

# Durabilité de l'activité minière péruvienne : une approche hotellienne

Carmen Cantuarias-Villessuzanne

La théorie de HOTELLING (1931) fournit un cadre à une mesure de la dépréciation du capital minier (DCM) plus fine et plus proche de la complexité de l'activité minière. Dans cet article nous estimons une fonction de coût translog multi-produits pour l'activité minière péruvienne sur la période 2000–2008, en séparant la production des métaux précieux et la production polymétallique, afin d'estimer la rente de Hotelling et d'évaluer la durabilité de l'activité minière au Pérou.

Nous présentons les mesures des parts de facteurs (*cost-shares*) des trois principaux *inputs* de l'activité : le facteur humain par le biais des rémunérations, le facteur énergie par la consommation d'électricité et le facteur capital par l'investissement en capital fixe. Nous estimons également les élasticités de substitutions de facteurs, les flexibilités de coûts et les coûts marginaux. Finalement, les coûts marginaux estimés nous permettent d'estimer la rente de Hotelling par entreprise et d'évaluer la durabilité de l'activité minière.

Nous obtenons une mesure de la DCM d'environ 7% du PIB, soit près du double de l'approximation donnée par la Banque Mondiale. VAN DER PLOEG et POELHEKKE (2010) mettent en lumière différents problèmes dans la méthodologie de la Banque Mondiale, laquelle ne prend pas en compte les particularités de pays riches en ressources naturelles.

Nos résultats 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.

*Mots-clés* : durabilité, rente de Hotelling, fonction de coût translog multi-produit, dépréciation de capital naturel, règle de Hartwick, royalty, capital naturel, activité minière, Pérou.

*Code JEL* : D24, D43, L11, L72, Q32.

# 1 Introduction

Aujourd'hui, parmi les quarante plus grandes sociétés minières mondiales, treize<sup>1</sup> 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.

Le pays prévoit 50 principaux projets en janvier 2014. Ils comprennent des projets d'expansion dans les unités d'exploitation, des projets d'exploration en stade avancé et des projets avec l'étude d'impact environnemental approuvé ou en processus d'évaluation ; cela représente 59 582 millions de US\$. Le Pérou a reçu en 2013 des investissements en exploration<sup>2</sup> pour approximativement 1 075 millions de US\$, soit 5 % de l'investissement mondial en exploration des métaux non ferreux.

Tout d'abord, nous présentons 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. Ensuite, les estimations des coûts marginaux nous permettent d'évaluer la rente de Hotelling. Nous comparons la rente avec les revenus générés par l'activité minière (royalties et impôts sur les revenus). Finalement, 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.

## 2 Fonction de coût pour l'activité minière péruvienne

Pour la modélisation de la fonction de coût, nous utilisons la fonction translogarithmique, connue comme fonction translog (CHRISTENSEN, JORGENSEN 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

---

<sup>1</sup>Les grandes entreprises minières présentes au Pérou sont : Anglo American (Grande Bretagne), Barrick Gold Corporation (Canada), BHP Billiton (Australie / Grande Bretagne), Compañia de Minas Buenaventura (Pérou), Vale (Brésil), Freeport-McMoRan (États-Unis), Gold Fields (Afrique du Sud), Impala Platinum Holdings (Afrique du Sud), Newmont Mining (États-Unis), Rio Tinto (Grande Bretagne / Australie), Teck Resources (Canada), Xstrata (Grande Bretagne), Zijin Mining Group (Chine).

<sup>2</sup>Metals Economics Group, 2013

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.

Cette partie 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.

## 2.1 Fonction de coût translogarithmique multi-produit

Nous utilisons l'approche multi-produit (CAVES, CHRISTENSEN et TRETHERWAY 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.

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<sup>3</sup> ;
3. les entreprises minimisent leurs coûts selon les hypothèses 1 et 2.

La fonction de coût à 2 produits ( $q_{mp}$  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)<sup>4</sup> est spécifiée par l'équation suivante<sup>5</sup>

---

<sup>3</sup>Pour l'estimation des paramètres avec rendements d'échelle variables, voir CHAN et MOUNTAIN (1983) et KIM (1992). Ils présentent une fonction translog avec des parts des facteurs en séparant les rendements d'échelle.

<sup>4</sup>Le 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).

<sup>5</sup>BINSWANGER 1974 ; BOUSSEMART 1989 ; CHRISTENSEN, JORGENSON et LAU 1973 ; REYNÈS et YEDDIR-TAMSAMANI 2009.

ÉQUATION 1. Modèle translog multi-produit

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

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 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*

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 1. Cependant, par le lemme de Samuelson-Shephard<sup>6</sup>, 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.

## 2.2 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 2. Part du facteur  $i$  dans le coût total

$$s_i = \frac{\partial \ln(C)}{\partial \ln(p_i)} = \frac{p_i x_i}{C} = d_i + \sum_j f_{ij} \ln(p_j) + \sum_j g_{ij} \ln(q_j) + k_i t \quad (2)$$

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  $\hat{x}_i = \frac{\partial C(\cdot)}{\partial p_i}$ .

## 2.3 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 :

ÉQUATION 3. Flexibilité du coût

$$r_k = \frac{\partial \ln(C)}{\partial \ln(q_k)} = \frac{p_k q_k}{C} = b_k + \sum_i c_{ki} \ln(q_i) + \sum_j g_{kj} \ln(p_j) + n_k t \quad (3)$$

---

<sup>6</sup>CADORET et al. 2004.

## 2.4 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 4. Élasticité de substitution partielle au sens d'Allen

$$\varepsilon_{ij} = \frac{\left(\frac{\partial^2 C}{\partial p_i \partial p_j}\right)C}{\left(\frac{\partial C}{\partial p_i}\right)\left(\frac{\partial C}{\partial p_j}\right)} \quad (4)$$

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

ÉQUATION 5. Élasticité de substitution

$$\varepsilon_{ij} = \frac{f_{ij} + s_i s_j}{s_i s_j} \quad (5)$$

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

$$\sigma_{ij} = \frac{\partial \ln(x_i)}{\partial \ln(p_j)} = s_j \varepsilon_{ij} \quad \text{pour } i, j = K, L, E \quad (6)$$

## 2.5 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 3. À partir de cette relation, le coût marginal relatif à la production  $k$  est :

ÉQUATION 7. Coût marginaux

$$C_{mg,k} = \frac{\partial C}{\partial q_k} = \left(\frac{1}{r_k}\right)\left(\frac{C}{q_k}\right) \quad (7)$$

## 2.6 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.

### 3 Estimation des paramètres de la fonction de coût

Ce travail a demandé un grand investissement dans la formation de la base de données des informations de coût d'opération, ces données étant stratégiques et très sensibles dans le cadre de l'activité minière. 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 Supérieur 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. La table 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.

TABLE 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 (%)
Castrovirreyna 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			0,2
Minsur SA	1 721,79						39 432,57	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



### 3.1 Description des variables

La table 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.

TABLE 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 $C_{mg}(C_2)$ .
<b>actif</b>	Facteur capital $K$ : actif fixe annuel en milliers de US\$.
<b>tamex</b>	Prix du facteur capital : taux d'intérêt annuel en monnaie étrangère US\$.
<b>emploi</b>	Facteur travail $L$ : Nombre d'employés dans l'entreprise (administratifs et ouvriers).
<b>rem</b>	Rémunérations annuelles totales par entreprise en milliers de US\$.
<b>salaire</b>	Prix du facteur travail : salaire moyen annuel en milliers de US\$
<b>electricite</b>	Facteur énergie $E$ : consommation en électricité en kWh.
<b>prixelect</b>	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 <b>minerais</b> dans les estimations.
$q_{mp}$	Production de métaux précieux (argent et or) en milliers de US\$ et représentée par la variable <b>mp</b> dans les estimations.
<b>prixmp</b>	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 <b>polym</b> dans les estimations.
<b>prixpolym</b>	Prix moyen pondéré de polymétalliques en US\$ par tonne.
<b>pmp</b>	Prix moyen pondéré de la production minière.
<b>sk</b>	Part distributive du facteur capital $K$ ( <i>cost share</i> du capital).
<b>sl</b>	Part distributive du facteur travail $L$ ( <i>cost share</i> du travail).
<b>se</b>	Part distributive du facteur énergie $E$ ( <i>cost share</i> de l'énergie).
<b>rk</b>	Part des revenus de la fonction de coût pour la production totale.
<b>rmp</b>	Part des revenus de la fonction de coût pour la production de métaux précieux.
<b>rpolym</b>	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. 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* sont calculées en fonction

des résultats bruts. CANTUARIAS (2012) 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 8. Coût opérationnel total

$$CT = C_1 + C_2 \quad (8)$$

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 la table 3.

TABLE 3 – Valeurs moyennes des variables analysées sur la période 2000–2008  
(milliers de us\$ 1994)

Enterprise	$C_1$	emploi	salaire	actif	electricite	prixelect
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 la table 2. Sur la période considérée, le **tamex** vaut 11 %.

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

TABLE 3 — Valeurs moyennes des variables analysées sur la période 2000–2008 (suite)  
(milliers de US\$ 1994)

Enterprise	$q_{mp}$	$q_{polym}$	$q$	s1	sk	se	rmp	rpolym	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 la table 2.

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

### 3.2 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 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 la table 4. Nous présentons deux fonctions qui mettent en évidence la production de métaux précieux  $q_{mp}$  et la production polymétallique  $q_{polym}$ .

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. La table 4 synthétise les résultats.

TABLE 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 pré- cieux	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

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

TABLE 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
$f(KL)$	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 produc- tion des métaux précieux	C(10)**	$3,655 \times 10^{-3}$	$3,923 \times 10^{-3}$
$g(E - q_{mp})$	Facteur énergie et produc- tion des métaux précieux	C(11)	$6,320 \times 10^{-3}$	$3,78 \times 10^{-3}$
$g(K - q_{mp})$	Facteur capital et produc- tion des métaux précieux	C(12)	$-4,287 \times 10^{-3}$	$-4,301 \times 10^{-3}$
$g(L - q_{polym})$	Facteur travail et produc- tion polymétallique	C(13)**	$1,700 \times 10^{-3}$	$1,98 \times 10^{-3}$
$g(E - q_{polym})$	Facteur énergie et produc- tion polymétallique	C(14)	$2,670 \times 10^{-3}$	$2,403 \times 10^{-3}$
$g(K - q_{polym})$	Facteur capital et produc- tion polymétallique	C(15)	$-4,362 \times 10^{-3}$	-0,004 378
$g(L - q)$	Facteur travail et produc- tion totale	C(25)**	$7,222 \times 10^{-3}$	
$g(E - q)$	Facteur énergie et produc- tion totale	C(24)	$-6,863 \times 10^{-3}$	
$g(K - q)$	Facteur capital et produc- tion totale	C(23)	$-3,590 \times 10^{-4}$	
$h(\text{dateid})$	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 détermina- tion $\log(C_1)$ : coût		0,784	0,783 761
	Coefficient de détermina- tion <b>sk</b> : <i>cost share</i> capital		0,112	0,112 269
	Coefficient de détermina- tion <b>se</b> : <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

### 3.3 Fonction de coût translog générale

Parmi les diverses estimations d'une fonction de coût, nous travaillons sur les résultats de la fonction LOGMPPOLYM1 de la table 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 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).

### 3.4 Fonction de coût translog multi-produit

De la même façon, nous pouvons exprimer la même fonction LOGMPPOLYM1, pour la production de métaux précieux (graphique 2) et pour la production polymétallique (graphique 3).

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

### 3.5 Estimation des parts de facteurs (*cost shares*)

Dans la table 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 %).

TABLE 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

### 3.6 Estimation de flexibilités du coût

Les flexibilités de coût sont présentées dans la table 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.

TABLE 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

### 3.7 Estimation des élasticités de substitution

La fonction translog nous permet d’estimer les élasticités de substitution partielle (équation 5). La positivité des élasticités montre que les facteurs sont substituables. Des valeurs proches de zéro montrent une certaine complémentarité<sup>7</sup>. Dans nos estimations, nous observons que le plus fort effet de substitution est entre les facteurs énergie et capital.

TABLE 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

### 3.8 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). 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

<sup>7</sup>Pour une discussion plus approfondie entre la substitution et la complémentarité des facteurs de production des ressources naturelles, voir BERNDT et FIELD (1981).



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.

TABLE 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

### 3.9 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 9. Coût marginal total décomposé

$$\begin{aligned} C_{mg}T &= \frac{\partial CT}{\partial q} = C_{mg}(C_1) + C_{mg}(C_2) \\ &= \frac{\partial C_1}{\partial q} + \alpha \frac{C_2}{q} \end{aligned} \quad (9)$$

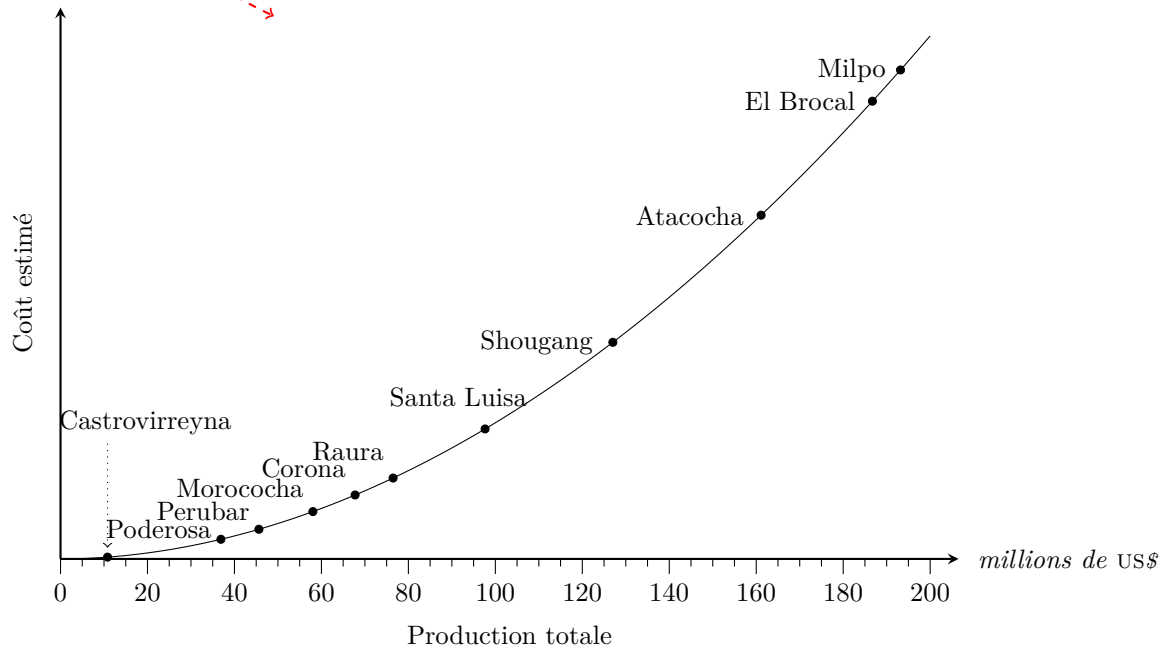
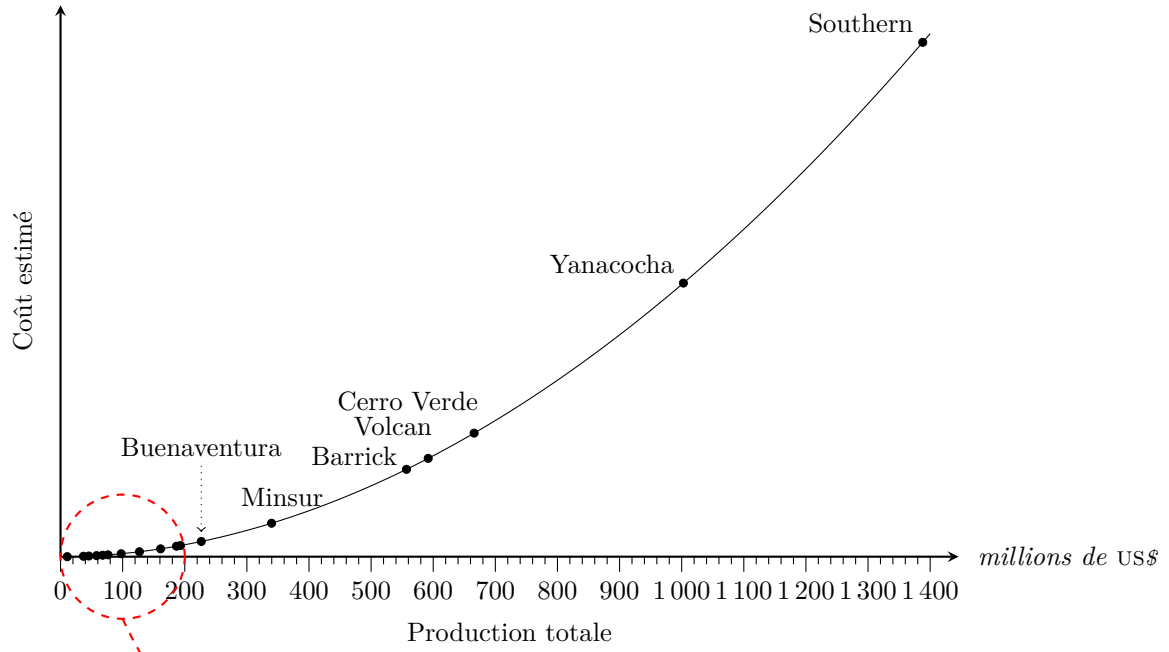
$q$  est la production minière totale. Le coût marginal  $C_{mg}(C_1) = \frac{\partial C_1}{\partial q}$  est estimé par la fonction translog. Le coût marginal de la partie non expliquée  $C_{mg}(C_2) = \alpha \frac{C_2}{q}$  est égal au coût moyen de  $C_2$  multiplié par un facteur de correction  $\alpha$ . Nous prenons  $\alpha = 0,7$ <sup>8</sup>.

Nous présentons les coûts marginaux totaux  $C_{mg}T$  dans le graphique 4. Les coûts marginaux de la production de métaux précieux (graphique 5) et de la production polymétallique (graphique 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 7.

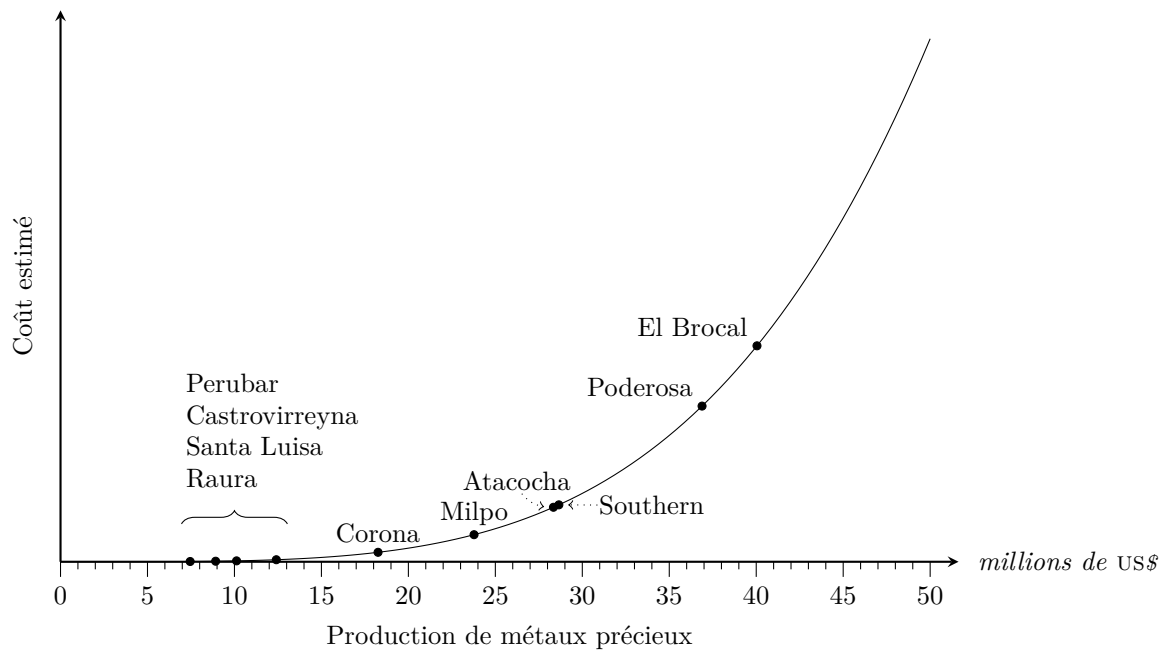
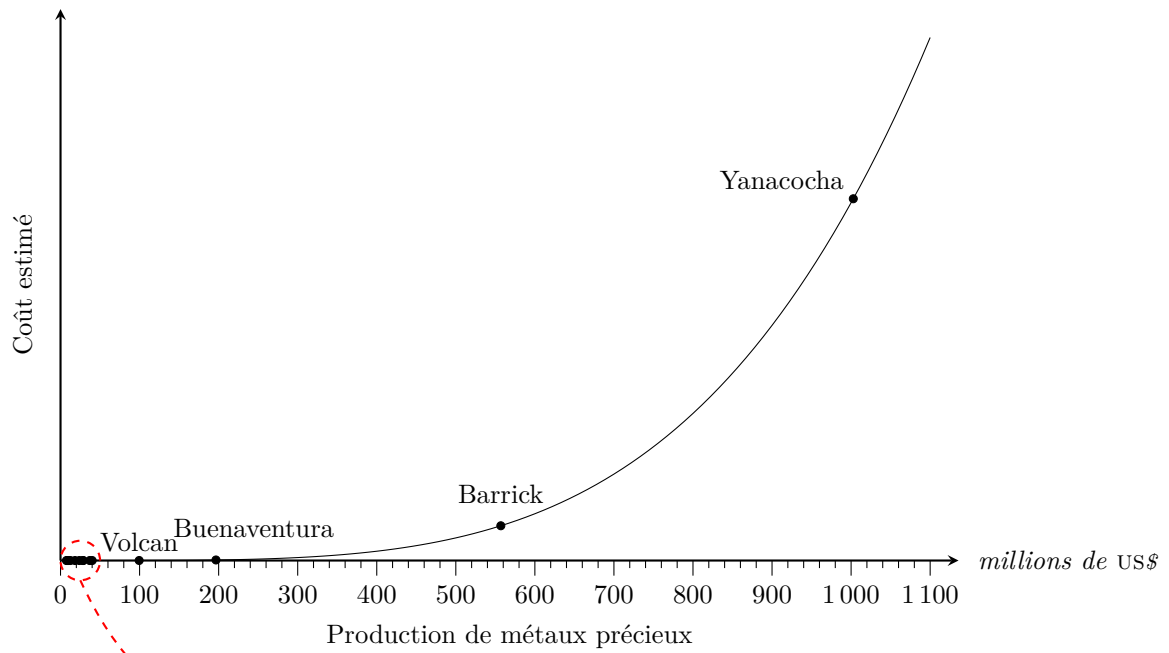
<sup>8</sup>Le choix de cette valeur est lié aux travaux de DAVIS et MOORE (2000) qui repose sur 28 études économétriques et mesure l'écart entre le coût marginal et le coût moyen de l'or dans la règle de Hotelling.

FIGURE 1 – Fonction de coût translog générale et position des entreprises



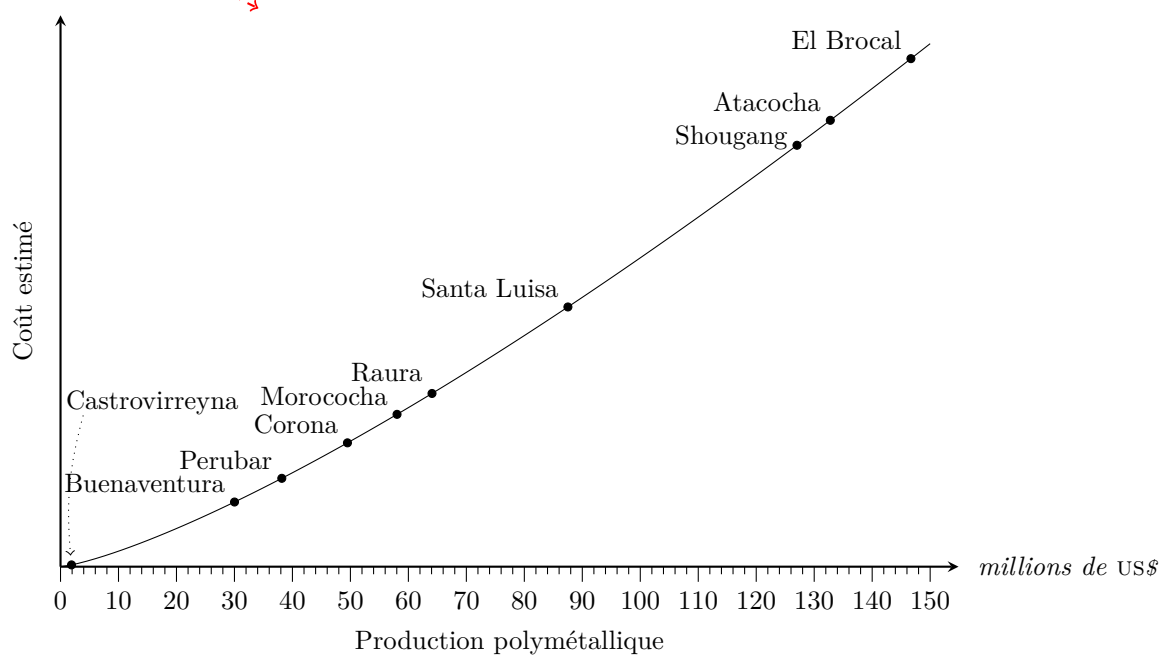
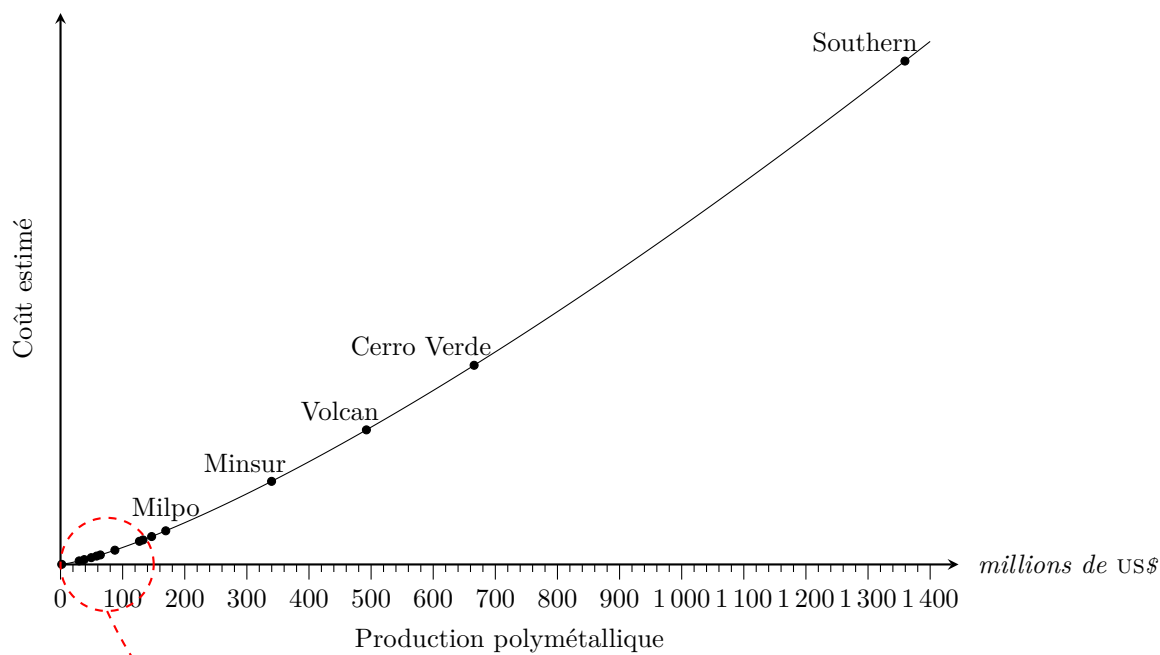
Source : auteur

FIGURE 2 – Fonction de coût translog multi-produit pour les métaux précieux et position des entreprises



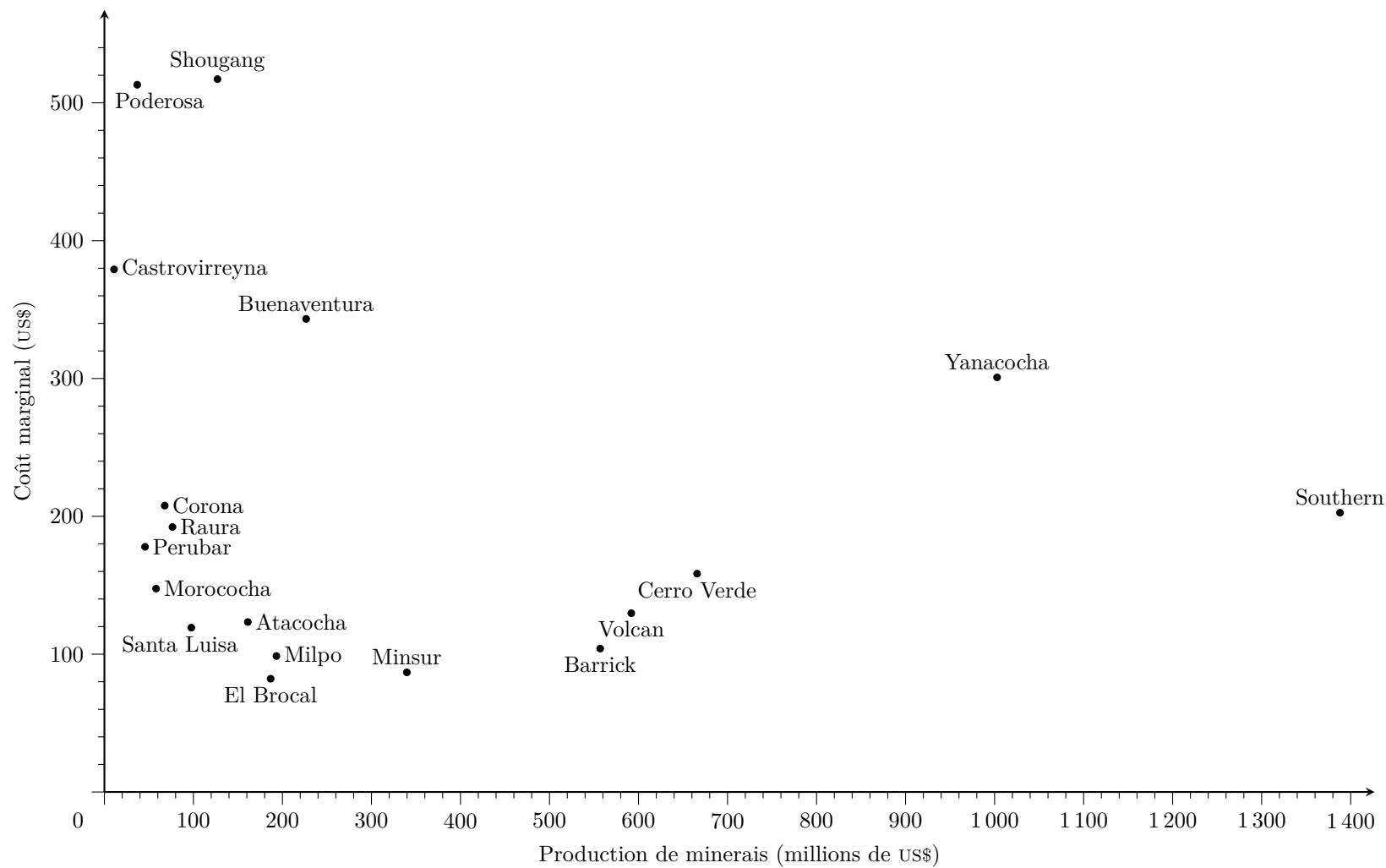
Source : auteur

FIGURE 3 – Fonction de coût translog multi-produit pour la production polymétallique et position des entreprises



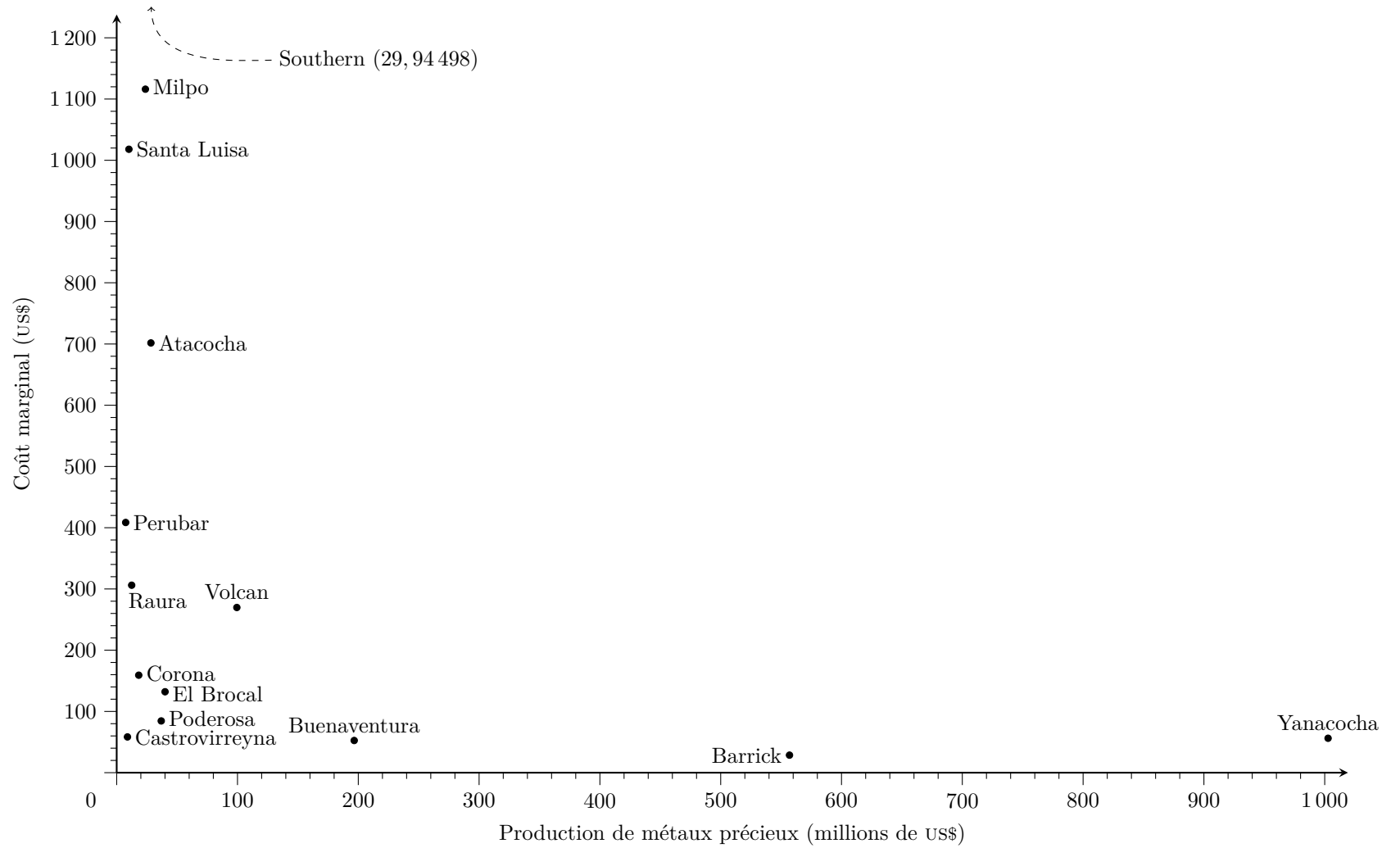
Source : auteur

FIGURE 4 – Coûts marginaux totaux  $C_{mg}T$  et production minière totale



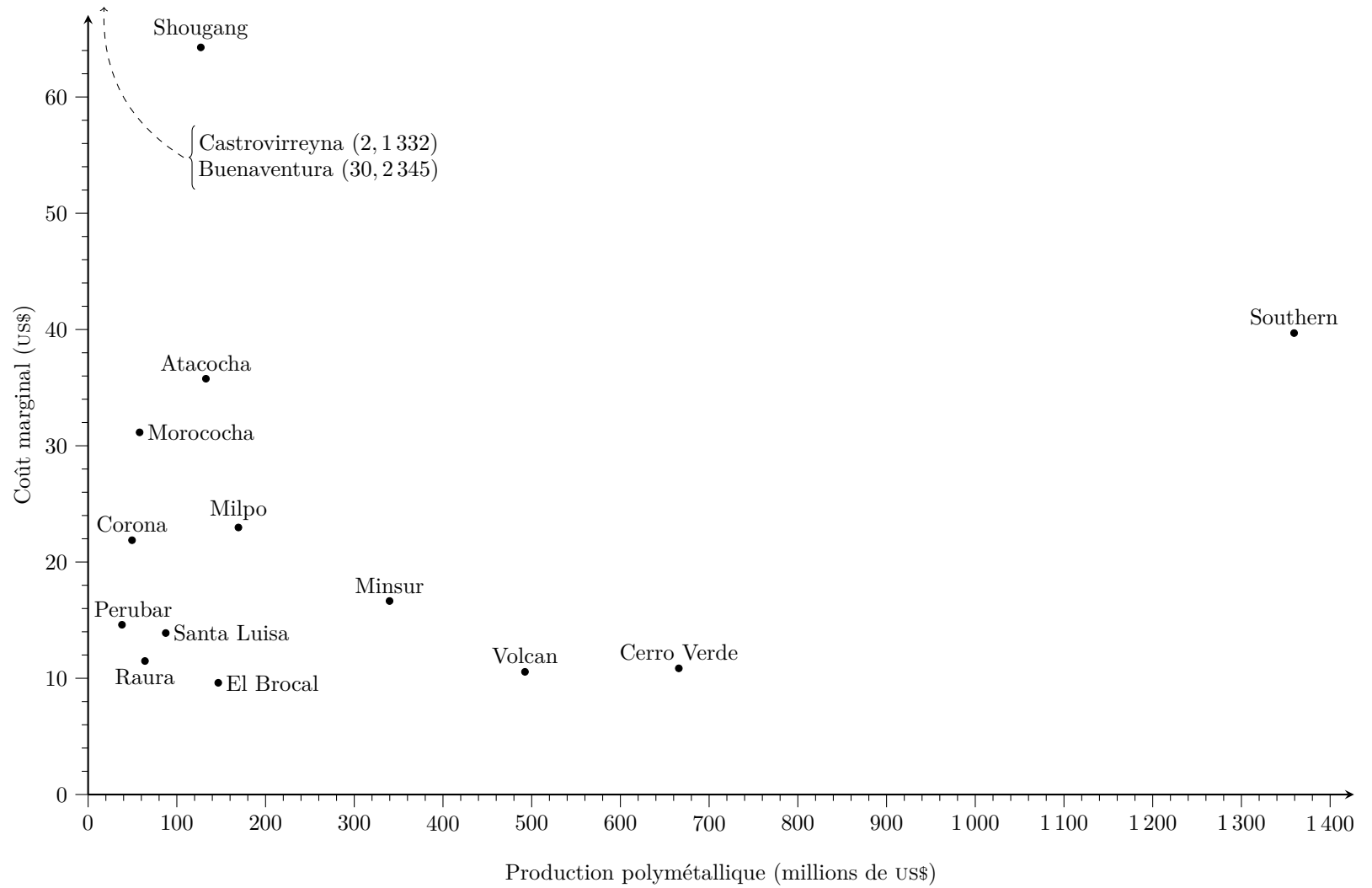
Source : auteur

FIGURE 5 – Coûts marginaux expliqués  $C_{mg}(C_1)$  et production de métaux précieux



Source : auteur

FIGURE 6 – Coûts marginaux expliqués  $C_{mg}(C_1)$  et production polymétallique



## 4 Estimation de la dépréciation du capital minier (DCM)

Nous estimons la dépréciation du capital minier selon la règle de Hotelling<sup>9</sup> en utilisant les résultats de la fonction de coût estimée dans la partie précédente. Pour le calcul de la rente de Hotelling, nous avons agrégé les résultats microéconomiques pour estimer d'abord un coût marginal total et ensuite une rente totale de Hotelling. La table 9 présente les formules de cette agrégation de données.

Les mesures de la rente totale de Hotelling sont présentées dans la table 10. Sur la période 2000–2008, le ratio de la dépréciation du capital minier sur le PIB total vaut en moyenne 7%. Autrement dit, il y a une surévaluation de 7% en moyenne du PIB due à la non prise en compte de la DCM.

TABLE 9 – 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	$(\text{pmp} - C_{mg}(C_1)) \times \frac{q}{\text{pmp}}$	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 $j$	$(\text{pmp}_{ij} - C_{mg}T_{ij}) \times \frac{q_{ij}}{\text{pmp}_{ij}}$	
$DCM = RTH_j$	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

<sup>9</sup> $DCM = RTH = \sum_k [P_k(t) - C_{mg,k}T(E_k)]E_k(t)$ , où  $P(t)$  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 et  $E_k(t)$  est le niveau d'extraction.



TABLE 10 – 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

## 5 Durabilité de l'activité minière péruvienne

Nous évaluons la durabilité de l'activité minière par 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 royalties et la durabilité sont indissociables selon la règle de Hartwick. 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 de l'analyse de Hartwick, nous pouvons affirmer sans équivoque que l'activité minière péruvienne n'est pas durable sur les périodes analysées.

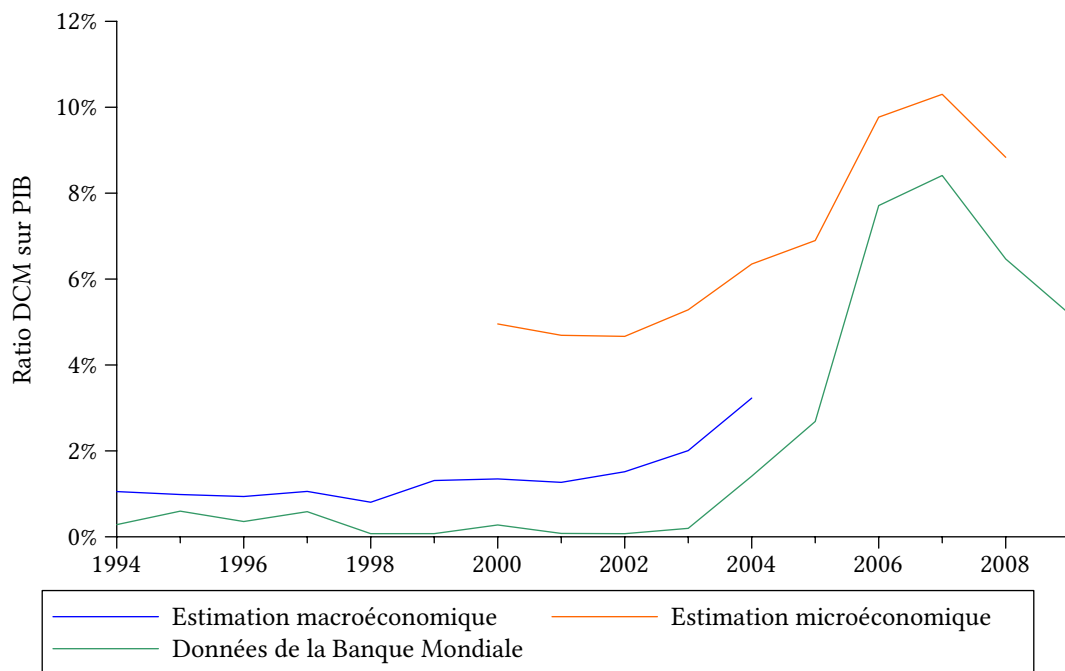
La règle de HARTWICK (1977) repose essentiellement sur la mesure de la DCM. Le graphique 7 présente une comparaison entre les estimations de la DCM : celle de la Banque Mondiale (WORLD BANK 2009), celle issue de notre analyse macroéconomique (CANTUARIAS et POINT 2009) et celle issue de notre analyse microéconomique décrite dans cet article.

Revenons à la règle de HARTWICK (1977). Il est nécessaire de récupérer et de réinvestir une partie de la rente. La table 11 et le graphique 8 montrent le faible niveau de compensation des revenus miniers (royalties et impôts sur le revenu) par rapport à la DCM estimée par l'approche hotellienne. 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.

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.

FIGURE 7 – Comparaison des estimations de la DCM



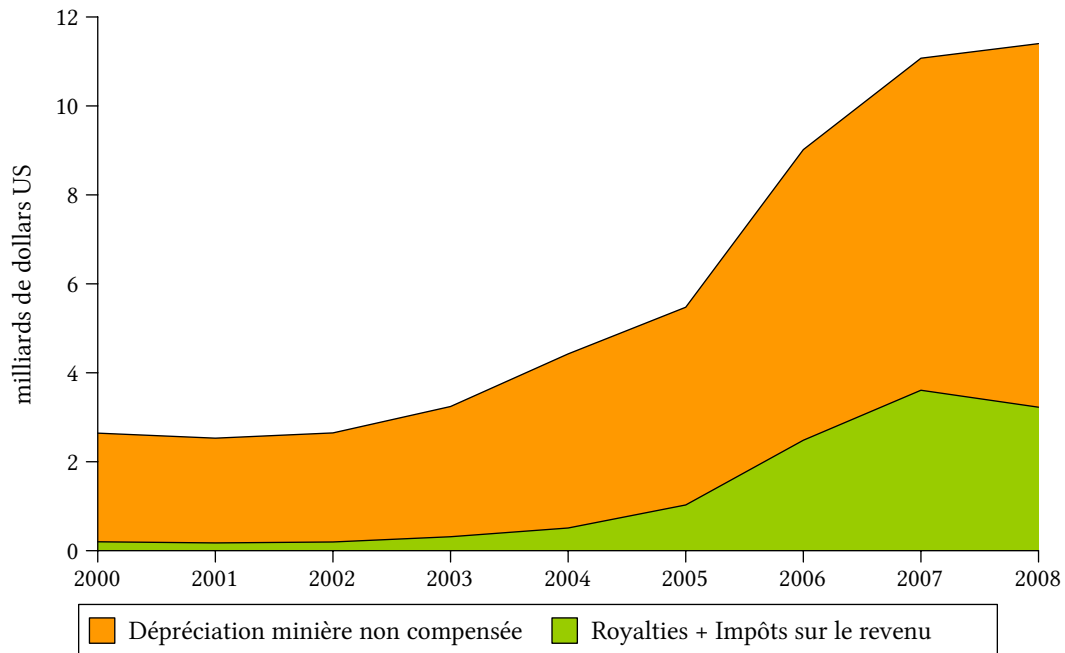
Source : auteur

TABLE 11 – 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

FIGURE 8 – Compensation de la DCM



Source : auteur

## 6 Conclusion

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. Nos résultats montrent qu'avec information limitée sur les entreprises minières, il est possible d'analyser la drabilité d'un secteur reticent au travers d'information.

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 cet article. 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 2004<sup>10</sup>, 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 est 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'UNMSM<sup>11</sup>, le bilan sur les recettes minières est négatif, car la déduction des royalties de l'impôt sur le revenu n'est pas compensée par le nouvel impôt. De plus, la redistribution aux zones minières basée sur l'impôt sur le revenu est réduite. Ainsi, l'assiette fiscale augmente pour le gouvernement central, mais les régions perçoivent moins, et au final les entreprises payent moins que ce qu'elles devaient théoriquement jusqu'alors, quand elles étaient taxées sur les royalties à hauteur de 3% de leurs ventes.

### Le lien entre activité minière et pauvreté

---

<sup>10</sup>Ley de Regalías Mineras, loi n° 28258, publiée le 24 juin 2004.

<sup>11</sup>Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Pérou.

Les villes minières reçoivent des revenus importants des entreprises minières, via le *canon minero*<sup>12</sup>. 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, 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 est la malnutrition infantile : 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 2010, 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. 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.

Nos travaux montrent que les revenus miniers sont loin de compenser la dépréciation du capital minier. 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

---

<sup>12</sup>Le canon minero, créé en 1997 et amendé en 2001, 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.

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.

## 7 Remerciements

Je tiens à remercier Patrick Point, directeur de ma thèse doctorale, ainsi que Janderson Damaceno dos Reis de l’Université Fédérale de Viçosa au Brésil pour leurs conseils et commentaires dans cet article.

## Références

- Allen, R. G. D. (1938). *Mathematical Analysis for Economists*. London: Macmillan.
- Azzalini, P., H. Bloch, and P. Haslehurst (2007). *Australian Coal Mining: Estimating Technical Change and Resource Rents in a Translog Cost Function*. Tech. rep. 3. Australia: School of Economics and Finance Curtin University of Technology.
- Berndt, E. and B. Field (1981). *Modeling and measuring natural resource substitution*. MIT Press.
- Binswanger, H. P. (1974). “A Cost Function Approach to the Measurement of Elasticities of Factor Demand and Elasticities of Substitution”. In: *American Journal of Agricultural Economics* 56.2, pp. 377–386.
- Boussemart, J.-P. (1989). « Changements technologiques et demandes de facteurs de production. Une analyse de la modification des combinaisons productives de l’agriculture française ». In : *Économie rurale* 192.1, p. 75–80.
- Boza, B. (2006). *Canon minero: ¿Caja chica o palanca para el desarrollo?* Inf. téc. Lima, Perú: CAD Ciudadanos al Día.
- Cadoret, I., C. Benjamin, F. Martin, N. Herrard et S. Tanguy (2004). *Économétrie appliquée : Méthodes, Applications, Corrigés*. Ouvertures économiques. Série Balises. De Boeck Université.
- Cantuarias, C. (2012). « La mesure économique de la dépréciation du capital minier au Pérou ». Thèse de doctorat. Université Montesquieu Bordeaux IV.
- Cantuarias, C. et P. Point (2009). « Ce n’est pas le Pérou, c’est la malédiction des ressources naturelles ». In : *Les Suds confrontés au développement soutenable*. Université Montesquieu Bordeaux IV.
- Caves, D. W., L. R. Christensen, and M. W. Tretheway (1980). “Flexible Cost Functions for Multiproduct Firms”. In: *The Review of Economics and Statistics* 62.3, pp. 477–81.

- Chan, M. W. L. and D. C. Mountain (1983). “Economies of Scale and the Tornqvist Discrete Measure of Productivity Growth”. In: *The Review of Economics and Statistics* 65.4, pp. 663–67.
- Christensen, L. R., D. Jorgenson, and L. J. Lau (1973). “Transcendental Logarithmic Production Frontiers”. In: *The Review of Economics and Statistics* 55.1, pp. 28–45.
- Davis, G. A. and D. J. Moore (2000). “Valuing mineral stocks and depletion in green national income accounts”. In: *Environment and Development Economics* 5.01, pp. 109–127.
- De Echave, J. y 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.
- Hartwick, J. M. (1977). “Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources”. In: *American Economic Review* 67.5, pp. 972–74.
- Hicks, J. (1939). *Value and capital*. Oxford: Clarendon.
- Hotelling, H. (1931). “The Economics of Exhaustible Resources”. In: *Journal of Political Economy* 39.2, pp. 137–175.
- Kim, H. Y. (1992). “The Translog Production Function and Variable Returns to Scale”. In: *The Review of Economics and Statistics* 74.3, pp. 546–52.
- Reynès, F. et Y. Yeddir-Tamsamani (2009). *Substituabilité des facteurs et rendements d'échelle sectoriels en France : une estimation par une fonction de coût flexible*. Rapp. tech. 2009-37. Centre de recherche en économie de Sciences Po.
- Solow, R. M. (1957). “Technical Change and the Aggregate Production Function”. In: *The Review of Economics and Statistics* 39.3, pp. 312–320.
- Tzouvelekas, E. (2000). “Approximation Properties and Estimation of the Translog Production Function with Panel Data”. In: *Agricultural Economics Review* 1.1.
- Uzawa, H. (1962). “Production Functions with Constant Elasticities of Substitution”. In: *The Review of Economic Studies* 29.4, pp. 291–299.
- Van der Ploeg, F. and S. Poelhekke (2010). “The pungent smell of ‘red herrings’. Subsoil assets, rents, volatility and the resource curse”. In: *Journal of Environmental Economics and Management* 60.1, pp. 44–55.
- World Bank (2006). “The importance of investment resource rents: a Hartwick rule counterfactual.” In: *Where is the Wealth of Nations?* Washington DC: World Bank. Chap. 4, pp. 49–60.
- (2009). *Adjusted savings: mineral depletion (% of GNI)*.
- Zegarra, E., J. C. Orihuela y M. Paredes (2005). *Minería y economías familiares: explorando impactos y espacios de conflicto*. Inf. téc. Lima, Perú: CIES.