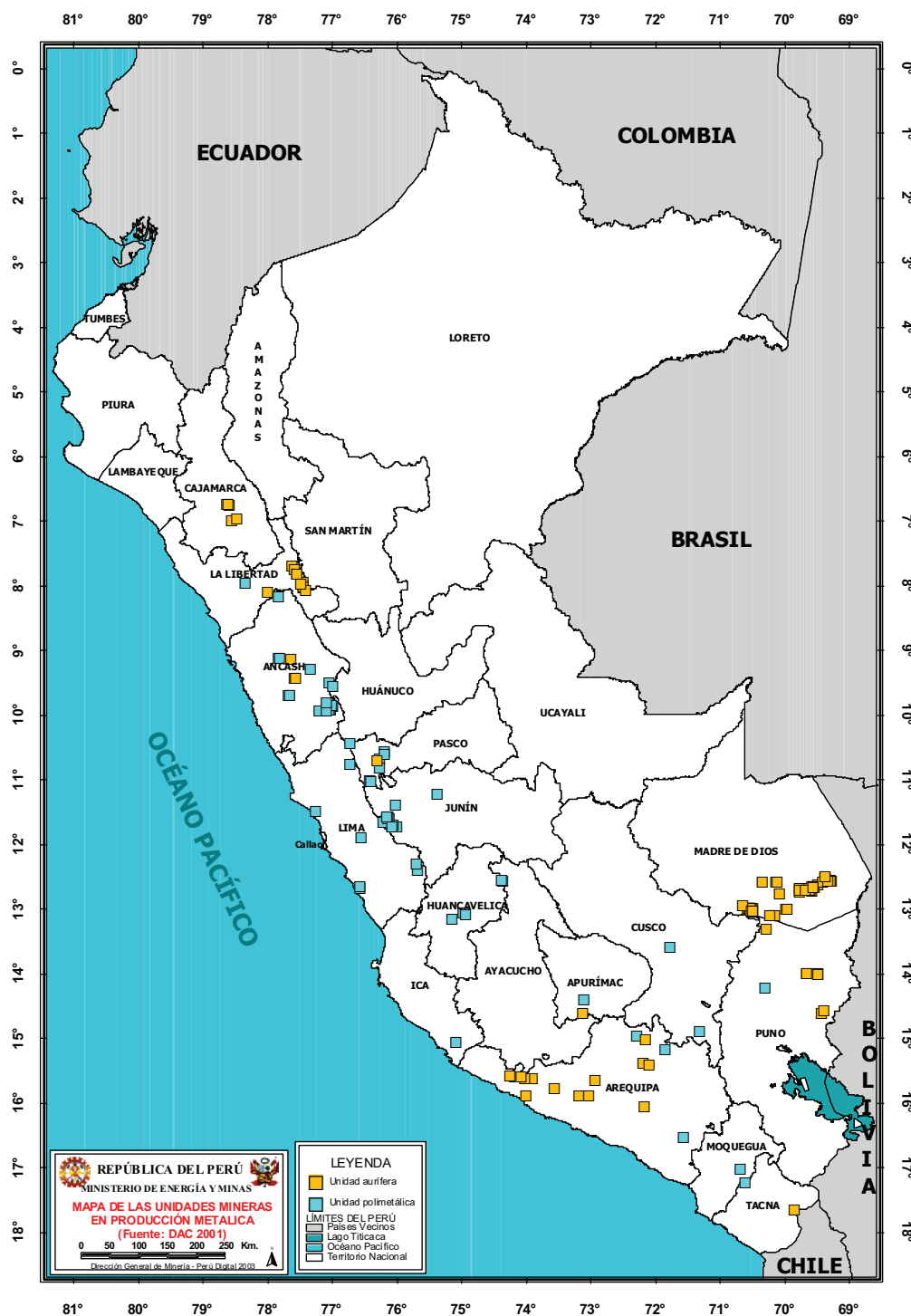
WIJNBERGEN, S. J. G. van (mar. 1984). « The 'Dutch Disease' : A Disease after All ? » *Economic Journal* 94.373, p. 41-55.

URL : <http://ideas.repec.org/a/ecj/econjl/v94y1984i373p41-55.html>.

Annexes

Annexe A. Cadastre minier du Pérou

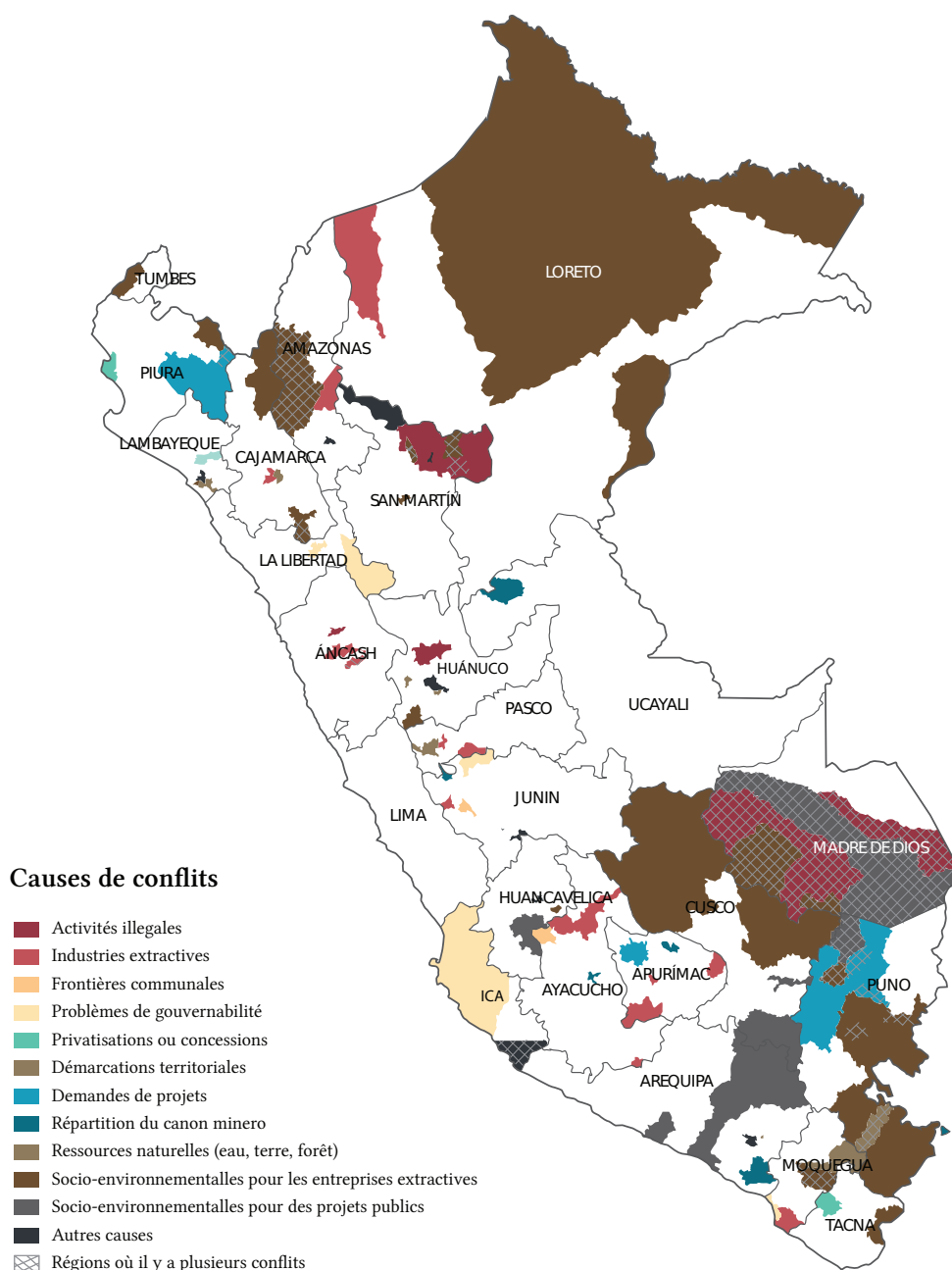
GRAPHIQUE 11.2 Cadastre minier du Pérou



Source : MEM

Annexe B. Carte de conflits sociaux par département

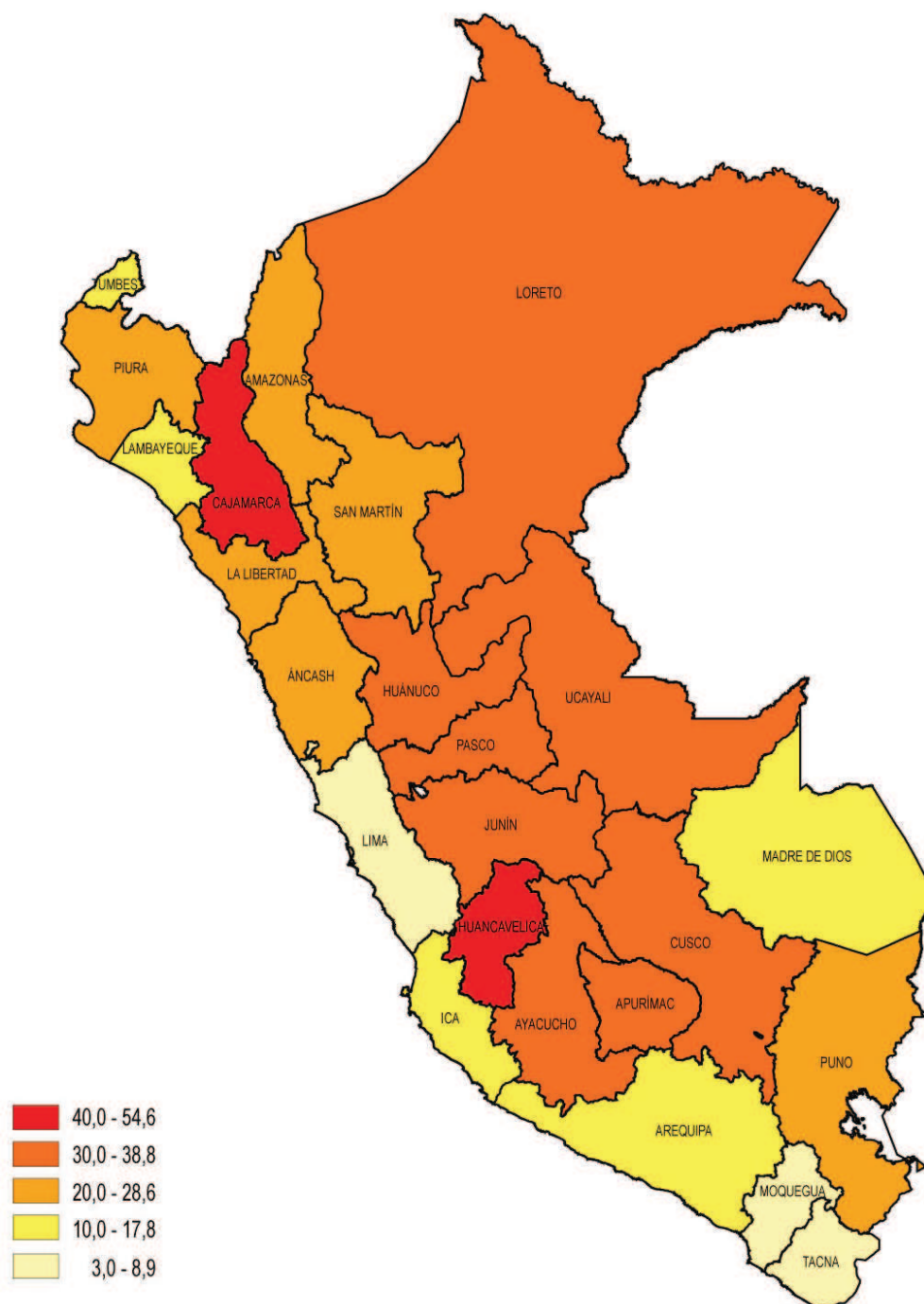
GRAPHIQUE 11.3 Conflits sociaux par départements



Source : PrevCon - PCM 2011, commission de prévention des conflits

Annexe C. Carte de malnutrition chronique au Pérou

GRAPHIQUE 11.4 Malnutrition chronique par département selon l'OMS



Pourcentage d'enfants de moins de cinq ans souffrant de malnutrition chronique.

Source : INEI 2010

Annexe D. Calcul des avantages comparatifs révélés

L'indicateur d'avantages comparatifs révélés montre le degré de spécialisation d'un secteur d'une économie selon les flux commerciaux (exportations et importations nationales versus le flux mondial). Les valeurs positives indiquent une spécialisation, ou avantage comparatif, et les valeurs négatives un désavantage comparatif.

Dans formules qui suivent, V_{ijk} représente le flux commercial provenant du pays exportateur i destiné au pays importateur j pour le secteur k . Les indices sont définis par

$X_{ik} = V_{i.k}$	sont les exportations du pays i dans le secteur k .
$X_{i.} = V_{i..}$	sont les exportations du pays i pour l'ensemble des secteurs.
$M_{jk} = V_{.jk}$	sont les importations du pays j dans le secteur k .
$M_{j.} = V_{.j.}$	sont les importations du pays j pour l'ensemble des secteurs.
$W_{.} = V_{...}$	est le commerce mondial pour l'ensemble des secteurs.
Y_i	est le PIB du pays i

Ces quantités sont exprimées en milliers de US\$ constants. L'année de base prise pour notre calcul est 1994, année de recensement. Ces indices sont harmonisés par le CEPII³ sur la base de données de commerce international CHELEM.

On définit F_{ik} , l'indicateur d'avantages comparatifs du pays i dans le secteur k , par

ÉQUATION 11.1. Indicateur des avantages comparatifs

$$F_{ik} = 1000 \times \frac{W_k}{Y_i} \left(\frac{X_{ik} - M_{ik}}{W_k} - \frac{X_{i.} - M_{i.}}{W_{.}} \right) \quad (11.1)$$

Cet indicateur des avantages comparatifs prend en compte la taille du pays en utilisant Y_i , le PIB en milliers de US\$ constants.

³Centre d'Études Prospectives et d'Informations Internationales.

Annexe E. Test de causalité de Granger pour les principales variables explicatives de la malédiction des ressources naturelles

Les trois tests se basent sur l'échantillon 1960–2007.

TABLEAU 11.4. Test de causalité de Granger entre ARN et LOGGDP
3 périodes de retard, 45 observations.

Hypothèse nulle	<i>F</i> -statistique	Probabilité
ARN ne cause pas LOGGDP	3,613 99	0,021 69
LOGGDP ne cause pas ARN	1,308 78	0,285 67

Source : auteur

TABLEAU 11.5. Test de causalité de Granger entre MINDEPEN2 et LOGGDP
2 périodes de retard, 46 observations.

Hypothèse nulle	<i>F</i> -Statistique	Probabilité
MINDEPEN2 ne cause pas LOGGDP	4,990 25	0,011 49
LOGGDP ne cause pas MINDEPEN2	1,580 31	0,218 20

Source : auteur

TABLEAU 11.6. Test de causalité de Granger entre MINDEPEN2 et ARN
2 périodes de retard, 46 observations.

Hypothèse nulle	<i>F</i> -statistique	Probabilité
MINDEPEN2 ne cause pas ARN	1,762 56	0,184 36
ARN ne cause pas MINDEPEN2	1,529 03	0,228 85

Source : auteur

Annexe F. Actifs fixes et résultats de l'exercice des entreprises minières pour la période 1994–2004

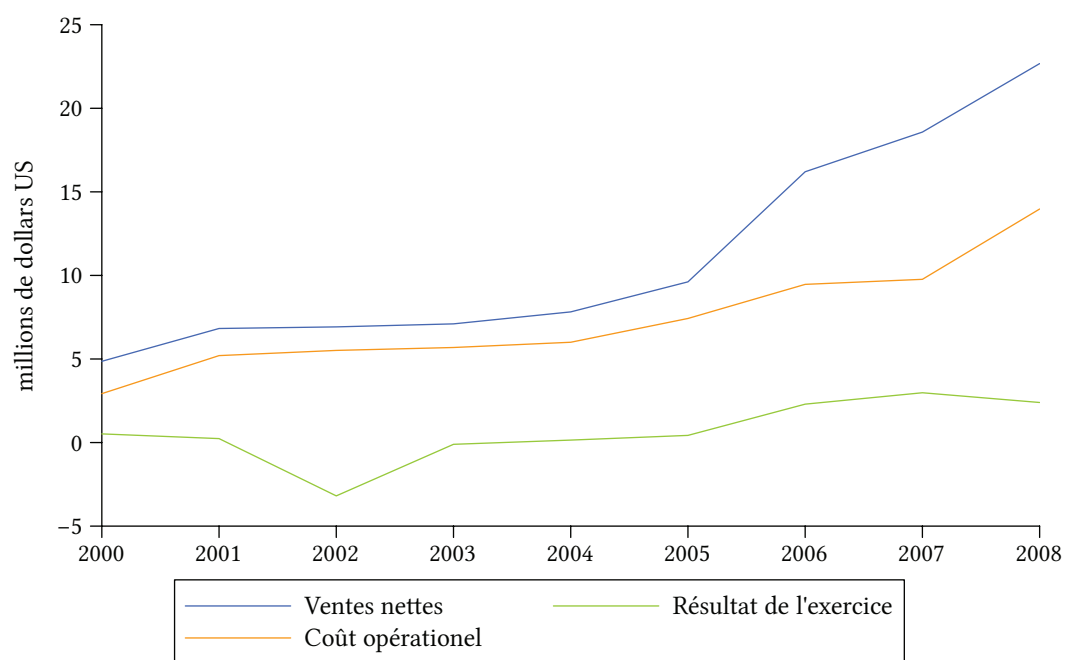
TABLEAU 11.7. Actifs fixes et résultats de l'exercice des entreprises minières pour la période 1994–2004

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<i>Ventes totales (millions US\$)</i>											
Grande et moyenne activité minière	2 227	2 969	3 158	3 570	3 086	3 541	3 847	3 871	4 444	5 411	7 714
Petite activité minière	451	386	317	303	237	187	165	159	208	175	251
Total	2 678	3 355	3 475	3 873	3 324	3 728	4 012	4 030	4 652	5 586	7 965
<i>Ventes totales (%)</i>											
Grande et moyenne activité minière	83	88	91	92	93	95	96	96	96	97	97
Petite activité minière	17	12	9	8	7	5	4	4	4	3	3
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Actifs fixes (millions US\$)</i>											
Grande activité minière	898	1 135	1 134	1 151	1 373	1 383	1 732	2 117	2 983	2 913	3 158
Moyenne activité minière	407	491	549	570	604	593	621	545	572	669	781
Petite activité minière	56	29	10	17	8	8	11	9	19	19	22
Fonderie	190	185	305	370	433	398	404	418	464	470	479
Total	1 552	1 840	1 998	2 107	2 418	2 383	2 770	3 088	4 039	4 070	4 440
<i>Résultats de l'exercice (millions US\$)</i>											
Grande activité minière	84	473	396	323	81	207	143	204	272	519	852
Moyenne activité minière	82	115	103	186	47	234	116	65	245	204	484
Petite activité minière	-3	1	1	1	-11	0	0	0	0	0	0
Fonderie	-1	2	2	13	30	6	17	10	-30	-26	15
Total	162	590	503	523	147	447	276	279	487	697	1 351

Source : C. ORIHUELA (2004)

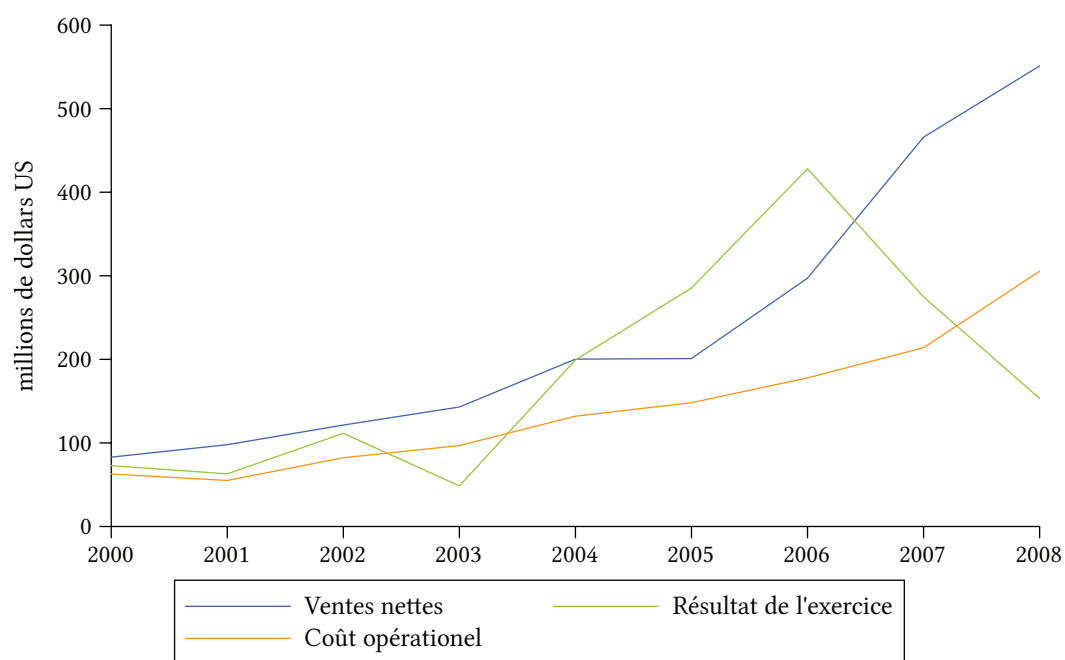
Annexe G. Flux des états financiers des entreprises minières pour la période 2000–2008

GRAPHIQUE 11.5 Flux des états financiers de Castrovirreyna Compañía Minera SA



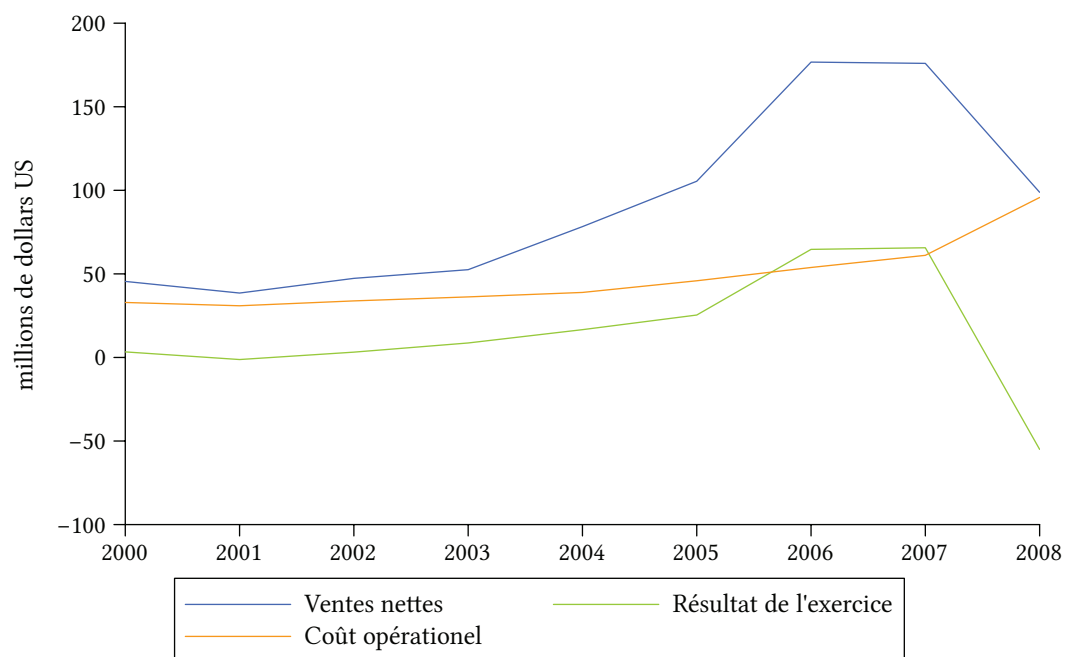
Source : SMV

GRAPHIQUE 11.6 Flux des états financiers de Compañía De Minas Buenaventura SAA



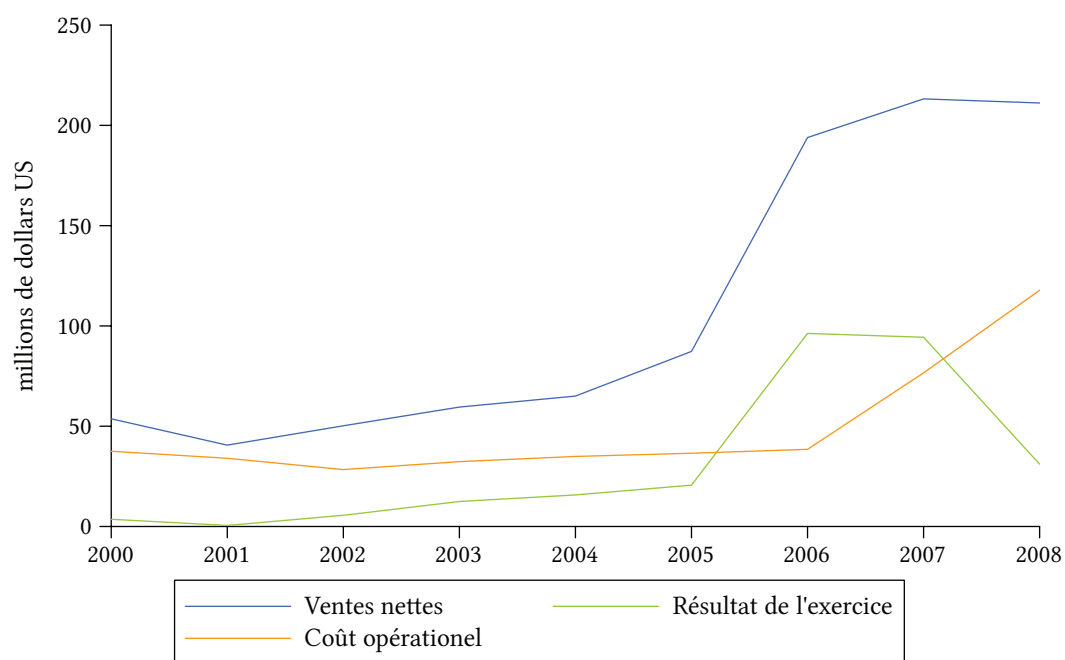
Source : SMV

GRAPHIQUE 11.7 Flux des états financiers de Compañía Minera Atacocha SA



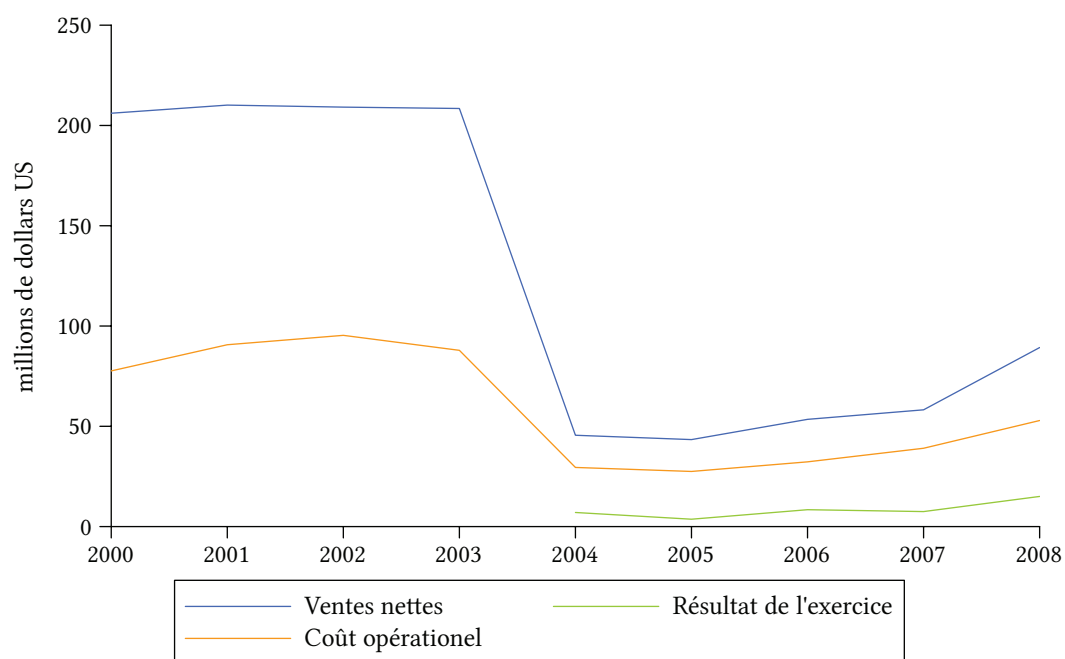
Source : SMV

GRAPHIQUE 11.8 Flux des états financiers de Compañía Minera Milpo SA



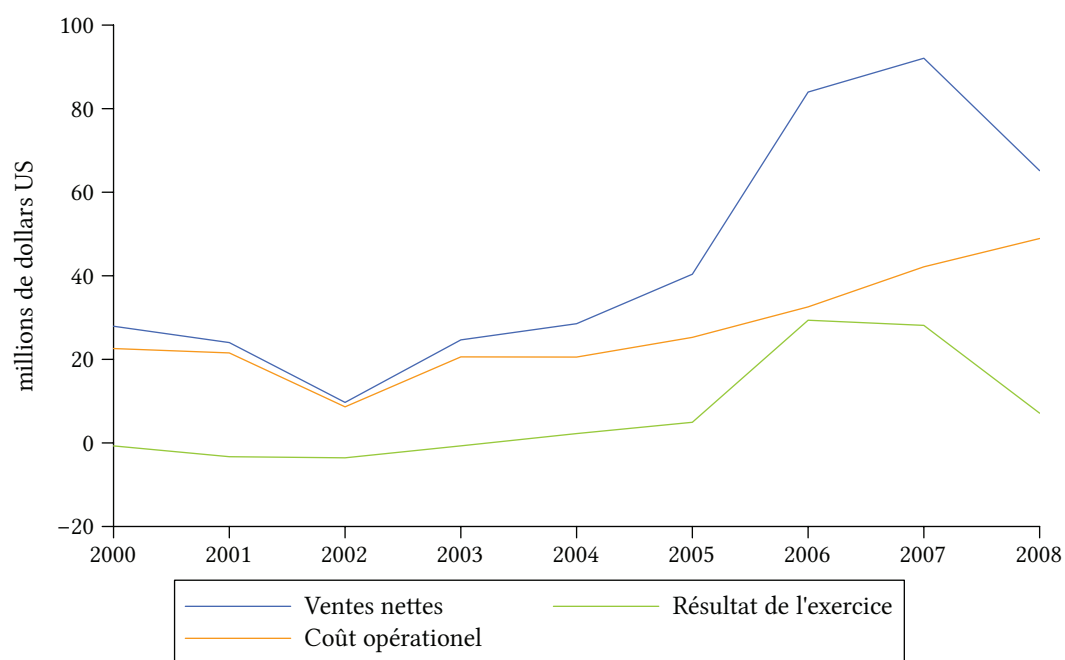
Source : SMV

GRAPHIQUE 11.9 Flux des états financiers de Compañía Minera Poderosa SA



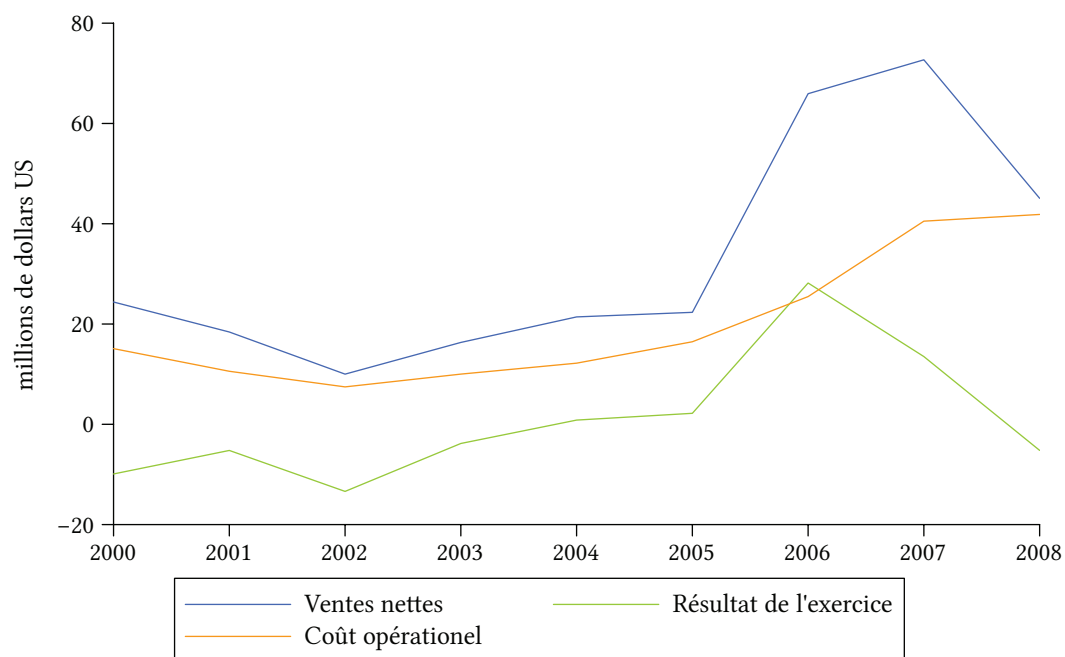
Source : SMV

GRAPHIQUE 11.10 Flux des états financiers de Compañía Minera Raura SA



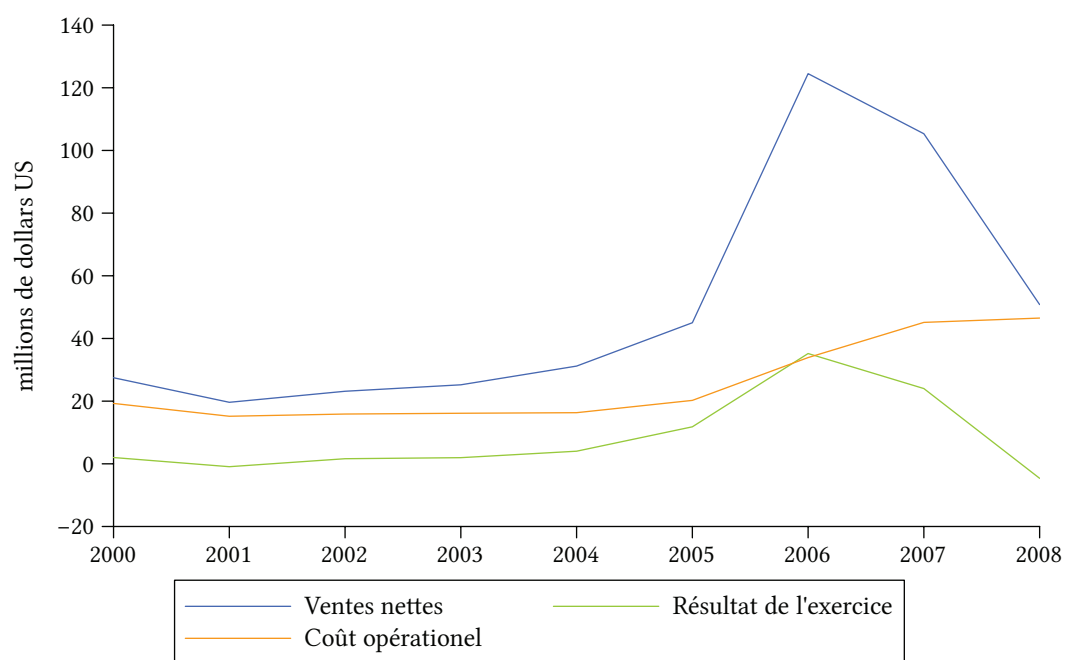
Source : SMV

GRAPHIQUE 11.11 Flux des états financiers de Compañía Minera San Ignacio De Morococha



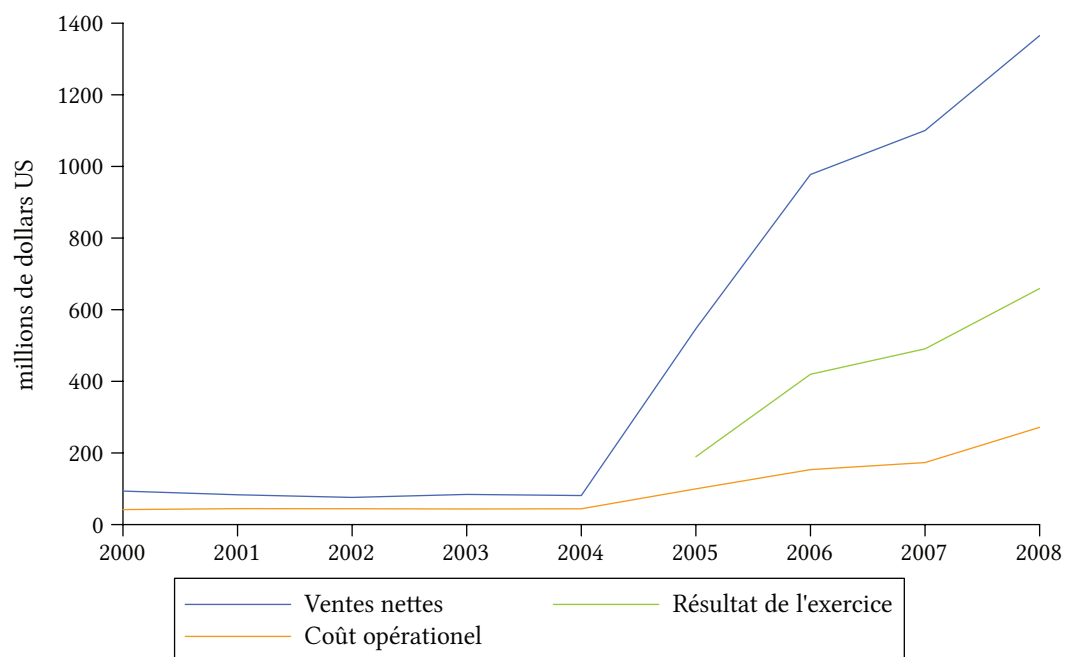
Source : SMV

GRAPHIQUE 11.12 Flux des états financiers de Compañia Minera Santa Luisa SA



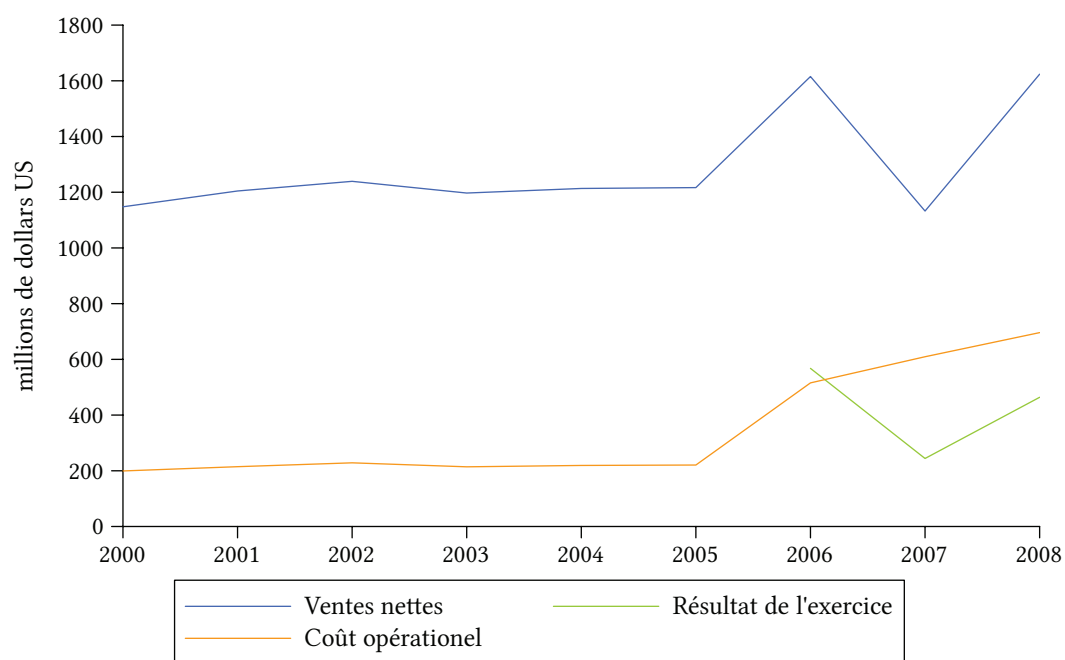
Source : SMV

GRAPHIQUE 11.13 Flux des états financiers de Minera Barrick Misquichilca SA



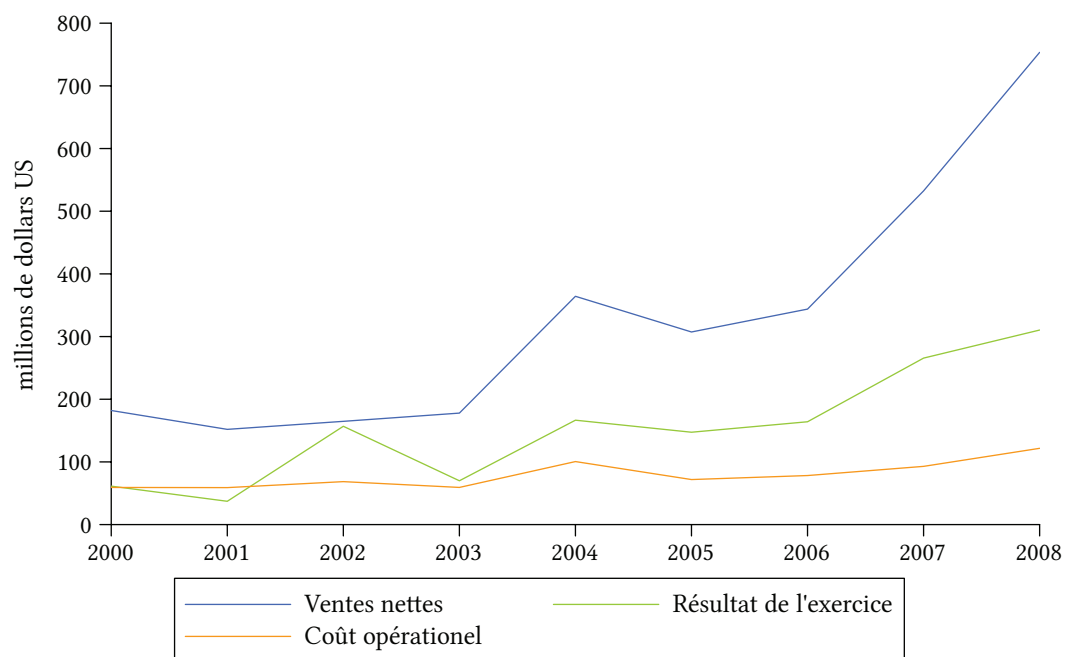
Source : SMV

GRAPHIQUE 11.14 Flux des états financiers de Minera Yanacocha SRL



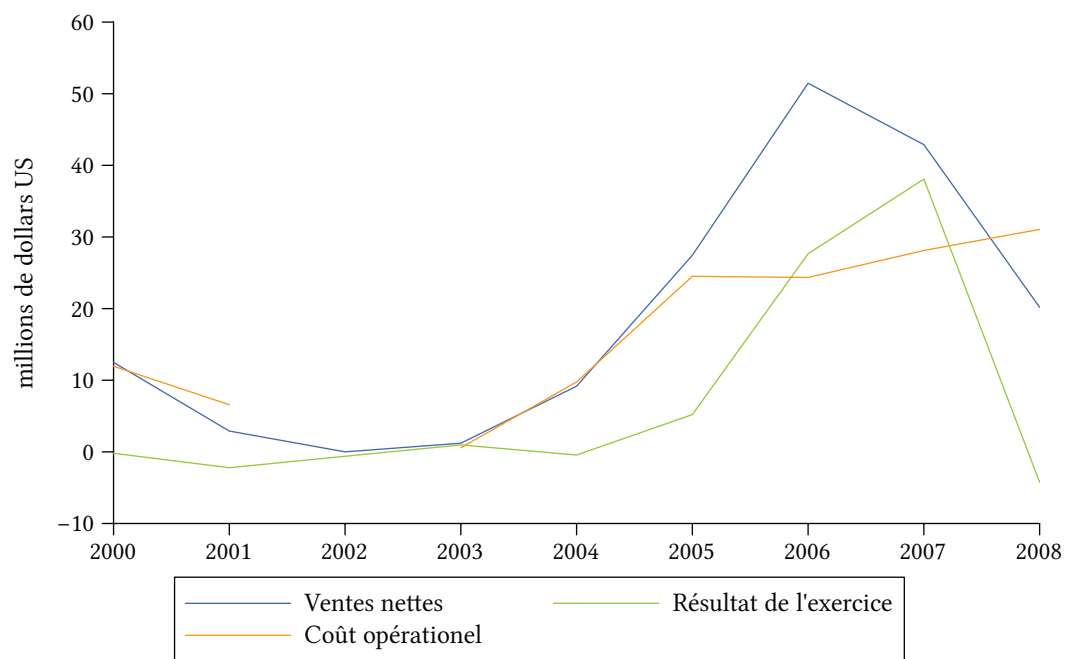
Source : SMV

GRAPHIQUE 11.15 Flux des états financiers de Minsur SA



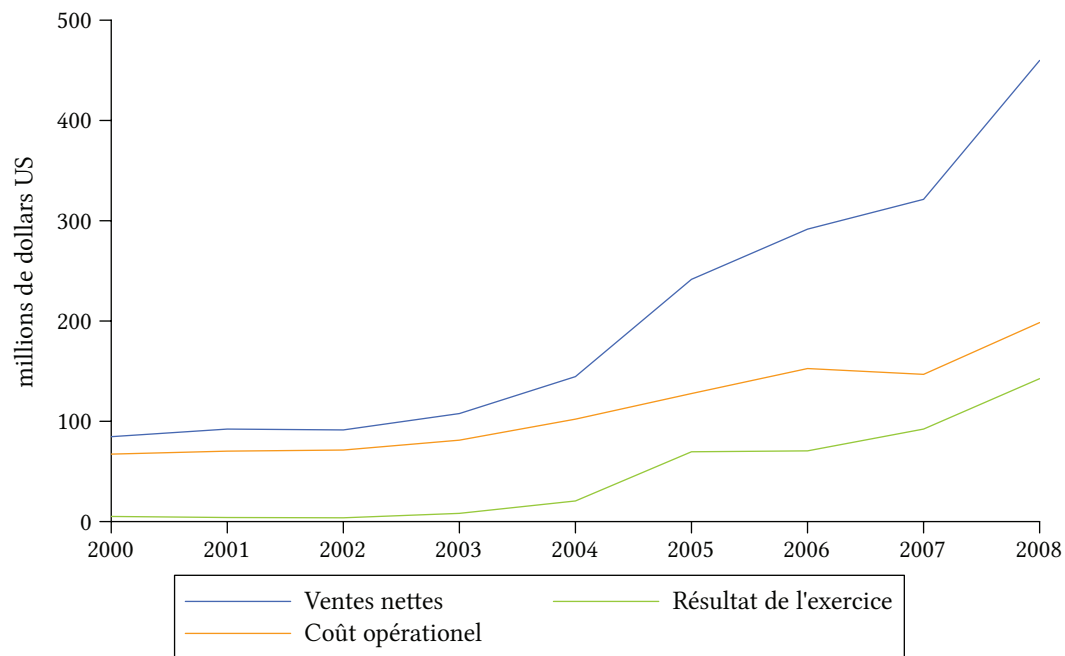
Source : SMV

GRAPHIQUE 11.16 Flux des états financiers de Perubar SA



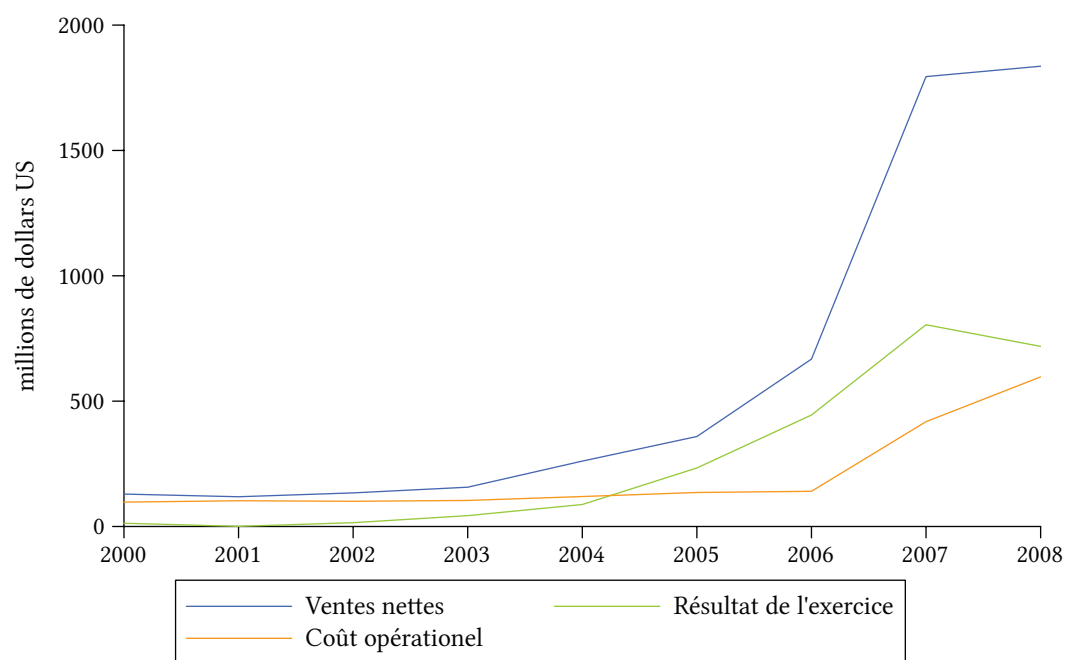
Source : SMV

GRAPHIQUE 11.17 Flux des états financiers de Shougang Hierro Peru SAA



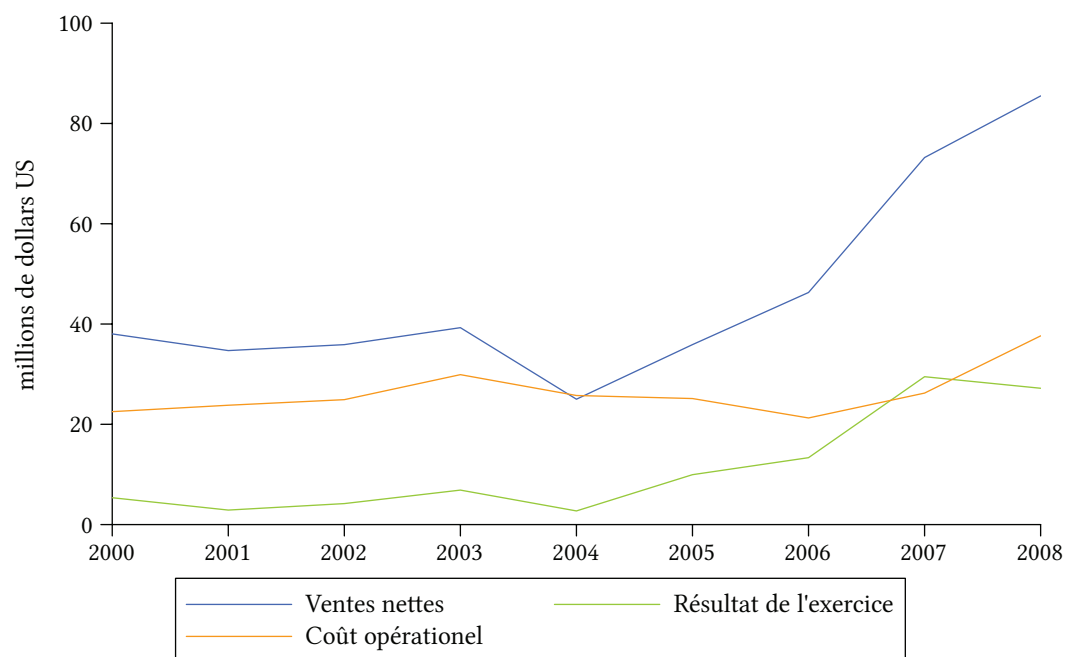
Source : SMV

GRAPHIQUE 11.18 Flux des états financiers de Sociedad Minera Cerro Verde SAA



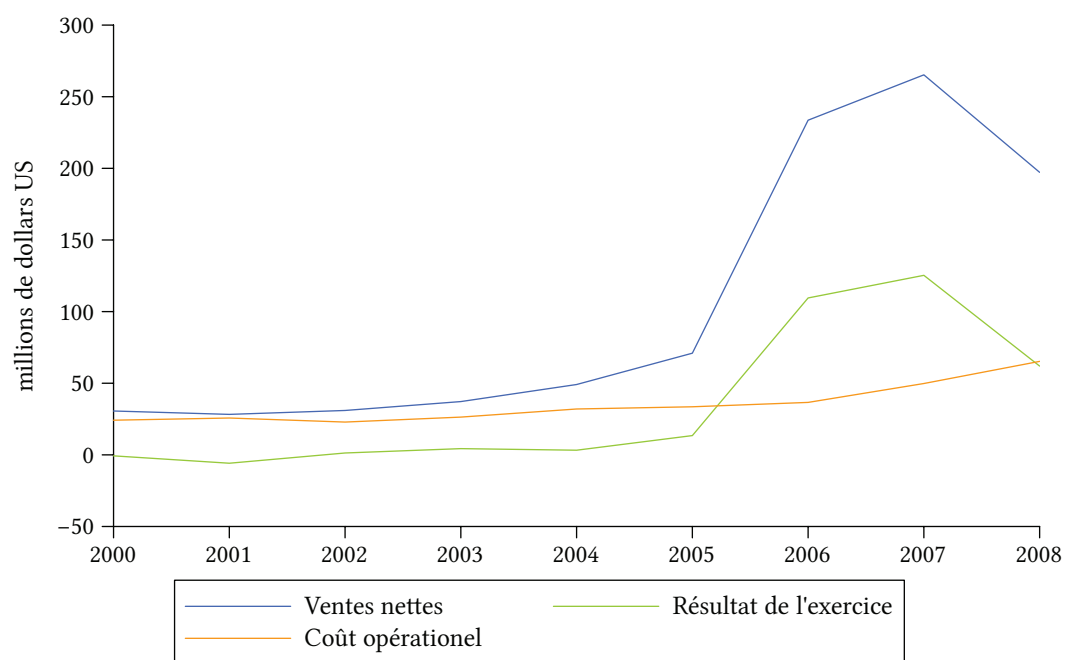
Source : SMV

GRAPHIQUE 11.19 Flux des états financiers de Sociedad Minera Corona SA



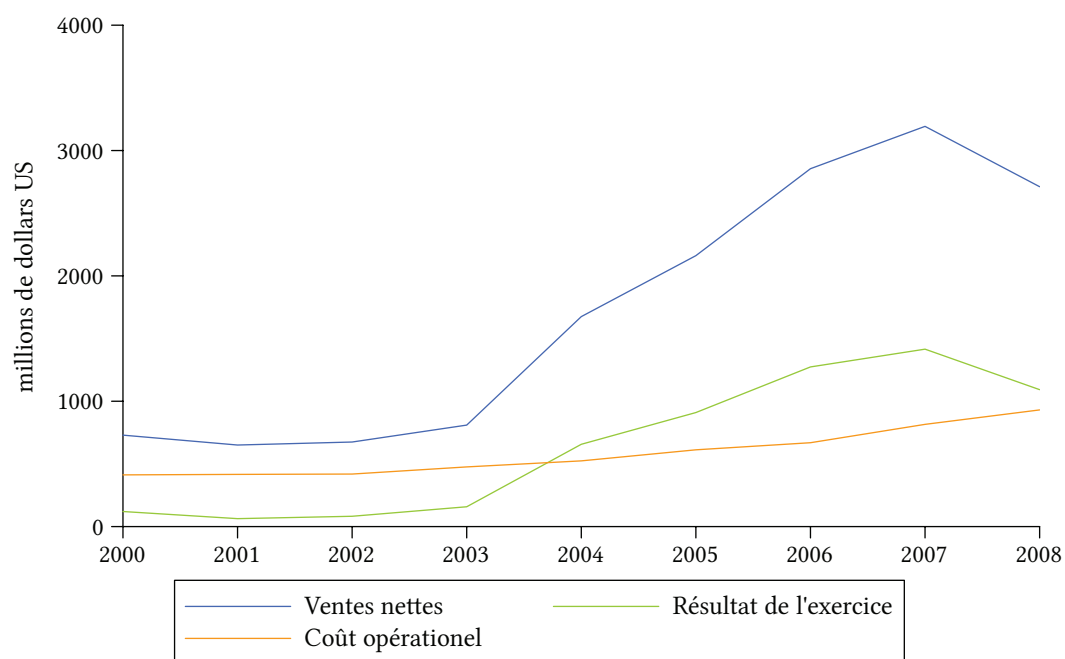
Source : SMV

GRAPHIQUE 11.20 Flux des états financiers de Sociedad Minera El Brocal SAA



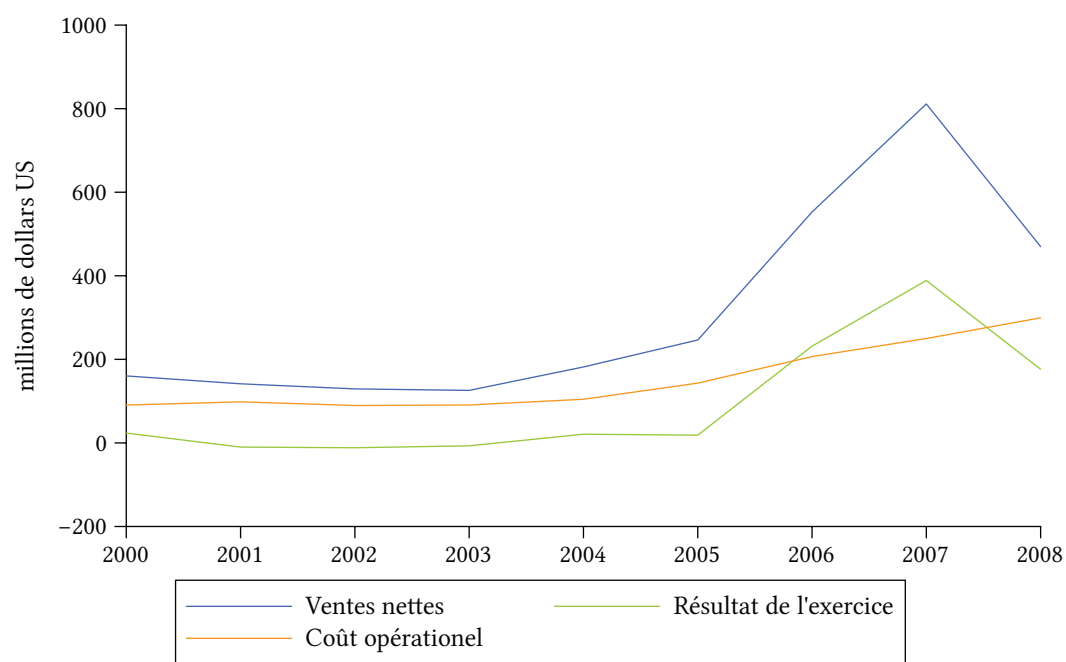
Source : SMV

GRAPHIQUE 11.21 Flux des états financiers de Southern Peru Copper Corporation



Source : SMV

GRAPHIQUE 11.22 Flux des états financiers de Volcan Compañía Minera SA



Source : SMV

Annexe H. Structure des coûts opérationnels

TABLEAU 11.8. Coûts opérationnels des entreprises, selon les états financiers disponibles publiquement et selon la SMV (milliers de US\$)

	Notes des états financiers			Coût opérationnel total		Différence ³ (%)
	coût opérationnel	dépréciation et amortisations	coût d'exploration ¹	selon la définition de Buenavenura ²	selon la CONASEV	
<i>Compañía de Minas Buenaventura SAA</i>						
2008	208 570	48 093	48 742	305 405	305 405	32
2007	147 495	33 243	33 231	213 969	213 969	31
2006	117 819	26 629	33 356	177 804	177 804	34
<i>Minera Barrick Misquichilca SA</i>						
2008	271 581	74 104	13 665	285 246	271 581	0
2007	173 161	75 522	9 306	182 467	173 161	0
2006	153 448		7 041	160 489	153 448	0
<i>Minera Yanacocha SRL</i>						
2008	678 965	103 695	17 023	695 988	695 988	2
2007	592 985	73 268	16 435	609 420	609 420	3
2006	515 529		20 460	535 989	515 529	0

1. dans les unités minières en fonctionnement.

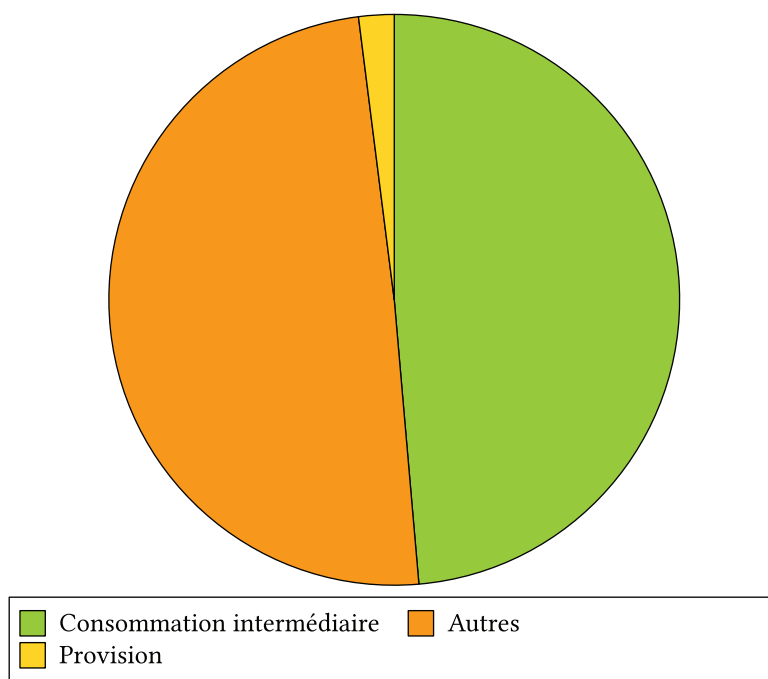
2. c'est-à-dire la somme des coûts opérationnels, de la dépréciation et des coûts d'exploration.

3. entre la valeur donnée par les états financiers et celle donnée par le rapport de la CONASEV.

Source : auteur avec les données de la CONASEV

Structure des coûts opérationnels pour certaines entreprises de métaux précieux selon les informations publiques des états financiers

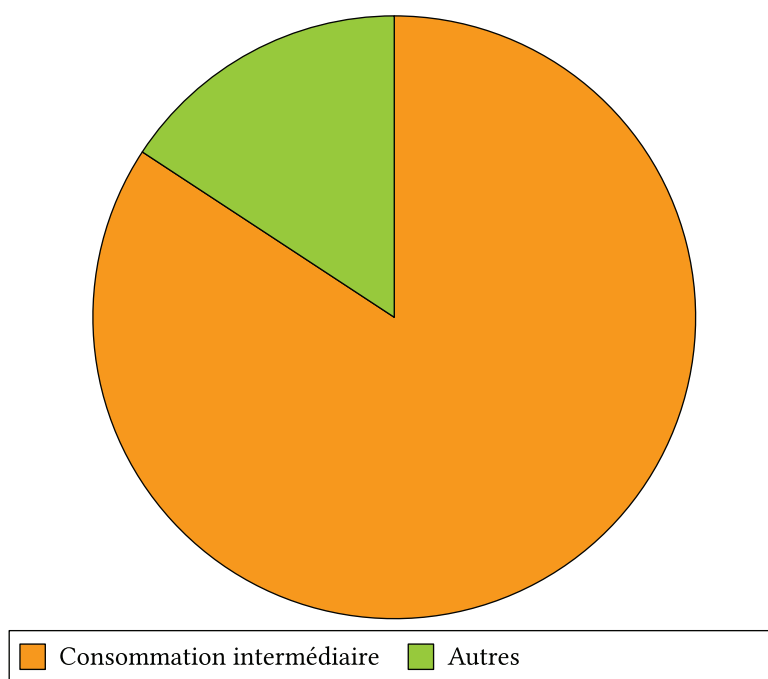
GRAPHIQUE 11.23 Coûts opérationnels pour Compañía de Minas Buenaventura SAA en 2008



Source : SMV

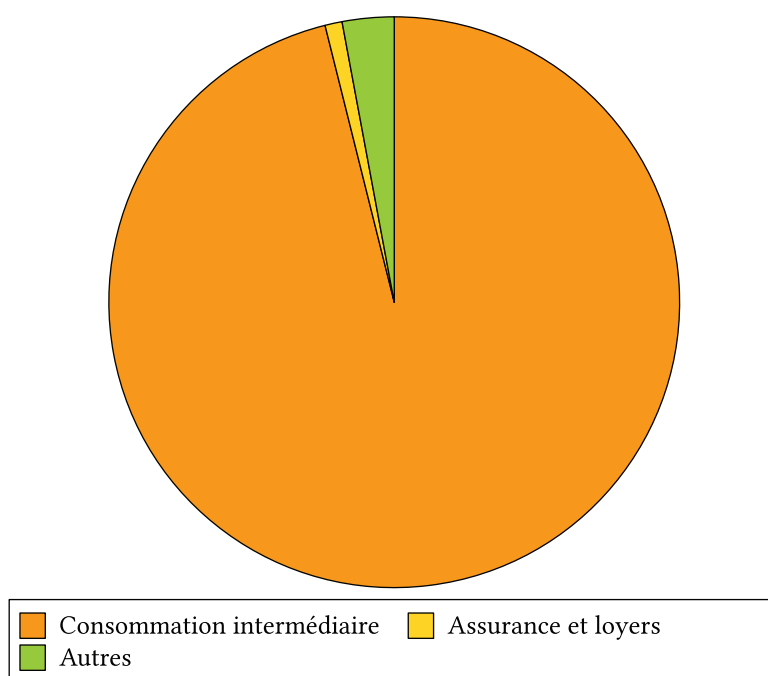
Annexe H. Structure des coûts opérationnels

GRAPHIQUE 11.24 Coûts opérationnels pour Minera Barrick Misquichilca SA en 2008



Source : SMV

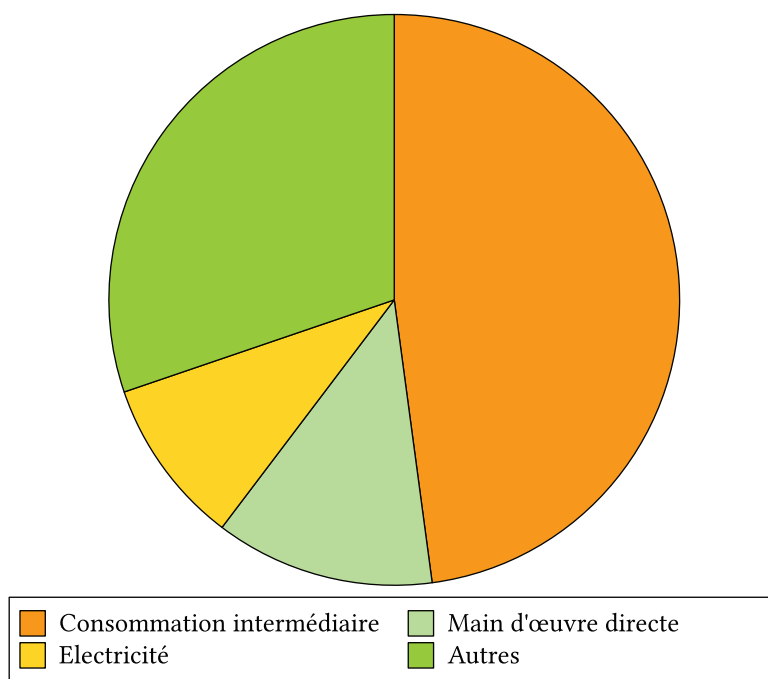
GRAPHIQUE 11.25 Coûts opérationnels pour Minera Yanacocha SRL en 2008



Source : SMV

Structure des coûts opérationnels pour certaines entreprises polymétalliques selon les informations publiques des états financiers

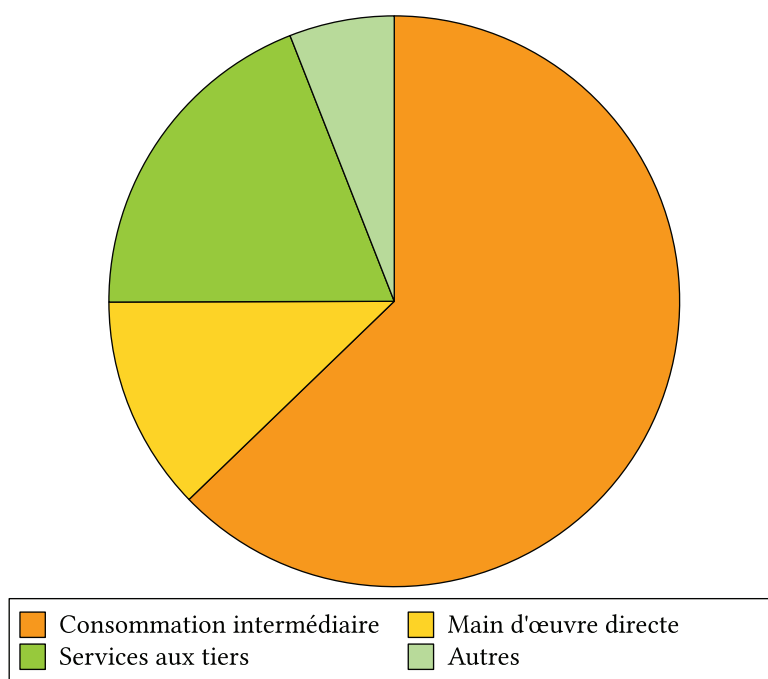
GRAPHIQUE 11.26 Coûts opérationnels pour Sociedad Minera Cerro Verde SAA en 2008



Source : SMV

Annexe H. Structure des coûts opérationnels

GRAPHIQUE 11.27 Coûts opérationnels pour Compañia Minera Raura SA en 2008



Source : SMV

Annexe I. Fonction de coût translog

TABLEAU 11.9. Estimations de la fonction de coût translog avec la production totale et le temps

Système	LOGMPPOLYM
Méthode d'estimation	SUR : <i>Seemingly Unrelated Regression</i>
Échantillon	2000–2008
Observations incluses	162
Observations du système total (balancé)	486

	Coefficient	Écart-type	<i>t</i> -statistique	Probabilité
C(5)	0,210 191	0,231 06	0,909 68	0,363 5
C(7)	–0,005 124	0,013 902	–0,368 602	0,712 6
C(9)	0,053 63	0,036 454	1,471 183	0,141 9
C(12)	–0,004 287	0,001 162	–3,690 54	0,000 3
C(15)	–0,004 362	0,001 254	–3,477 243	0,000 6
C(19)	$4,57 \times 10^{-7}$	$3,73 \times 10^{-7}$	1,225 262	0,221 1
C(23)	–0,000 359	0,005 52	–0,064 951	0,948 2
C(6)	0,524 152	0,226 035	2,318 899	0,020 8
C(8)	–0,037 579	0,007 999	–4,697 848	0
C(11)	0,000 632	0,000 67	0,943 247	0,346
C(14)	$2,67 \times 10^{-3}$	$7,23 \times 10^{-4}$	3,684 785	0,000 3
C(18)	$-1,94 \times 10^{-7}$	$3,19 \times 10^{-7}$	–0,608 477	0,543 2
C(24)	–0,006 863	0,003 184	–2,155 624	0,031 6
C(100)	–42,537 73	48,917 94	–0,869 573	0,385
C(1)	9,130 618	3,421 599	2,668 524	0,007 9
C(2)	2,88	3,69	0,782 087	0,434 6
C(3)	$4,32 \times 10^{-2}$	$4,51 \times 10^{-3}$	9,585 795	0
C(16)	$6,50 \times 10^{-5}$	$6,69 \times 10^{-5}$	0,971 145	0,332
C(20)	$-1,29 \times 10^{-5}$	$4,69 \times 10^{-6}$	–2,742 988	0,006 3
C(21)	$-4,35 \times 10^{-6}$	$5,05 \times 10^{-6}$	–0,861 694	0,389 3
C(22)	0,821 318	$6,13 \times 10^{-2}$	13,391 82	0

Covariance du déterminant résiduel : $5,30 \times 10^{-5}$.

Source : auteur

Annexe I. Fonction de coût translog

$$SK = C(5) + C(7) * \text{LOG}(\text{SALAIRE}) + C(9) * \text{LOG}(\text{PRIXELECT}) + C(12) * \text{LOG}(\text{MP}) \\ + C(15) * \text{LOG}(\text{POLYM}) + C(19) * \text{DATEID} + C(23) * \text{LOG}(\text{MINERAIS})$$

Observations	162
R^2	0,112 446
R^2 ajusté	0,078 089
Somme des erreurs de la régression	0,160 409
Statistique de Durbin-Watson	0,534 742
Moyenne de la variable dépendante	0,322 906
Écart-type de la variable dépendante	0,167 064
Somme des carrés résiduels	3,988 292

$$SE = C(6) + C(8) * \text{LOG}(\text{SALAIRE}) + C(9) * \text{LOG}(\text{TAMEX}) + C(11) * \text{LOG}(\text{MP}) + C(14) * \text{LOG}(\text{POLYM}) \\ + C(18) * \text{DATEID} + C(24) * \text{LOG}(\text{MINERAIS})$$

Observations	162
R^2	0,256 058
R^2 ajusté	0,227 26
Somme des erreurs de la régression	0,092 508
Statistique de Durbin-Watson	0,969 002
Moyenne de la variable dépendante	0,098 22
Écart-type de la variable dépendante	0,105 236
Somme des carrés résiduels	1,326 456

$$\text{LOG}(\text{COUT}) = C(100) + C(1) * \text{LOG}(\text{MP}) + C(2) * \text{LOG}(\text{POLYM}) + 0,5 * C(3) * \text{LOG}(\text{MP}) * \text{LOG}(\text{POLYM}) \\ + C(5) * \text{LOG}(\text{TAMEX}) + C(6) * \text{LOG}(\text{PRIXELECT}) + (1 - C(5) - C(6)) * \text{LOG}(\text{SALAIRE}) \\ + C(16) * \text{DATEID} + C(20) * \text{LOG}(\text{MP}) * \text{DATEID} + C(21) * \text{LOG}(\text{POLYM}) * \text{DATEID} \\ + C(22) * \text{LOG}(\text{MINERAIS})$$

Observations	162
R^2	0,783 957
R^2 ajusté	0,771 165
Somme des erreurs de la régression	0,644 924
Statistique de Durbin-Watson	0,528 974
Moyenne de la variable dépendante	9,982 595
Écart-type de la variable dépendante	1,348 179
Somme des carrés résiduels	63,220 98

Source : auteur

Annexe I. Fonction de coût translog

TABLEAU 11.10. Estimations de la fonction de coût translog avec le temps

Système	LOGMPPOL YM1
Méthode d'estimation	SUR : <i>Seemingly Unrelated Regression</i>
Échantillon	2000–2008
Observations incluses	162
Observations du système total (balancé)	486

	Coefficient	Écart-type	<i>t</i> -statistique	Probabilité
C(5)	0,198 428	0,231 147	0,858 452	0,391 1
C(7)	–0,005 612	0,012 337	–0,454 881	0,649 4
C(9)	0,055 785	0,036 815	1,515 275	0,130 4
C(12)	–0,004 301	0,001 143	–3,761 661	0,000 2
C(15)	–0,004 378	0,001 236	–3,540 823	0,000 4
C(19)	$4,78 \times 10^{-7}$	$3,69 \times 10^{-7}$	1,297 906	0,195
C(6)	0,522 68	0,226 346	2,309 211	0,021 4
C(8)	–0,045 529	0,007 205	–6,318 968	0
C(11)	0,000 378	0,000 669	0,564 656	0,572 6
C(14)	0,002 403	0,000 723	3,321 527	0,001
C(18)	$-2,61 \times 10^{-7}$	$3,18 \times 10^{-7}$	–0,821 872	0,411 6
C(100)	–41,879 1	48,964 43	–0,855 296	0,392 8
C(1)	9,073 365	3,425 342	2,648 893	0,008 3
C(2)	2,886 476	3,692 777	0,781 655	0,434 8
C(3)	0,043 366	0,004 51	9,614 649	0
C(16)	$6,42 \times 10^{-5}$	$6,70 \times 10^{-5}$	0,957 934	0,338 6
C(20)	$-1,28 \times 10^{-5}$	$4,69 \times 10^{-6}$	–2,723 485	0,006 7
C(21)	$-4,36 \times 10^{-6}$	$5,06 \times 10^{-6}$	–0,861 332	0,389 5
C(22)	0,811 312	0,060 859	13,330 97	0

Covariance du déterminant résiduel : $5,48 \times 10^{-5}$.

Source : auteur

Annexe I. Fonction de coût translog

$$SK=C(5)+C(7)*\text{LOG}(\text{SALAIRE})+C(9)*\text{LOG}(\text{PRIXELECT})+C(12)*\text{LOG}(\text{MP})+C(15)*\text{LOG}(\text{POLYM})+C(19)*\text{DATEID}$$

Observations	162
R^2	0,112 269
R^2 ajusté	0,083 816
Somme des erreurs de la régression	0,159 91
Statistique de Durbin-Watson	0,536 394
Moyenne de la variable dépendante	0,322 906
Écart-type de la variable dépendante	0,167 064
Somme des carrés résiduels	3,989 087

$$SE=C(6)+C(8)*\text{LOG}(\text{SALAIRE})+C(9)*\text{LOG}(\text{TAMEX})+C(11)*\text{LOG}(\text{MP})+C(14)*\text{LOG}(\text{POLYM})+C(18)*\text{DATEID}$$

Observations	162
R^2	0,234 165
R^2 ajusté	0,209 619
Somme des erreurs de la régression	0,093 558
Statistique de Durbin-Watson	0,761 346
Moyenne de la variable dépendante	0,098 22
Écart-type de la variable dépendante	0,105 236
Somme des carrés résiduels	1,365 491

$$\begin{aligned} \text{LOG}(\text{COUT})= & C(100)+C(1)*\text{LOG}(\text{MP})+C(2)*\text{LOG}(\text{POLYM})+0,5*C(3)*\text{LOG}(\text{MP})*\text{LOG}(\text{POLYM}) \\ & +C(5)*\text{LOG}(\text{TAMEX})+C(6)*\text{LOG}(\text{PRIXELECT})+(1-C(5)-C(6))*\text{LOG}(\text{SALAIRE})+C(16)*\text{DATEID} \\ & +C(20)*\text{LOG}(\text{MP})*\text{DATEID}+C(21)*\text{LOG}(\text{POLYM})*\text{DATEID}+C(22)*\text{LOG}(\text{MINERAIS}) \end{aligned}$$

Observations	162
R^2	0,783 761
R^2 ajusté	0,770 957
Somme des erreurs de la régression	0,645 217
Statistique de Durbin-Watson	0,498 965
Moyenne de la variable dépendante	9,982 595
Écart-type de la variable dépendante	1,348 179
Somme des carrés résiduels	63,278 34

Source : auteur

Annexe I. Fonction de coût translog

TABLEAU 11.11. Estimations de la fonction de coût translog pour la production totale

Système	LOGMINERAIS
Méthode d'estimation	SUR : <i>Seemingly Unrelated Regression</i>
Échantillon	2000–2008
Observations incluses	18
Observations du système total (balancé)	54

	Coefficient	Écart-type	<i>t</i> -statistique	Probabilité
C(5)	0,050 068	0,166 399	0,300 891	0,764 9
C(7)	−0,038 314	0,045 512	−0,841 851	0,404 4
C(9)	0,111 920	0,063 999	1,748 784	0,087 3
C(12)	0,058 945	0,029 482	1,999 341	0,051 8
C(6)	1,061 708	0,160 347	6,621 308	0,000 0
C(8)	0,020 129	0,018 343	1,097 399	0,278 4
C(11)	−0,064 178	0,012 613	−5,088 393	0,000 0
C(1)	5,639 126	7,056 393	0,799 151	0,428 5
C(2)	0,311 439	1,225 838	0,254 062	0,800 6
C(3)	0,057 519	0,100 267	0,573 662	0,569 1

Covariance du déterminant résiduel : $4,95 \times 10^{-6}$.

Source : auteur

Annexe I. Fonction de coût translog

$$SK=C(5)+C(7)*\text{LOG}(\text{SALAIRE})+C(9)*\text{LOG}(\text{PRIXELECT})+C(12)*\text{LOG}(\text{MINERAIS})$$

Observations	18
R^2	0,190 066
R^2 ajusté	0,016 509
Somme des erreurs de la régression	0,143 368
Statistique de Durbin-Watson	2,422 038
Moyenne de la variable dépendante	0,322 906
Écart-type de la variable dépendante	0,144 567
Somme des carrés résiduels	0,287 763

$$SE=C(6)+C(8)*\text{LOG}(\text{SALAIRE})+C(9)*\text{LOG}(\text{TAMEX})+C(11)*\text{LOG}(\text{MINERAIS})$$

Observations	18
R^2	0,647 916
R^2 ajusté	0,572 470
Somme des erreurs de la régression	0,057 737
Statistique de Durbin-Watson	1,992 976
Moyenne de la variable dépendante	0,098 220
Écart-type de la variable dépendante	0,088 302
Somme des carrés résiduels	0,046 669

$$\begin{aligned} \text{LOG}(\text{COUT})= & C(1)+C(2)*\text{LOG}(\text{MINERAIS})+0.5*C(3)*\text{LOG}(\text{MINERAIS})^2+C(5)*\text{LOG}(\text{TAMEX}) \\ & +C(6)*\text{LOG}(\text{PRIXELECT})+(1-C(5)-C(6))*\text{LOG}(\text{SALAIRE}) \end{aligned}$$

Observations	18
R^2	0,922 829
R^2 ajusté	0,899 084
Somme des erreurs de la régression	0,415 534
Statistique de Durbin-Watson	1,864 783
Moyenne de la variable dépendante	10,068 80
Écart-type de la variable dépendante	1,308 056
Somme des carrés résiduels	2,244 692

Source : auteur

Annexe I. Fonction de coût translog

TABLEAU 11.12. Estimations de la fonction de coût translog avec la production totale et deux produits

Système	LOGMPPOL YM
Méthode d'estimation	SUR : <i>Seemingly Unrelated Regression</i>
Échantillon	2000–2008
Observations incluses	18
Observations du système total (balancé)	54

	Coefficient	Écart-type	<i>t</i> -statistique	Probabilité
C(5)	0,027 133	0,160 463	0,169 094	0,866 5
C(7)	–0,040 668	0,045 456	–0,894 670	0,376 1
C(9)	0,119 503	0,059 620	2,004 414	0,051 5
C(12)	0,063 212	0,029 229	2,162 633	0,036 3
C(6)	1,090 047	0,150 346	7,250 277	0,000 0
C(8)	0,020 864	0,019 595	1,064 741	0,293 1
C(11)	–0,065 294	0,013 434	–4,860 222	0,000 0
C(100)	2,089 324	0,606 722	3,443 624	0,001 3
C(1)	–0,068 891	0,046 811	–1,471 682	0,148 6
C(2)	–0,085 244	0,047 682	–1,787 770	0,081 0
C(3)	0,009 519	0,007 673	1,240 528	0,221 7
C(14)	1,038 966	0,079 182	13,121 30	0,000 0

Covariance du déterminant résiduel : $2,29 \times 10^{-6}$.

Source : auteur

Annexe I. Fonction de coût translog

$$SK=C(5)+C(7)*LOG(SALAIRE)+C(9)*LOG(PRIXELECT)+C(12)*LOG(MINERAIS)$$

Observations	18
R^2	0,188 870
R^2 ajusté	0,015 057
Somme des erreurs de la régression	0,143 474
Statistique de Durbin-Watson	2,411 018
Moyenne de la variable dépendante	0,322 906
Écart-type de la variable dépendante	0,144 567
Somme des carrés résiduels	0,288 188

$$SE=C(6)+C(8)*LOG(SALAIRE)+C(9)*LOG(TAMEX)+C(11)*LOG(MINERAIS)$$

Observations	18
R^2	0,647 553
R^2 ajusté	0,572 028
Somme des erreurs de la régression	0,057 767
Statistique de Durbin-Watson	1,996 356
Moyenne de la variable dépendante	0,098 220
Écart-type de la variable dépendante	0,088 302
Somme des carrés résiduels	0,046 718

$$LOG(COUT)=C(100)+C(1)*LOG(MP)+C(2)*LOG(POLYM)+0.5*C(3)*LOG(MP)*LOG(POLYM)+C(5)*LOG(TAMEX)+C(6)*LOG(PRIXELECT)+(1-C(5)-C(6))*LOG(SALAIRE)+C(14)*LOG(MINERAIS)$$

Observations	18
R^2	0,963 203
R^2 ajusté	0,943 132
Somme des erreurs de la régression	0,311 933
Statistique de Durbin-Watson	1,407 476
Moyenne de la variable dépendante	10,068 80
Écart-type de la variable dépendante	1,308 056
Somme des carrés résiduels	1,070 324

Source : auteur

Annexe J. Revenu durable pour un fonds de 25 ans

TABLEAU 11.13. Calcul du revenu durable pour un fonds de 25 ans
(en millions de US\$)

Années	Revenu total	Revenu durable	Revenu épargné	Capitalisation	Fonds
1	3 186	2 929	257	257	257
2	3 186	2 929	257	284	541
3	3 186	2 929	257	598	854
4	3 186	2 929	257	945	1 202
5	3 186	2 929	257	1 329	1 586
6	3 186	2 929	257	1 754	2 010
7	3 186	2 929	257	2 224	2 480
8	3 186	2 929	257	2 743	3 000
9	3 186	2 929	257	3 318	3 574
10	3 186	2 929	257	3 953	4 210
11	3 186	2 929	257	4 656	4 913
12	3 186	2 929	257	5 434	5 690
13	3 186	2 929	257	6 293	6 550
14	3 186	2 929	257	7 244	7 501
15	3 186	2 929	257	8 296	8 553
16	3 186	2 929	257	9 459	9 716
17	3 186	2 929	257	10 746	11 002
18	3 186	2 929	257	12 169	12 425
19	3 186	2 929	257	13 742	13 999
20	3 186	2 929	257	15 483	15 740
21	3 186	2 929	257	17 408	17 665
22	3 186	2 929	257	19 537	19 794
23	3 186	2 929	257	21 892	22 148
24	3 186	2 929	257	24 496	24 753
25	3 186	2 929	257	27 377	27 633
26		2 929			27 633
27		2 929			27 633
28		2 929			27 633
29		2 929			27 633
30		2 929			27 633
31		2 929			27 633
32		2 929			27 633
33		2 929			27 633
34		2 929			27 633
35		2 929			27 633

Source : auteur

Table des matières

Introduction générale	11
I Ressources naturelles non renouvelables et sous-développement	21
Introduction	23
1 Panorama de l'activité minière péruvienne	25
1.1 L'activité minière au Pérou	25
1.2 Agglomérations minières	27
1.3 Conflits miniers	38
1.3.1 Conflits sociaux-environnementaux	38
1.3.2 Conflits du travail	41
2 Le paradoxe du sous-développement et de l'abondance des ressources naturelles	45
2.1 Syndrome hollandais	46
2.2 Malédiction des ressources naturelles — <i>resource curse</i>	48
2.3 Modélisation de la <i>resource curse</i> au Pérou	51
2.4 La <i>resource curse</i> au Pérou	55
Conclusion	59

II Analyse macroéconomique de la dépréciation du capital minier	61
Introduction	63
3 Comptabilité environnementale	65
3.1 Durabilité et croissance économique	66
3.1.1 Règle de Hartwick	70
3.2 Indicateurs macroéconomiques environnementaux	71
3.3 Dépréciation du capital naturel dans le SEEA	76
3.3.1 Découvertes	77
4 Évaluation de la dépréciation du capital naturel	79
4.1 Rentes minières, rentes ricardiennes et <i>royalties</i>	79
4.2 Méthodes d'évaluation de la dépréciation du capital naturel	85
4.2.1 Valeur présente nette	86
4.2.2 Coût d'usage	87
4.2.3 Prix net	88
4.2.4 Évaluation de la DCM comme résidu macroéconomique	91
4.3 Estimation de la dépréciation du capital minier	93
Conclusion	97
 III Analyse microéconomique de la dépréciation du capital minier	 99
Introduction	101
5 La théorie des ressources épuisables	103
5.1 La règle de Hotelling : principe d'évaluation des ressources épuisables	104
5.1.1 Présentation informelle du modèle de Hotelling	104
5.1.2 Règle de Hotelling discrète dans le temps	109
5.1.3 Règle de Hotelling continue dans le temps	115
5.2 La réconciliation entre la théorie hotellienne et ses défaillances	117
5.2.1 L'exploration	117
5.2.2 La concurrence imparfaite	117
5.2.3 L'incertitude dans les droits de propriété	119

5.2.4	L'interaction stratégique	119
6	Fonction de coût pour l'activité minière péruvienne	121
6.1	Fonction de coût translogarithmique multi-produit	122
6.1.1	Équation des parts distributives des facteurs de production	124
6.1.2	Équation des flexibilités du coût	124
6.1.3	Effets de substitution	125
6.1.4	Coûts marginaux	125
6.1.5	Gains de productivité	126
6.2	Estimation des paramètres de la fonction de coût	126
6.2.1	Description des variables	128
6.2.2	Paramètres de la fonction de coût	133
6.2.3	Fonction de coût translog générale	135
6.2.4	Fonction de coût translog multi-produit	137
6.2.5	Estimation des parts de facteurs (<i>cost shares</i>)	140
6.2.6	Estimation de flexibilités du coût	140
6.2.7	Estimation des élasticités de substitution	141
6.2.8	Estimation des élasticités-prix de la demande	141
6.2.9	Estimation des coûts marginaux	142
7	Évaluation de la dépréciation du capital naturel	147
7.1	Estimation de la rente totale de Hotelling	147
	Conclusion	151
IV	Réinvestissement des rentes	153
	Introduction	155
8	Dépréciation du capital minier, revenus miniers et <i>royalties</i>	157
8.1	La règle de Hartwick dans l'activité minière péruvienne	157
8.1.1	Première condition de la règle de Hartwick	157
8.1.2	Deuxième condition de la règle de Hartwick	160
8.2	Comparaison des <i>royalties</i> pour divers pays miniers	164
8.2.1	Les différents types de <i>royalties</i>	164
8.2.2	Les différents systèmes de taxation	165

Table des matières

9	Revenu durable et constitution d'un fonds de ressources naturelles	171
9.1	Constitution d'un fonds de ressources naturelles	171
9.1.1	Fonctionnement d'un fonds de développement	172
9.1.2	Exemples de création d'un fonds permanent	174
10	Fonds de ressources minières au Pérou	183
10.1	Estimation d'un revenu durable pour l'activité minière péruvienne	184
	Conclusion	189
	Conclusion générale	191

Bibliographie	199
Travaux cités	199
Autres références	214
 V Annexes	 219
A Cadastre minier du Pérou	220
B Carte de conflits sociaux par département	221
C Carte de malnutrition chronique au Pérou	222
D Calcul des avantages comparatifs révélés	223
E Test de causalité de Granger pour les principales variables explicatives de la malédiction des ressources naturelles	224
F Actifs fixes et résultats de l'exercice des entreprises minières pour la période 1994–2004	225
G Flux des états financiers des entreprises minières pour la période 2000–2008 .	226
H Structure des coûts opérationnels	236
I Fonction de coût translog	241
J Revenu durable pour un fonds de 25 ans	249

Listes	257
Liste des sigles	257
Liste des équations	259
Liste des figures	261
Liste des graphiques	263
Liste des tableaux	265

Liste des sigles

Sigle	Signification
DCM	Dépréciation du capital minier
RTH	Rente totale de Hotelling
<i>Comptabilité nationale</i>	
SEEA	<i>System of environmental-economic accounts</i>
CE	Système de comptabilité nationale environnementale
SCN	Système de comptabilité nationale
NAMEA	Matrice de comptabilité nationale avec comptes environnementaux
GDP	<i>Gross domestic product</i>
PIB	Produit intérieur net
GNP	<i>Gross national product</i>
PNB	Produit national net
NNI	<i>Net national income</i>
RIB	Revenu intérieur brut
NDP	<i>Net domestic product</i>
PIN	Produit intérieur net
NNP	<i>Net national product</i>
PNN	Produit national net
GNI	<i>Gross national income</i>
RNB	Revenu national brut
NNI	<i>Net national income</i>
RNN	Revenu national net

Liste des sigles

Sigle	Signification
<i>Institutions</i>	
INEI	Institut National des Statistiques et d'Informatique
MEM	Ministère de l'Énergie et des Mines au Pérou
BCR	Banque Centrale de Réserve du Pérou
SMV	Superintendencia du Marché des Actifs, anciennement CONASEV
CONASEV	Commission Nationale Superviseure du Marché de Actifs
SUNAT	Superintendencia Nationale d'Administration Fiscale
CONAM	Conseil National de l'Environnement
OSINERG	Organisme Superviseur de l'Investissement en Énergie et Mines au Pérou
FMI	Fonds Monétaire International
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économique
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
CEPII	Centre d'Études Prospectives et d'Informations Internationales
FCTMP	Fonction de coût translog multi-produit
FCTG	Fonction de coût translog générale
LRTF	Loi de responsabilité et de transparence fiscale
EIA	Étude d'impact environnemental
PAMA	Orogrammes d'adéquation pour les mines en fonctionnement
DAC	Déclaration annuelle des entreprises minières au MEM
SURE	Systèmes d'équations apparemment non reliées
VPN	Valeur présente nette

Liste des équations

0.1	Méthode de calcul de la DCM par la Banque Mondiale	15
2.1	Modèle de croissance avec abondance de ressources naturelles	53
3.2	Fonction de production	66
3.4	Maximisation de l'utilité	67
3.6	Fonction hamiltonienne	68
3.8	Épargne nette ajustée	68
3.10	Produit national net	69
3.11	Variation du capital	69
3.12	Produit national net corrigé	69
3.15	Épargne nette ajustée avec dépréciation des actifs	70
4.1	Valeur présente nette d'une ressource naturelle à l'instant t	86
4.3	Dépréciation de la ressource naturelle	86
4.4	Égalité des revenus nets courants et des revenus durables	87
4.5	Coût d'usage de la ressource naturelle	87
4.6	Rente totale de Hotelling	88
5.13	Règle de Hotelling discrète	112
5.15	Règle de Hotelling discrète (cas simple)	112
5.21	Valeur optimale des réserves	113
5.24	Règle de Hotelling discrète (cas $\partial C/\partial Q = \omega$ constant)	114
5.29	Règle de Hotelling continue	116
5.36	Taux de croissance du coût d'opportunité en fonction de l'élasticité	118
5.37	Règle de Hotelling modifiée par la probabilité de conserver les droits d'ex- traction	119
6.1	Modèle translog multi-produit	123
6.2	Part du facteur i dans le coût total	124
6.3	Flexibilité du coût	125
6.4	Élasticité de substitution partielle au sens d'Allen	125
6.5	Élasticité de substitution	125

Liste des équations

6.6	Élasticité de demande de facteur i par rapport au prix du facteur j	125
6.7	Coût marginaux	126
6.8	Coût opérationnel total	130
6.9	Coût marginal total décomposé	142
7.1	Rente totale de Hotelling	147
9.1	Calcul du revenu durable	172
9.3	Montant du fonds de développement	173
11.1	Indicateur des avantages comparatifs	223

Liste des figures

0.1	Anamorphose de la carte du monde selon la DCM	14
0.2	Démarche de recherche	17
4.1	Rentes ricardiennes et productivité marginale des mines	80
4.2	Rente économique	83
4.3	Composantes de la rente	84
4.4	Rente de Ricardo et rente de Hotelling	85
5.1	Coût d'opportunité d'une ressource épuisable	105
5.2	Influence de la variation de la demande sur les trajectoires de prix et sur les quantités d'une ressource épuisable	107
5.3	Influence de la variation du taux d'actualisation (taux d'intérêt) sur les trajectoires de prix et sur les quantités d'une ressource épuisable	108
5.4	Lien entre modèles discret et continu	116
9.1	Constitution d'un fonds de développement	172
9.2	Fonctionnement d'un fonds de ressources pétrolières et minières	173

Liste des graphiques

1.1	Évolution des exportations minières et des exportations totales	26
1.2	Investissements miniers par pays d'origine pour la période 1992–2007	27
1.3	Région minières au Pérou	28
1.4	Évolution de l'emploi minier	41
1.5	Évolution des accidents fatals dans le secteur minier	43
2.1	Le syndrome hollandais au Pérou sur la période 1967–2005	47
2.2	Croissance économique et indicateur d'abondance des ressources naturelles selon Sachs et Warner sur la période 1960–1990	52
2.3	Croissance économique et indicateur d'abondance des ressources naturelles selon Sachs et Warner sur la période 1960–2007	52
2.4	Croissance économique péruvienne sur la période 1960–2007	57
5.1	Influence de $\omega = \partial C / \partial Q$ sur le coût d'opportunité	114
6.1	Fonction de coût translog générale et position des entreprises	136
6.2	Fonction de coût translog multi-produit pour les métaux précieux et position des entreprises	138
6.3	Fonction de coût translog multi-produit pour la production polymétallique et position des entreprises	139
6.4	Coûts marginaux totaux $C_{mg} T$ et production minière totale	143
6.5	Coûts marginaux expliqués $C_{mg}(C_1)$ et production de métaux précieux . . .	144
6.6	Coûts marginaux expliqués $C_{mg}(C_1)$ et production polymétallique	145
8.1	Comparaison des estimations de la DCM	158
8.2	Compensation de la DCM	160
9.1	Dividendes du Fonds Permanent de l'Alaska	181
10.1	Revenu durable pour les ressources minières pour un fonds de 25 ans	185

Liste des graphiques

11.2	Cadastre minier du Pérou	220
11.3	Conflits sociaux par départements	221
11.4	Malnutrition chronique par département selon l'OMS	222
11.5	Flux des états financiers de Castrovirreyna Compañia Minera SA	226
11.6	Flux des états financiers de Compañia De Minas Buenaventura SAA	227
11.7	Flux des états financiers de Compañia Minera Atacocha SA	227
11.8	Flux des états financiers de Compañia Minera Milpo SA	228
11.9	Flux des états financiers de Compañia Minera Poderosa SA	228
11.10	Flux des états financiers de Compañia Minera Raura SA	229
11.11	Flux des états financiers de Compañia Minera San Ignacio De Morococha	229
11.12	Flux des états financiers de Compañia Minera Santa Luisa SA	230
11.13	Flux des états financiers de Minera Barrick Misquichilca SA	230
11.14	Flux des états financiers de Minera Yanacocha SRL	231
11.15	Flux des états financiers de Minsur SA	231
11.16	Flux des états financiers de Perubar SA	232
11.17	Flux des états financiers de Shougang Hierro Peru SAA	232
11.18	Flux des états financiers de Sociedad Minera Cerro Verde SAA	233
11.19	Flux des états financiers de Sociedad Minera Corona SA	233
11.20	Flux des états financiers de Sociedad Minera El Brocal SAA	234
11.21	Flux des états financiers de Southern Peru Copper Corporation	234
11.22	Flux des états financiers de Volcan Compañia Minera SA	235
11.23	Coûts opérationnels pour Compañia de Minas Buenaventura SAA en 2008	237
11.24	Coûts opérationnels pour Minera Barrick Misquichilca SA en 2008	238
11.25	Coûts opérationnels pour Minera Yanacocha SRL en 2008	238
11.26	Coûts opérationnels pour Sociedad Minera Cerro Verde SAA en 2008	239
11.27	Coûts opérationnels pour Compañia Minera Raura SA en 2008	240

Liste des tableaux

0.1	Classement des pays selon leur DCM en 2009	13
1.1	Régions minières selon les gisements	29
1.2	Évolution de l'emploi minier par catégorie	42
2.1	Variables et sources de la <i>resource curse</i> au Pérou	54
2.2	Différents modèles de la <i>resource curse</i>	56
3.1	Pays ayant des programmes de comptabilité environnementale	73
3.2	Indicateurs environnementaux macroéconomiques physiques	74
3.3	Indicateurs environnementaux macroéconomiques monétaires basés sur des indicateurs existants	75
3.4	Nouveaux indicateurs environnementaux macroéconomiques monétaires . .	75
4.1	Cas d'évaluation de la dépréciation du capital naturel	89
4.2	Estimation de la dépréciation du capital minier par une analyse macroéco- nomique	94
4.3	Analyse de sensibilité du paramètre de correction λ dans la mesure de la DCM	95
4.4	Estimation des agrégats macroéconomiques miniers ajustés par la DCM . . .	96
6.1	Productions et ventes nettes par entreprise minière (2000–2008)	127
6.2	Description des variables	129
6.3	Valeurs moyennes des variables analysées sur la période 2000–2008	131
6.4	Estimation des paramètres de la fonction de coût translog multi-produit . . .	134
6.5	Parts de facteurs de production	140
6.6	Flexibilités du coût	140
6.7	Élasticités de substitution d'Allen	141
6.8	Élasticités prix de la demande des facteurs de production	141
7.1	Formules et description de l'agrégation de données dans l'estimation de la rente de Hotelling	148

Liste des tableaux

7.2	Évaluation de la Rente totale de Hotelling RTH sur la période 2000–2008 . . .	149
8.1	Comparaison des estimations de la DCM	158
8.2	Compensation de la dépréciation du capital minier par les revenus miniers .	159
8.3	Exemple de délai du <i>canon minero</i> pour la <i>Compañía Minera Antamina SA</i> . .	162
8.4	Comparatif international des principaux systèmes de taxation minière	167
9.1	Relation du secteur pétrolier dans l'économie des pays ayant un fonds, 2004	174
9.2	Principaux aspects dans la conception des fonds pétroliers et miniers	176
9.3	Indicateurs fiscaux pour le fonds de ressources naturelles	179
10.1	Création d'un fonds de ressources minières avec la dépréciation minière de 2008	184
10.2	Durée de vie de l'activité minière au Pérou	186
10.3	Étude de sensibilité pour le calcul d'un fonds minier basé sur la DCM de 2008	187
11.4	Test de causalité de Granger entre ARN et LOGGDP	224
11.5	Test de causalité de Granger entre MINDEPEN2 et LOGGDP	224
11.6	Test de causalité de Granger entre MINDEPEN2 et ARN	224
11.7	Actifs fixes et résultats de l'exercice des entreprises minières pour la période 1994–2004	225
11.8	Coûts opérationnels des entreprises, selon les états financiers disponibles pu- bliquement et selon la SMV	236
11.9	Estimations de la fonction de coût translog avec la production totale et le temps	241
11.10	Estimations de la fonction de coût translog avec le temps	243
11.11	Estimations de la fonction de coût translog pour la production totale	245
11.12	Estimations de la fonction de coût translog avec la production totale et deux produits	247
11.13	Calcul du revenu durable pour un fonds de 25 ans	249

TITRE

La mesure économique de la dépréciation du capital minier au Pérou.

RÉSUMÉ

Le Pérou, extrêmement riche en minerais, connaît depuis les années 2000 une forte croissance économique. À la question de savoir si sa richesse minérale condamne le Pérou à la *malédiction des ressources naturelles*, nous répondons que ce n'est pas le cas à l'heure actuelle, mais nous mettons en évidence une forte dépendance vis-à-vis de l'activité minière. La question centrale est celle du développement durable de l'activité minière. La mesure de la dépréciation du capital minier (DCM) est l'indicateur fondamental pour évaluer la situation. Diverses méthodes d'estimation existent, mais notre analyse microéconomique basée sur la règle de Hotelling fournit une valeur d'environ 7 % du PIB sur la période 2000–2008, soit le double de l'approximation donnée par la Banque Mondiale.

Nous proposons d'intégrer la DCM aux indicateurs macroéconomiques traditionnels, ce qui permet de mettre en évidence la surestimation de la croissance économique. Conformément à la règle de Hartwick, il apparaît clairement que le développement péruvien n'est pas durable ; les revenus miniers ne compensent pas la DCM et ne sont pas réinvestis en faveur du développement du pays. Il faudrait donc taxer les entreprises minières à hauteur de la DCM, et créer un fonds de ressources naturelles. Nos résultats montrent qu'épargner seulement 8 % de la DCM permettrait d'atteindre un *revenu durable* pour les générations futures. La création d'un tel fonds de ressources naturelles aurait également pour avantage de réduire l'instabilité macroéconomique et de promouvoir une meilleure gouvernabilité.

MOTS-CLÉS

Dépréciation du capital minier, règle de Hartwick, redevance minière, rente de Hotelling, comptabilité environnementale, capital naturel, malédiction des ressources naturelles, revenu durable, fonds de ressources naturelles, Pérou.

TITLE

Measuring the Peruvian mineral depletion.

ABSTRACT

Since the 2000s, Peru, a country extremely rich in minerals has experienced strong economic growth. Would Peru be condemned to the resource curse because of its mineral wealth? For now this is not the case; however we point up a strong dependence upon the mining sector. The main question relates to the sustainability of the mining industry. The mineral depletion rate is a fundamental indicator to assess the situation. To calculate this, there are many forecasting methods available ; our microeconomic analysis based on the Hotelling rule provides a value of around 7 % of GDP for the period between 2000 and 2008, which represents double the estimation of the World Bank.

We recommend the mineral depletion be taken into account when calculating traditional macroeconomic indicators; it would highlight the overestimation of economic growth. According to the Hartwick rule, it is clear that Peruvian development is not sustainable; mining revenues do not offset the mineral depletion and are not reinvested in the development of the country. Therefore, the solution should be to tax mining companies at a level equivalent to that of depletion and, with the new income, to create a natural resource fund. Saving only 8 % of the mineral depletion would suffice to generate sustainable rent for futures generations. In addition, the creation of a natural resource fund would reduce macroeconomic instability and enforce better governance.

KEYWORDS

Mineral depletion, Hartwick rule, royalty, Hotelling rent, green accounting, natural capital, resource curse, saving funds income, natural resource funds, Peru.

LABORATOIRE DE RATTACHEMENT

GREThA, UMR CNRS 5113, Université Montesquieu — Bordeaux IV,
Avenue Léon Duguit, 33 608 Pessac Cedex, France.