

Les ruptures de barrages dans le monde : un nouveau bilan de Potosi (1626, Bolivie)

*Dam collapses in the world : a new estimation of the Potosi disaster
(1626, Bolivia)*

par Alain Gioda

Maison des Sciences de l'Eau, IRD, BP 64501, F-34394 Montpellier Cedex 5

E-mail : gioda_ird@yahoo.com

U.R. 32 Greatice, IRD, Montpellier

Carlos Serrano

INHIGEO (Commission Internationale d'Histoire des Géosciences), Potosi, Bolivie

Ana Forenza

ABNB (Archives et Bibliothèque Nationales de Bolivie) e.r., Sucre, Bolivie

The Potosi (San Ildefonso) dam collapse on March 15, 1626 was one of the major hydraulic disasters in the world with 4,000 human lives lost, following Jansen (1980) and Schnitter (1994). However, these Authors only consulted a paper by Rudolph, an engineer who in the 1930s rebuilt and restored the Spanish dams (1573-1621) in Potosi. Rudolph's paper (1936) had been written just using the Arzám's draft (1711) about the silver mining capital of the XVIth-XVIIth centuries (the Central Andes, Bolivia previously Peru). With more archival and bibliographic references, we propose a new estimation of the dam disaster with 2,000 lives lost or a little bit more. A catastrophic pollution by mercury (Hg) happened immediately after the dam burst because tons of the toxic chemical element (which was indispensable to silver amalgamation) are flooded into the Potosi canal. Following our estimation, 19 t of mercury were likely swept into Pilcomayo tributaries (Rio de la Plata basin). The mercury contamination was very high (48 mg/l Hg) knowing the dam storage capacity (400,000 m³) and that all the water was spilled in about 2 hours.

I ■ INTRODUCTION

Les catastrophes dues aux ruptures de barrages sont nombreuses dans le tiers-monde : seulement entre 1960 et 1980, 7 accidents ont fait plus de 5 150 victimes [1]. La mise à jour de la reconstitution du désastre de Potosi en 1626, parait dans ce contexte utile à des fins de prévention.

II ■ LES RUPTURES DE BARRAGES CATASTROPHIQUES DANS LE MONDE

Jansen (1980, p. 95) a dressé le *tableau 1*, à l'échelle du Globe, dans lequel la catastrophe de Potosi apparaît parmi les plus graves en pertes humaines (la 1^{re} ou 2^e par sa magnitude) mais aussi l'une des moins connues [1]. Il chiffre le désastre à 4 000 victimes mais, ajoute-t-il, il y en eut probablement un nombre moindre. Toutefois, Jansen (pp. 183-184) ne dit pas exactement pourquoi il porte ce jugement : "Accounts of the number of the human lives lost in this remote mining district

ran as high as 4,000. There is apparently no way to verify such estimates, but the maximum figures may been exaggerated. However, another indicator of the severity of losses was the extensive property damage. Roughly 95 percent of the many mills along the stream were reported to have been destroyed or badly damaged".

A la lumière d'anciens textes publiés et d'une révision des archives, nous essayerons de clarifier certains points de la catastrophe.

III ■ LE TERRAIN D'ÉTUDE : LES ANDES, POTOSI ET SES BARRAGES

Les coordonnées de Potosi dans les Andes centrales sont les suivantes : lat. 19°34'18' S. ; long. 65°34'25' O. En 1626, Potosi faisait partie du Pérou colonial espagnol dont le

Tableau 1. Bilans des pertes humaines, en ordre décroissant, des ruptures de barrage depuis le XVII^e s. [1].

N° nom du barrage	Pays	Année	Pertes humaines
1. Machhu II	Inde	1979	+ de 2 000
2. San Ildefonso (ou Potosi)	Bolivie	1626	Nombre inconnu*
3. Vaiont	Italie	1963	2 600
4. South Fork (ou Johnstown)	USA	1889	2 209
5. Panshet-Khadakwasla	Inde	1961	Nombre inconnu
6. Orós	Brésil	1960	Nombre inconnu**
7. Puentes	Espagne	1802	608
8. Kuala Lumpur	Malaisie	1961	600
8. Gleno	Italie	1923	600
10. Saint Francis	USA	1928	450
11. Malpasset (ou Fréjus)	France	1959	421
11. Hoyokiri	Corée du Sud	1961	250
13. Quebrada La Chapa	Colombie	1963	250
14. Bradfield (ou Dale Dyke)	Angleterre	1864	238
15. El Habra	Algérie	1881	209
16. Sempor	Indonésie	1967	200

* 4 000 victimes mais probablement moins (N. d. A : souligné par nous-même)

** 1 000 victimes mais probablement nombre surestimé

vice-roi siégeait à Lima¹. La création spontanée de la ville (3 980 m d'altitude) est la conséquence directe de la découverte en 1545 du plus grand gisement argentifère et polymétallique (étain, zinc, plomb...) du Monde qui a demandé, pour le traitement du minerai et l'amalgamation de l'argent, une énergie hydraulique considérable. Cela nécessita la construction de plus de 20 barrages dont l'eau servait aussi à l'alimentation urbaine et des habitants [2-3-4]. Les lacs coloniaux sont localisés dans six vallons, situés à l'est de la montagne d'argent, le Cerro Rico (4 870 m). Environ 600 KW étaient installés, d'où un site industriel parmi les plus grands du Monde [3].

Le barrage-poids de San Ildefonso - appelé aussi de Caricari, Kari-kari, du Roi (*del Rey*) ou de Potosi dans certaines références - était le plus proche de la ville de Potosi (2 km) qu'il dominait d'environ 400 m. L'ouvrage de quelques mètres de haut et centaines de mètres de long avait été construit, entre 1574 et 1576, en matériel morainique, très abondant localement et vite compacté, qui céda à la pression des hautes eaux. Les principaux points à retenir sont les suivants :

- volume de la retenue, 400 000 m³ ;
- vidange, 270 000 ou 400 000 m³ (cette dernière valeur est plus vraisemblable) ;
- date et heures de la vidange, le dimanche 15 mars 1626, 13-15 heures ;
- débit moyen pendant les 2 heures de la vidange, 60 m³/s ;
- débit de pointe, 150 m³/s ;

1. La création de la république de Bolivie date de 1825.

- avec une section mouillée de 50 m² et une vitesse d'écoulement de 3 m/s [3]².

IV ■ DES BILANS TRÈS CONTRASTÉS ET LEUR EXPLICATION

Le tableau 2 résume les différentes estimations publiées et inédites de la catastrophe, depuis le XVII^e s., qui sont très variables puisqu'elles vont de 350 à 40 000 victimes !

Il y eut 2 grands types de bilans : les uns donnant une estimation basse ; les autres furent très lourds en pertes humaines. C'est que Potosi était alors une des plus grandes villes de l'Occident (environ 150 000 habitants vers 1610) et peut-être la plus riche (bien plus opulente que Paris et Londres à cette époque), d'où de nombreuses sources écrites. Selon que les uns ou les autres étaient plus ou moins impliqués dans la catastrophe, il y eut des estimations plus ou moins basses.

Parmi tous ceux qui tentèrent de minorer le bilan de la catastrophe, le gouverneur de la ville Bartolomé Astete de Ulloa est le premier [6]. De son temps soit durant toute la première moitié du XVII^e s., il réussit à officialiser cette estimation basse vis-à-vis de Lima. Le résultat fut qu'il continua à exercer son mandat malgré la lourde responsabilité d'avoir négligé les avertissements donnés par le technicien inquiet du remplissage au ras bord de la retenue avant la catastrophe. A la fin de son mandat en 1628, le gouverneur

2. Le barrage fut reconstruit tout de suite après la catastrophe et achevé en 1628 [22]. Il fut rebâti, encore une fois en 1935-36, à la cote 4 409 m par William Rudolph pour alimenter l'industrie minière de l'étain dont l'exploitation remplaça massivement celle de l'argent autour de 1895 [5].

Astete de Ulloa avança, parmi ses mérites, son travail et abnégation lors de la reconstruction de la ville ! [ANB, lettre datée du 24 janvier 1628].

A l'inverse, le petit peuple de Potosi fut durablement touché dans ses biens et dans sa mémoire collective or, au XVII^e s., il donna, à l'Amérique latine, son premier grand écrivain Bartolomé Arzáns (1636 ?-1736) qui rédigea, sous deux formes différentes [9-10], une chronique de sa ville. De ce côté-là, l'estimation des victimes est plus de 10 fois supérieure à celle du gouverneur Astete de Ulloa avec respectivement 4 000 morts [9-16] contre 350 et de nombreux disparus (*sic*) [6]. Dans le détail, « *Los Anales* » [9] d'Arzáns sont aujourd'hui considérés comme le brouillon de « *La Historia...* » [10] dont la rédaction s'échelonna de 1705 à 1736. Toutefois, l'œuvre solitaire d'Arzáns et un style très original firent que son premier travail connu [9] fut considéré comme peu sérieux pendant longtemps, notamment par un autre chroniqueur Cañete dont le guide de Potosi et de sa région est daté de 1787 [11]. Par conséquent, les textes d'Arzáns restèrent inédits et ils faillirent même disparaître³. Toutefois, on observa un revirement à la fin du XIX^e s., sous l'impulsion du courant nationaliste en Amérique latine. Arzáns devint un proto-Bolivien parce que né à Potosi et membre du petit peuple créole (alors que presque toute la noblesse, hors des titres achetés localement appelés « *titres de Castille* », était espagnole et que les charges importantes lui étaient quasiment réservées). Son œuvre « *Los Anales...* » [9-16] a été éditée depuis 1873 plusieurs fois. « *La Historia...* » d'Arzáns est considérée, depuis sa première publication en 1965 [10], comme « *Les Mille et une nuits* » du Nouveau Monde [24].

Selon Jansen en 1980 [1], environ 95 % des nombreux moulins riverains du canal furent déclarés détruits ou très endommagés⁴. Toutefois, c'est textuellement ce qu'écrivait en 1936 l'ingénieur hydraulicien nord-américain Rudolph qui avait pris lui-même cette information chez Arzáns [9-16].

C'est donc une source secondaire comme disent les archivistés. Le fait que Rudolph publia son article « *The lakes of Potosi* » à New York, dans une revue de référence bien diffusée et en anglais [5], n'est pas indifférent ; cela donna très longtemps un poids supplémentaire à ses écrits puisque le texte de Schnitter de 1994 [17] est encore proche de celui de Rudolph, pourtant publié presque 60 ans auparavant. Arzáns dit textuellement que seulement 6 des 132 machines hydrauliques qui fragmentaient le minerai jusqu'à le rendre presque farine, à l'aide de marteaux-pilons hydrauliques, ne furent pas perdues [9-16], une estimation recopiée par Rudolph en 1936, et d'où les 95 % de moulins détruits ou très endommagés, selon Jansen en 1980 [1]. Enfin, le texte de Rudolph fut publié deux fois, en Bolivie et en espagnol, en 1936 et 1983 [15].

Cañete [1787], membre de la haute administration espagnole à Potosi de la fin du XVIII^e s. au début du XIX^e s. et donc ayant un tout autre point de vue que celui d'Arzáns, écrivit que seulement un peu plus de 50 % de ses 122 machi-

nes hydrauliques furent détruites. Il ajouta, par contre, comme Arzáns, que 360 maisons d'Espagnols et 800 habitations d'Indiens (*ranchos*) disparurent [11].

Soulignons que ni Arzáns ni Cañete n'étaient nés lors de la catastrophe de 1626. Toutefois, nous préférons l'estimation de Cañete car de nombreuses usines hydrauliques se trouvaient à Tarapaya, loin du centre de Potosi, à quelques 10 km vers l'aval. Le chroniqueur Vázquez de Espinosa, de passage en ville seulement quelque temps après la catastrophe, cite une lettre du 17 mars 1826 du gouverneur Astete de Ulloa (aujourd'hui perdue) dans laquelle ce dernier estime à 32 les machines hydrauliques détruites, à 34 celles réparables rapidement et où il était écrit clairement que celles de Tarapaya ne furent pas endommagées [6].

Tout fut reconstruit très vite à Potosi. La demande d'argent, essentiellement pour les frappes monétaires était forte (le peso espagnol était alors l'équivalent du dollar)⁵ et elle le resta localement jusque vers 1650. Ensuite, le Mexique pris le pas de façon définitive sur les mines de Potosi et de sa région quand cessa son approvisionnement à bon marché en mercure péruvien. La production annuelle de Potosi, entre 1626 et 1635, se montra presque constante (140 t d'argent) [22]. Une longue série a été récupérée dans ce domaine (1550-1735) [26]. Dans les livres de comptes de la production monétaire et ceux de la livraison du mercure, indispensable à l'amalgamation de l'argent, rien ne dénote le caractère cataclysmique de la rupture du barrage. Les agents économiques se donnèrent beaucoup de mal pour pallier les conséquences de l'inondation de la moitié de la ville. Néanmoins, l'impact de la catastrophe peut se voir en économie, de façon indirecte, par l'évolution du recouvrement de l'impôt sur le mercure (*tableau 3*).

Concernant les pertes humaines, l'estimation faite par les franciscains et qui resta longtemps dans une certaine ombre est la plus crédible. La présence de cet ordre religieux remonte quasiment au premier campement minier de 1545 car la première église des franciscains est connue dès 1548. Lors de la catastrophe, ces religieux étaient déjà dans leur couvent actuel à l'aspect de forteresse dans un tissu urbain qui, toujours à Potosi, fut de qualité médiocre car bâti à la hâte lors des différents booms miniers. L'édifice résista à l'onde de crue bien qu'il fut complètement isolé par les eaux. Le Frère Diego Mendoza, qui vécut au XVII^e s. et résida longtemps au couvent de la Recoleta de Sucre (la ville voisine dont Potosi dépendait administrativement et qui s'appelait à l'époque La Plata, l'argent en espagnol), et le Frère italien Martarelli du couvent de Potosi ont été nos deux sources. L'œuvre du premier fut publiée officiellement à Madrid dès 1664 [8]. Le second bénéficia des archives du couvent et du travail de son prédécesseur pour rédiger son livre au sujet de Potosi et des missions franciscaines et l'éditer en 1890 [13]. Il est important de savoir que Mendoza eut l'imprimatur officielle de l'Espagne et donc que son livre fut publié en 1664 (à une date encore assez proche de celle de la catastrophe), à l'inverse des travaux d'Arzáns et de Cañete dont les premières éditions, largement posthumes, remontent respectivement au XIX^e et au XX^e s. Pour ces deux raisons c'est-à-dire la conservation de la mémoire du couvent franciscain (résistant aux eaux en 1626) et les travaux continus de cet ordre en histoire de Potosi (dont le premier fut déjà publié au XVII^e s. à partir d'archives

3. Le plus important manuscrit fut acheté, au début du XX^e s. chez un bouquiniste de Paris, par un Nord-Américain qui travailla dans les chemins de fer boliviens et qui rassembla une collection de textes au sujet de la Bolivie. Par legs testamentaire, ce manuscrit devint propriété de la Brown University (Providence, Etats-Unis).

4. Moulins et batteries de marteaux-pilons hydrauliques n'étaient pas des synonymes. En effet, un moulin pouvait entraîner une ou deux machines hydrauliques (une batterie de marteaux-pilons) installées soit d'un côté soit de part et d'autre de la grande roue de 5 m de diamètre, montée verticalement.

5. En France, le flux monétaire de l'argent de Potosi, tracé par la présence d'indium (In), dans les frappes monétaires fut surtout sensible de 1575 à 1610 [25].

Tableau 2. Bilans de l'inondation de Potosi de 1626, selon les différentes sources

— plus de 350 morts et de nombreux disparus. Une évaluation faite 2 jours après le drame (ASTETE 1626 in VÁZQUEZ DE ESPINOSA [1628-29]) [6].

— nombreux morts (Antonio de la CALANCHA, 1638) [7].

— plus de 2 000 (Diego de MENDOZA, 1664) [8]

— un peu moins de 4 000 (ARZANS, [1711]) [9-16].

— 2 000 morts et 1 700 disparus « 12 jours après la catastrophe » (ARZANS, [1705-37]) [10].

— 4 000 morts « selon des personnalités qui écrivirent au sujet de cette catastrophe » (ARZANS, [1705-37]) [10].

— plus de 3 000 morts sans compter les disparus (Pedro MENDEZ et Antonio de ACOSTA in ARZANS, [1705-37]) [10].

— 2 800 morts selon les jésuites de Potosi (ARZANS, [1705-37]) [10].

— plus de 2 000 (CAÑETE, [1787]) [11] selon l'estimation du franciscain Diego de MENDOZA (1664) [8].

— plus de 2 000, d'après le franciscain Angélico MARTARELLI (1890) [12] et publié de nouveau en 1936 [13] avec cette fois 12 000 victimes ! C'est une coquille : en espagnol, 2 000 (dos mil) et 12 000 (doce mil) s'écrivent et se prononcent presque de la même façon.

— 40 000 par SUBIETA SAGARNAGA (1936) [14], alors président de la société de géographie et d'histoire de Potosi, qui trouvait la description d'Arzáns si apocalyptique qu'il pensa logiquement que 4 000 morts [9-16] devaient se comprendre 40 000. Selon SAGARNAGA, un zéro pouvait très bien s'être « perdu » dans les travaux de transcription entre le XVIII^e et le XX^e s. ou bien une coquille serait advenue lors de l'impression de l'édition de 1873 [9].

— plus de 4 000 (RUDOLPH, 1936) [15] d'après ARZANS [1711] qui était la seule partie de l'œuvre de cet auteur édité à cette époque, en 1936 sous le nom de MARTINEZ VELA [16].

— 4 000 « mais probablement moins » (JANSEN, 1980) [1]. Cet hydraulicien nord-américain met la catastrophe de Potosi au 2^e rang des plus meurtrières ruptures de barrages dans le Monde depuis le XVII^e s.

— environ 4 000 (SCHNITZER, 1994) [17], hydraulicien suisse qui cite l'estimation de RUDOLPH (1936) [5], elle-même tirée d'ARZANS [1711] [9-16].

Enfin, en Bolivie, les bilans depuis 1980 sont liés implicitement ou explicitement aux sources suivantes :

— ARZANS [1711] [9-16] avec 4 000 victimes (MONTES de OCA, 1983) [18], et plus de 4 000 pour qui le recopia plus ou moins bien (CAMPOS, 1992) [19] ;

— ou MENDOZA (1664) [8] avec plus de 2 000 morts : ESCOBARI (1982-83) [20], SERRANO et PELAEZ (1991-92) [21] et (1995-97) [2], GIODA et SERRANO (1998 et 1999) [3-4], SERRANO et GIODA (1999) [22].

Notons que GISBERT et MESA (1993) [23] donnent 2 000 victimes en se basant sur ARZANS [1705-37] mais en ne tenant pas compte des disparus (1 700) selon cet auteur [10].

Tableau 3. Montant de l'impôt sur le mercure (en pesos) et estimation du mercure distribué et approximation de son tonnage moyen mensuel (Serrano et Gioda [22], modifié). Nous avons estimé pour l'an 1625 que l'impôt, perçu le 30 mai 1626, correspondait à 11 mois de perception à partir de la moyenne de son recouvrement entre 1627 et 1630.

Dates	Montant (pesos)	Mercure		Source [archives]
		Total (tonnes)	Moyenne (tonnes)	
31 juin 1625-30 mai 1626	7 078	81,4	7,4	C.R. 223
1 ^{er} juin 1626-13 mars 1627	10 413	119,7	12,3	C.R. 223
14 mars 1627-3 janvier 1628	15 269	175,6	17,9	C.R. 226
4 janvier 1628-2 janvier 1629	15 025	172,8	14,4	C.R. 232
3 janvier 1629-3 janvier 1630	12 157	139,8	11,0	C.R. 242

de première main), nous préférons l'évaluation de Mendoza au sujet des pertes humaines. Nous écartons, par conséquent, celles du gouverneur Astete de Ulloa de 1626 [6] et d'Arzáns [9-16] du début du XVIII^e s. Nous adoptons une évaluation dite moyenne du bilan en pertes humaines avec autour de 2 000 victimes voire un peu plus.

André Goubet, alors Président du Comité Technique Permanent des Barrages, confortait cette hypothèse par son expertise (comm. pers. de 1998). Certes, il ne connaissait pas Potosi mais il jugeait, sachant le faible volume du lac de San Ildefonso (400 000 m³), qu'il était difficile d'attribuer un

bilan aussi lourd à la catastrophe (4 000 victimes). C'était aussi le jugement de Jansen, en 1980 [1], lorsqu'il écrivait : « 4 000 morts mais probablement moins » (cf. note au bas du tableau 1).

V ■ ÉGALEMENT UNE CATASTROPHE ÉCOLOGIQUE

La quantité de mercure perdue par les industriels et qui fut entraînée dans le canal (creusé et aménagé par les hommes dès 1573 pour distribuer l'eau aux usines) est estimée à 19 t

Tableau 4. Comptabilité du Trésor public, la Real Hacienda (d'après Serrano et Gioda [22]). Le système décimal et métrique n'existant pas et voulant simplifier le tableau, nous sommes restés au niveau des unités supérieures, négligeant dans les poids les livres et les onces et dans la monnaie les subdivisions des pesos. D'où des totaux qui ne tombent pas parfaitement justes par rapport à ceux de la comptabilité espagnole qui étaient respectivement de 40 487 « quintaux », de 3 604 928 pesos de dette et 1 758 680 pesos perçus.

Année	Mercure distribué (« quintaux »)	Dette (pesos)	Perception (pesos)
1617		793 524	
1618	4 402	308 155	178 633
1619	4 122	288 601	232 712
1620	4 322	302 540	178 271
1621	4 545	318 150	227 972
1622	4 754	332 822	202 491
1623	4 055	283 725	189 105
1624	4 179	292 587	198 172
1625	5 185	362 984	206 945
1626	4 921	321 838	144 375
Total	40 485	3 604 926	1 758 676

[22]. Cette estimation s'est faite par la différence entre le mercure distribué en moyenne entre 1617 et 1626 et le surplus de 1626 à partir de la comptabilité du Trésor, la Real Hacienda (tableau 4)⁶.

Le mercure venait en grande majorité de Huancavelica au Pérou et c'était un produit local, pas cher, tout en étant indispensable à l'amalgamation. Il passa directement dans les 400 000 m³ d'eau issus de la retenue soit une concentration de 48 mg/l Hg. S'y ajouta, lors de la catastrophe de 1626, la forte pollution chimique due à la mobilisation des résidus de l'amalgamation : boues et gangues traditionnellement amassées en terrils le long du canal.

Bien plus récemment en 1996 à Porco qui est un autre très ancien site minier proche de Potosi et situé sur le même bassin du Pilcomayo⁷, se produisit une autre catastrophe écologique par rupture de barrage. Ce dernier était fait de scories minières fines et il retenait des boues du traitement du minerai par flottation (tailings) d'un grand gisement polymétallique (argent, étain, zinc et un peu de plomb). Le barrage céda et mit en circulation 235 000 t de boues dans la Yana

Machi [28]. Nous pensons même que ce furent peut-être 300 000 t. Les boues étaient le produit de la flottation ; l'amalgamation a été abandonnée en Bolivie depuis la fin du XIX^e s. Ce procédé utilise des réactifs de flottation (xanthates, ditiophosphates...) et de cyanuration (cyanure alcalin...).

VI ■ CONCLUSION

Il n'aura peut-être jamais de certitude absolue sur les différents bilans de la catastrophe de 1626 ; des pièces essentielles ont été perdues depuis les 4 siècles qui nous séparent de cet accident ou même elles ont été détruites volontairement. Le puzzle de sa reconstruction bénéficie toutefois de l'importance de Potosi dans l'histoire minière et économique de l'Amérique Latine.

Nous estimons à 2 000 morts les pertes humaines, voire un peu plus, et à une bonne soixantaine les machines hydrauliques détruites et fortement endommagées sur un total d'environ 125. Enfin, nous proposons un ordre de magnitude pour la catastrophe chimique avec une pollution de 19 t de mercure entraînés par l'eau du barrage après sa rupture (400 000 m³) soit 48 mg/l Hg.

Hommage : Ce travail est dédié à la mémoire d'André Goubet, ancien Président du Comité Technique Permanent des Barrages au Ministère de l'Industrie à Paris qui fut son inspirateur en nous donnant des références mondiales très utiles dès 1997-98.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] JANSEN R.A. (1980). — *Dams and public safety*. Water and Power Resources Service, U.S. Department of the Interior, Washington (USA).
- [2] SERRANO C., PELÁEZ J. (1995-1997). — Potosí y sus lagunas. *Revista de Investigaciones Históricas* (Potosí), pp. 14-130.

6. De 1617 à 1626, la quantité de mercure taxé fut d'environ 40 490 « quintaux » (2,17 « quintaux » = 100 kg), une valeur calculée à partir des dettes contractées auprès du Trésor par les mineurs qui préféraient systématiquement les payer le plus tard possible pour faire tourner leur fonds de caisse. Ces 9 années, la moyenne annuelle de mercure fut de l'ordre de 4 500 « quintaux », une valeur très proche de celle de la période 1617-1625 que, en toute rigueur, il aurait fallu prendre. Sachant que 4 921 « quintaux » furent taxés en 1626, et que l'on fait la différence avec cette moyenne, on obtient 421 « quintaux » qui, multipliés par 46 pour passer au kilogramme, donnent 19 366 d'où les 19 t du surplus de 1626 pour lequel notre hypothèse est qu'il correspondit au mercure perdu lors de la catastrophe.

Au début du XVII^e s., il fallait énormément de mercure pour amalgamer l'argent et la pollution diffuse était donc grande. Ainsi, de 1617 à 1626, on utilisa à Potosi en moyenne 207 t/an de mercure et donc 570 kg/jour [22]. Rappelons que, dans les années 1990, la consommation en mercure de toute l'Europe était de 400 à 450 t/an. Le long du Rio Tinto en Espagne du Sud et après 4 500 années d'exploitation minière, 10 à 70 t de mercure résiduel subsistent dans l'environnement (F. Elbaz-Poulichet, comm. pers.) [27].

7. Le Pilcomayo est un affluent du Paraguay qui forme avec le Parana le cours supérieur du Rio de La Plata (la rivière d'argent) dont l'estuaire commun avec l'Uruguay débouche dans l'Atlantique entre Buenos Aires et Montevideo.

- [3] GIODA A., SERRANO C. (1998). — L'eau et l'argent à Potosí (ancien Pérou puis Bolivie). *La Houille Blanche* (Paris), n° 7, pp. 65-75.
- [4] GIODA A., SERRANO C. (1999). — L'argent de l'ancien Pérou. *Pour la Science* (Paris), n° 259, pp. 42-48 et édition en espagnol, La plata del Perú. *Investigación y Ciencia* (Barcelona), 2000, n° 286, pp. 56-61.
- [5] RUDOLPH W.E. (1936). — The lakes of Potosí. *The Geographical Review* (New York), vol. 26, n° 4, pp. 529-554.
- [6] VÁZQUEZ DE ESPINOSA, A. (1628-29). — *Compendio y descripción de las Indias occidentales*. (Ch. Upson Clark, éd.), Smithsonian Miscellaneous Collections vol. 108, Smithsonian Institution, Washington (USA), 1948.
- [7] CALANCHA, FRAY A. DE LA (1638). — *Crónica moralizada del Orden de San Agustín en el Perú*. Pedro Lacavallería, Barcelona, et 2^e édition (Ignacio Prado Pastor, éd.), 6 tomes, Universidad San Marcos, Lima, 1974-81.
- [8] MENDOZA, FRAY D. DE (1664). — *Crónica de la provincia de San Antonio de los Charcas del Orden de Nro. Seraphico P. S. Francisco de las Indias Occidentales, Reynes del Perú*. sans mention d'éditeur, Madrid et 2^e édition, facsimilé, Don Bosco, La Paz, 1976.
- [9] ARZÁNS B. (1711). — *Anales de la Villa Imperial de Potosí*. (A. Crespo, éd.), Improprement daté de 1771, Ministerio de Educación y Cultura, La Paz, 1970, texte identique à la 1^{re} édition faite à Paris en 1873 par Vicente Ballivián y Roxas.
- [10] ARZÁNS B. (1705-1737). — *Historia de la Villa Imperial de Potosí*. (L. Hanke & G. Mendoza, éds.), 3 t., Brown University, Providence (USA), 1965.
- [11] CAÑETE P.V. (1787). — *Guía histórica, geográfica, física, civil y legal del gobierno e intendencia de la provincia de Potosí*. (A. Alba, éd.), Editorial Potosí, Potosí, 1952.
- [12] MARTARELLI FRAY A. (1890). — *El colegio franciscano de Potosí y sus misiones. Noticias históricas*. Tipografía Italiana, Potosí.
- [13] MARTARELLI FRAY A. (1936). — Destrucción de Potosí por el desborde de las lagunas. *Boletín de la Sociedad Geográfica « Potosí »*, n° 7, pp. 37-41.
- [14] SUBIETA SAGARNAGA L. (1936). — Hidrografía del departamento de Potosí. *Boletín de la Sociedad Geográfica « Potosí »*, n° 7, pp. 1-9.
- [15] RUDOLPH W.E. (1983). — Las lagunas de Potosí. *Boletín de la Sociedad Geográfica « Potosí »*, n° 7, 1936, pp. 10-29 et 2^e éd., Colección de folletos bolivianos de « Hoy », (G. Ovando Sanz, éd.), La Paz, 24 abril, n° 21, pp. 1-16.
- [16] ARZÁNS B. (alias MARTINEZ VELA) (1711). — Reventazón de las lagunas. *Boletín de la Sociedad Geográfica « Potosí »*, n° 7, 1936, pp. 30-36 (fragment de [9]).
- [17] SCHNITZER N.J. (1994). — *A history of dams. The useful pyramids*. A.A. Balkema, Rotterdam & Brookfield.
- [18] MONTES DE OCA I. (1983). — *Sequía en Potosí*. EMUSA, Potosí.
- [19] CAMPOS I. (1992). — *Proyecto sanitario « Río de la Ribera »*. Mayo, 39 p., A.APOS, Potosí.
- [20] ESCOBARI L. (1982-83). — Las lagunas de Potosí. *Arte y Arqueología* (La Paz), n° 8-9, pp. 177-184.
- [21] SERRANO C., PELÁEZ P. (1991-92). — Potosí y su sistema hidráulico. *Boletín de la Sociedad Geográfica et de Historia « Potosí »*, n° 14-15, pp. 44-52 & 75-93.
- [22] SERRANO C., GIODA A. (1999). — Apuntes relacionados con la catástrofe hidráulica de 1626 en Potosí. *Revista de la Casa de la Libertad* (Sucre), Año 3, n° 6, pp. 77-123.
- [23] GISBERT T., MESA J. DE (1993). — Potosí y su sistema hidráulico minero. In : *Obras hidráulicas en América colonial*. Ministerio de Obras Públicas & CEHOPU, Madrid, pp. 151-164.
- [24] USLAR PIETRI A. (1995). — Del cerro de plata a los caminos extraviados. In : *El Cerro Rico de Potosí*, (W. Mendieta, éd.), Sociedad Geográfica y de Historia « Potosí », Potosí, pp. 215-229.
- [25] LE ROY LADURIE E. et al. (1990). — Sur les traces de l'argent de Potosí. *Annales ESC* (Paris), n° 2, pp. 483-505.
- [26] BAKEWELL P.J. (1988). — La producción registrada de plata en Potosí 1550-1735. *Historia y Cultura* (La Paz), n° 13, pp. 3-36.
- [27] LEBLANC M., MORALES J.A., BORREGO J., ELBAZ-POULICHET F. (2000). — 4500-year-old mining pollution in southwestern Spain : long-term implications for modern mining pollution. *Economic Geology*, vol. 95, pp. 655-662.
- [28] GARCIA-GUINEA J., MARTÍNEZ-FRÍAS J., HARFY M. (1998). — La rupture du barrage de retenue d'Aznalcollar et ses conséquences écologiques sur le Sud de l'Espagne. *Nature & Ressources* (Paris), vol. 34, n° 4, pp. 45-47.

Références d'archives

Archivo Nacional de Bolivia (ANB). — *Archivo y Biblioteca Nacionales de Bolivia, Sucre*

Colección RÜCK. — « *Actas de los Acuerdos del Cabildo de Potosí* », vol. XVIII (21 mars 1626-10 mai 1628), ff. 2, 2v, 3, 3v, 6, 6v, 19, 19v, 23, 23v, 34v, 35, 35v, 53v, 54v, 115 et jusqu'à 289v.

Colección RÜCK. — « *Provisión librada para el marqués de Guadalcázar, virrey del Perú, para que el corregidor de Potosí reparta a los dueños de los ingenios...* », n°7, ff. 71 et 73, 6 mai 1626.

LAACh. — « *Información de méritos del corregidor Bartolomé Astete de Ulloa ante de Audiencia de Charcas* », t. 13, f. 121, 24 janvier 1628.

Archivo de la Casa de Moneda, Potosí Cajas Reales (C.R.) de Potosí n° 223, 226, 232, 242.