

## Les ressources du sous-sol bolivien : mirage ou véritable El Dorado ?

**Eric PIRARD**

*Professeur à l'Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées  
GeMMe – Géorressources Minérales*

### *Des ressources bien mal connues.*

Les ressources minérales font partie, au même titre que l'eau, les combustibles fossiles, les forêts primaires et l'air que nous respirons des ressources naturelles. Tout comme l'eau, elles sont très inégalement réparties au sein de la croûte terrestre et contrairement aux ressources végétales, elles ne peuvent être cultivées. « *If you can't grow it, you'll have to dig it* » dit un slogan largement répandu dans le monde minier pour faire accepter cette activité par tous ceux qui en consomment les fruits, souvent sans le savoir.

Les processus géologiques qui ont présidé à la mise en place des ressources minérales sont éminemment variables et souvent encore mal compris. Si l'on peut raisonnablement prédire le type de ressources que l'on pourrait trouver dans une région donnée, en revanche il n'y a pas d'autre moyen que son exploration systématique par des géologues de terrain pour identifier réellement les gisements. Ceux-ci font appel à des techniques d'analyses leur révélant des anomalies géochimiques ou géophysiques situées en surface ou, au mieux, dans les premières centaines de mètres du sous-sol. Sauf exception, les gisements profonds que nous exploitons aujourd'hui sont tous affleurants dans les trois-cent premiers mètres de la croûte terrestre. Parmi les gisements connus, il en est qui ont été engendrés par des phénomènes magmatiques et tectoniques datant de plus de deux milliards d'années, tandis que d'autres sont le fruit de mécanismes de concentration des métaux qui sont liés aux conditions climatiques des derniers milliers d'années. On citera, à titre d'illustration, la région magmatique du Bushveld à proximité de Pretoria qui concentre plus de la moitié des réserves mondiales connues de platine (Cawthorn, 1999) et d'autre part le sol latéritique d'une grande partie de la Nouvelle-Calédonie qui renferme près de 10 % des réserves mondiales de nickel (USGS, 2011).

Très tôt dans l'histoire de l'humanité, il est apparu qu'il n'était pas judicieux d'attribuer la jouissance des ressources du sous-sol au propriétaire terrien, mais qu'il fallait réserver ce privilège au gestionnaire du bien public. Ainsi, tous les codes miniers inspirés de l'époque napoléonienne prévoient un régime particulier de permis d'exploration et d'exploitation du sous-sol assorti d'une fiscalité spécifique destinée : à stimuler la reconnaissance géologique; à favoriser le développement d'infrastructures fort onéreuses mais aussi à assurer des retombées importantes pour l'état propriétaire. Ces dernières années, la majorité des codes miniers modernes ont été revus pour ajouter des clauses explicites concernant la responsabilité environnementale (obligation de prise en compte de la réhabilitation des sites après l'exploitation) et le bénéfice des populations indigènes (implication des communautés locales, respect des traditions culturelles, réalisation d'infrastructures,...). Sans pour autant idéaliser la situation, il faut reconnaître que des progrès importants ont été réalisés dans les pays du Sud, stimulés entre autres par des initiatives telles que l'EITI (Extractive Industries Transparency Initiative : <http://eiti.org/>).

Dans une perspective de mondialisation, il est malheureux de dire qu'un pays « possède » des ressources minérales car une vision planétaire de la question nous oblige à reconsidérer la problématique de l'exploitation des ressources minérales au bénéfice de toutes les populations (au Nord comme au Sud) et de toutes les générations (actuelles comme futures). De ce point de vue, il serait temps que l'on réfléchisse à une agence internationale des ressources minérales qui aurait pour mission d'établir une véritable solidarité de l'accès aux ressources.

## *Une Bolivie assise sur un trône en or ?*

Sous l'angle strictement géologique, la Bolivie fait partie des pays dont le sous-sol renferme une très grande diversité de gisements. Elle est traversée par d'importantes structures fracturées et plissées qui forment la Cordillère des Andes actuelle. Mais, l'imposant relief aujourd'hui perceptible n'est que la séquelle de mouvements tectoniques relativement récents initiés il y a plus de 200 cent millions d'années. La partie orientale de la Bolivie est quant à elle recouverte de sédiments liés au bassin de l'Amazonie mais laisse apparaître à la frontière brésilienne un socle de roches très anciennes et encore peu explorées (Litherland, 1987).

L'expression populaire qui veut que la Bolivie soit dans la situation « *d'un mendiant assis sur un trône en or* » n'est pas venue des géologues. Elle a été forgée par des siècles d'avidité géopolitique bien plus que par une exploration rigoureuse et circonstanciée du sous-sol. Est-il besoin de rappeler ici que la plus belle découverte des conquistadors espagnols en abordant le Nouveau Monde, fut le fameux Cerro Rico de Potosi et tout un cortège de gisements d'argent (Prieto, 1977). Cette découverte devait bouleverser l'économie européenne, mais elle n'assura jamais l'accès au développement des populations indigènes qui furent le plus souvent réduites au travail forcé dans les mines (la mita). Si la jeune Bolivie indépendante de 1825 était deux fois plus vaste que celle d'aujourd'hui, c'est que des guerres successives, toujours motivées par l'accès aux ressources, ont marqué son territoire. En 1879 le Pérou et le Chili sont aux prises pour le contrôle des gisements stratégiques de nitrate (engrais) sur la côte Pacifique. Il en résultera pour la Bolivie : la perte de l'accès à la mer... et la perte, insoupçonnée alors, d'immenses gisements de cuivre qui ont aujourd'hui pour nom Chuquicamata, Collahuasi, etc... et contribuent largement à la puissance économique du Chili. En 1938, c'est une bonne part du Chaco qui sera perdue au bénéfice cette fois du Paraguay... ou plus exactement des compagnies pétrolières qui le soutenaient. Marquée par ce sentiment permanent d'être dépossédée de ses ressources, la Bolivie devait encore subir la richesse provocante des barons de l'étain dans la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle et dans la foulée une importante contribution à l'effort de guerre américain de 40-45 sous forme de réserves en étain qui allaient plus tard contribuer à une dévalorisation catastrophique de ce métal et à la nationalisation dès 1952 de toute l'activité minière sous l'égide de la COMIBOL. Dans la dernière moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, l'industrie minière nationale déclina faute d'un réinvestissement judicieux dans les structures de production mais aussi en raison du déclin important de l'étain sur le marché mondial.

Que ce soit à tort ou parfois à raison, une véritable suspicion pour les projets d'exploration à capitaux étrangers s'est installée en Bolivie durant cette période. Le soulèvement populaire qui a chassé FMC-Lithco du Salar d'Uyuni dès 1991 ou encore les difficultés de mise en route du gisement d'argent de San Cristobal (aujourd'hui 100% Sumitomo) au début des années 2000 sont assez emblématiques à cet égard. En conséquence de tout cela, les ressources minérales du sous-sol bolivien sont aujourd'hui sous-explorées et ne sont pas correctement évaluées au regard des normes internationales qui établissent des définitions strictes relatives aux notions de réserves prouvées, probables et possibles (voir le Joint Ore Reserves Committee <http://www.jorc.org/>). Le tableau 1 reprend les réserves actuellement connues et l'importance relative de la Bolivie dans le paysage mondial.

L'autre conséquence immédiate des soubresauts politiques a évidemment été que la Bolivie est rarement considérée comme une terre favorable pour des investissements de très long terme comme ceux qui prévalent dans le secteur minier. Sans surprise, le Fraser Institute a régulièrement classé la Bolivie parmi les destinations les plus risquées pour l'investissement privé dans le secteur minier (<http://www.fraserinstitute.org/research-news/display.aspx?id=17302> en 2009 : 66<sup>e</sup> sur 72 ; en 2010 : 76<sup>e</sup> sur 79) alors que le Chili se classe depuis des années parmi les destinations les plus favorables.

Il faut bien évidemment garder à l'esprit que le classement du Fraser Institute est réalisé sur base d'une enquête auprès des seules compagnies minières et qu'il ne prend nullement en compte le point de vue des gouvernements ou des populations vivant dans les régions minières.

Loin de la politique suivie par ses voisins, la Bolivie d'Evo Morales s'enorgueillit de chercher une voie originale susceptible de maximiser la valeur ajoutée sur le territoire national en évitant

l'exportation du minerai brut. Le porte-drapeau emblématique de cette politique est assurément le projet de valorisation du lithium dans le Salar d'Uyuni (<http://www.evaporiticosbolivia.org>).

COMMODITY	RESERVES	WORLD RANKING	WORLD PERCENTAGE
Antimony (x10 <sup>3</sup> tons)	310	4	15
Bismuth(x10 <sup>3</sup> tons)	10	3	3
Gold (tons)	28	NA	(2)
Lead(x10 <sup>3</sup> tons)	1.600	8	2
Silver (tons)	22.000	8	5,5
Tin (x10 <sup>3</sup> tons)	400	6	7
Tungsten(x10 <sup>3</sup> tons)	53	5	2
Zinc(x10 <sup>3</sup> tons)	6.000	9	3

Tableau 1. Importance des principales réserves minières de Bolivie (données USGS 2010)

Ceci étant, un certain nombre de contrats importants ont été signés avec des compagnies minières étrangères et les cours très favorables de nombreux métaux, ont néanmoins stimulé une relance significative de l'activité minière. Celle-ci a contribué en 2009 à près de 8% du produit intérieur brut contre 5% pour le secteur des hydrocarbures. Le zinc extrait principalement des gisements de San Cristobal (Sumitomo), de Bolivar et d'une série d'autres dans la région d'Oruro (Sinchi Wayra - Glencore) a été le principal métal produit tant en valeur qu'en tonnage, devant l'argent et l'étain. Ces derniers ont fait l'objet de projets d'investissements intéressants comme la ré-exploitation du Cerro Rico de Potosi par la société Minera Manquiri (Cœur d'Alene Mines Corp.) ce qui devrait contribuer à diminuer le passif environnemental laissé par des siècles de négligence et d'exploitation anarchique. Un nouveau four de fusion de l'étain va également être installé cet automne à Vinto (Oruro) par la société australienne Ausmelt, ce qui devrait augmenter de plus de 50% la production de ce métal.

Quant aux projets dans la province de Santa Cruz, ils ont été marqués par la reprise d'activités de la mine d'or de Don Mario (Orvana Minerals) et la promesse d'un investissement de 2.1 milliards de US\$ à El Mutun par la compagnie indienne Jindal Steel.

## Un élément à ne pas prendre à la légère.

Le lithium est un métal argenté et très malléable dont la densité est moitié moindre que celle de l'eau! Si pendant longtemps il ne fit l'objet que d'applications assez confidentielles dans le domaine des lubrifiants et de la céramique (fig.1), il est aujourd'hui classé parmi les éléments les plus stratégiques pour le développement des technologies du futur. L'union européenne, inquiète de la pérennité de son accès aux ressources, en a fait un des éléments critiques de sa stratégie au travers de la Raw Materials Initiative ([http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/index_en.htm)). Il faut dire que la perspective de véhicules intégralement électriques équipés chacun de plus de 250kg de batteries a de quoi stimuler les convoitises.

Le lithium est connu dans la nature sous forme de plusieurs minéraux qui sont tous principalement des silicates (spodumène, pétalite, lépidolite,...) que l'on trouve dans des gisements d'affiliation magmatique. Autrement dit, sous forme de filons dans des roches granitiques ce qui implique une exploitation difficile et coûteuse dans des galeries situées à plusieurs centaines de mètres sous terre. Les gisements de Caroline du Nord ont longtemps contribué à l'approvisionnement mondial, avant que l'intérêt pour la concentration en lithium dans les saumures ne devienne manifeste.

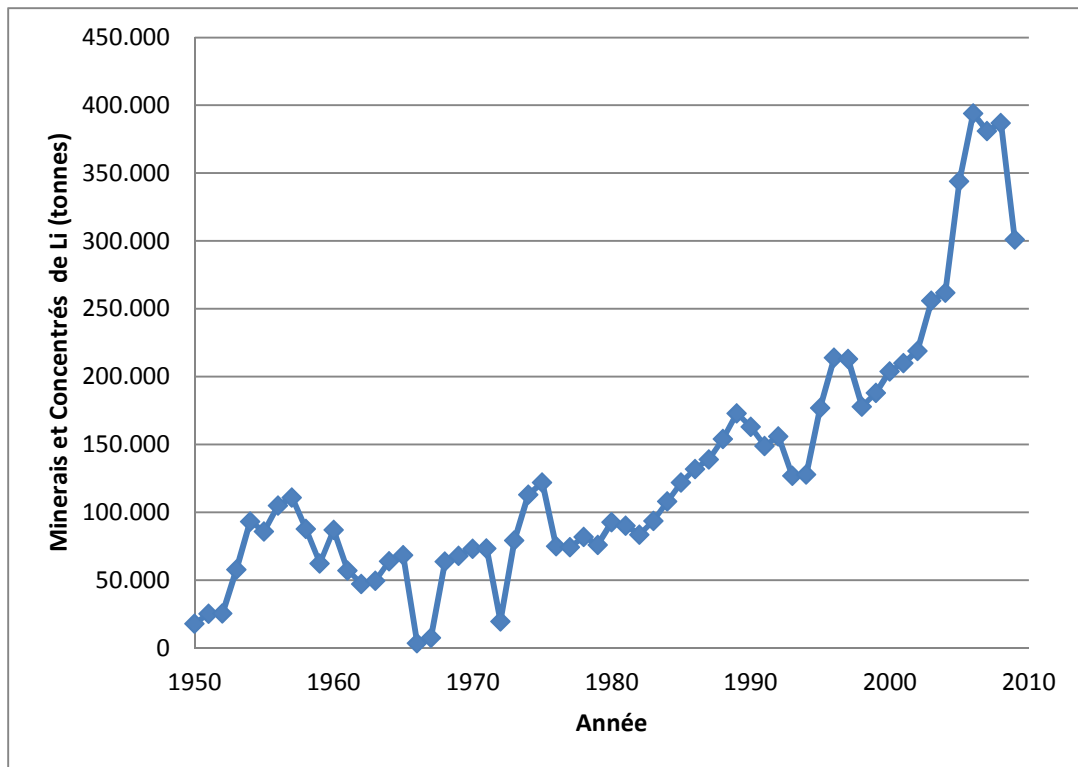


Figure 1. Historique de la production mondiale de minerais bruts depuis 1950. Hors production des USA ! (d'après les données du USGS)

Jusque dans les années '80, la présence du lithium dans les eaux interstitielles des lacs salés formés à proximité des chaînes volcaniques était passée relativement inaperçue. Mais, la perspective d'un besoin croissant en lithium pour la fusion nucléaire d'abord et l'aéronautique ensuite a remis les prospecteurs au travail.

Ericksen et al. publient en 1978 les premières valeurs de teneurs en lithium mesurées dans les saumures du Salar d'Uyuni et annoncent des valeurs entre 80 et 1500 ppm<sup>i</sup>. Quelques années plus tard, Risacher ajoute une vingtaine de valeurs complémentaires dans un rapport concernant les ressources des lacs salés boliviens. Cette étude financée par l'ORSTOM<sup>ii</sup> avait pour principal objectif la recherche de formations riches en carbonate de soude et n'accordait pas une attention spécifique au lithium. A ce stade, aucune exploration systématique ne fut entreprise, mais rapidement des chiffres commencèrent à circuler plaçant la Bolivie largement en tête des ressources mondiales de lithium. Les rapports du USGS mentionnent dès ce moment 5 400 000 t de Li dans le sous-sol bolivien ce qui représente ni plus ni moins que la moitié de toutes les ressources mondiales connues! Pendant vingt ans, ces chiffres vont circuler sans vraiment faire l'objet d'une analyse critique, sauf que les rapports plus récents du USGS se gardent de présenter ces valeurs comme des réserves correctement estimées sur le plan géologique et technologique. Conséquence : en 2011, la Bolivie ne figure plus dans le tableau des réserves mondiales tandis que le Chili en détient 57%! La Bolivie est toutefois mentionnée en note de bas de page comme détenant 9 millions de tonnes de lithium... tandis que le site officiel de l'état bolivien (<http://www.evaporiticobolivia.org>) n'hésite pas à avancer le chiffre impressionnant de 140 millions de tonnes de lithium récupérable !

Les données faramineuses circulant à propos de la Bolivie sont essentiellement dues au fait que des teneurs importantes (350 mg/l) ont été trouvées dans un des plus grands lacs salés du monde (Salar de Uyuni : 10 000 km<sup>2</sup>). Elles sont aussi basées sur le fait que des croûtes de sel (et donc des saumures interstitielles) se rencontrent de manière répétée en profondeur... et que cette profondeur est inconnue mais en tous les cas supérieure à 214m au centre du Salar (le puits le plus profond a été réalisé par Duke University en 2004 pour des études paléoclimatiques).

Toutefois, il est clair pour tout le monde, qu'une définition correcte des réserves réellement accessibles nécessite une analyse approfondie des conditions techniques, économiques et

environnementales de l'extraction du lithium. Sans cette étude de faisabilité complète, il reste très hasardeux d'avancer des chiffres et pour le moins optimiste de considérer que le gisement a la forme d'un cône inversé de plus de 200 mètres de profondeur et 100km de diamètre !

Entre 1996 et 2000, l'Université de Liège dans le cadre d'un projet de coopération avec l'Universidad Tecnica de Oruro, réalisait une exploration beaucoup plus complète de la géochimie des saumures contenues dans le Salar de Coipasa situé plus au Nord (3 000 km<sup>2</sup>, plus de 200 puits allant jusqu'à une profondeur de 12m) (Lebrun et al., 2002). De telles études sont indispensables car elles démontrent que la teneur en lithium n'est qu'un élément très partiel d'information puisque la possibilité de produire d'autres sels valorisables au départ des saumures (chlorure de potasse, sulfate de soude, etc...) ou la présence d'éléments peu désirables comme le magnésium peut favoriser ou pénaliser très nettement tout projet de valorisation. A ce jour, on est loin de disposer des analyses de tous les lacs salés potentiellement lithifères en Bolivie ou ailleurs. On peut se faire une idée du potentiel de quelques-uns sur base du tableau 2, mais d'autres ressources sont connues (Salar del Rincon ; Clayton Valley ; Zhabuye ; etc...) et de nombreuses restent encore à découvrir en particulier en Asie (Pakistan, Afghanistan, Tibet, ...).

Sans compter que des gisements de nature tout à fait insoupçonnée jusque-là ont été découverts en 2004 dans la région de Jadar en Serbie lors d'une exploration de borates de soude par Rio Tinto ! Le gisement de Jadar annonce aujourd'hui 114,6 Mt de réserves inférées à 1,8% Li<sub>2</sub>O et 13% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ([http://www.riotinto.com/shareholders/517\\_17032.asp](http://www.riotinto.com/shareholders/517_17032.asp))

		Na(g/l)	K(g/l)	Mg(g/l)	Li(mg/l)	Cl(g/l)	SO <sub>4</sub> (g/l)
Uyuni	Bolivie	97,9	11,4	12,8	548	192,6	13,82
Coipasa	Bolivie	98,37	14,57	10,6	336	183,2	31,29
Atacama	Chili	97,37	18,67	8,1	1176	185,1	57,54
Hombre Muerto	Argentine	121,9	9,34	0,27	914	194,8	11,1
Mer Morte	Israël	39,15	7,26	40,65	20	212,4	0,47
Searles Lake	USA	110	26	-	70	121	46

*Tableau 2. Teneurs caractéristiques de quelques lacs salés d'intérêt économique sur base des données disponibles dans la littérature scientifique.*

La production industrielle de carbonate de lithium au départ de saumures a débuté discrètement à Clayton Valley dans le Nevada en 1967 et s'est intensifiée avec l'entrée en jeu du Chili au début des années '90. La société SCL associée aux américains de Foote (aujourd'hui Chemetall (Rockwood)) et la société chilienne SQM sont les deux acteurs principaux actifs dans le Salar de Atacama. Cette dernière société, historiquement issue de la production de nitrates, s'est rapidement positionnée comme principal producteur mondial de lithium et d'iode avec pour conséquence immédiate la fermeture des mines nord-américaines opérant en roche. Aujourd'hui la production mondiale de lithium est de 25 300 t de **Li contenu** dont 8800 t sont assurées par le seul Chili (tableau 3). Afin d'éviter toute confusion dans les statistiques de production, il est important de garder à l'esprit que le lithium peut être commercialisé sous différentes formes allant du minerai brut (roche ou saumure (tableau 1)) aux différents sels de lithium plus ou moins purs. Il est important de ne comparer que des chiffres comparables. Les statistiques du tableau 3 sont en tonnes de lithium contenu. Pour comparer avec des productions exprimées en tonnes de carbonate de lithium pur, il faut appliquer un facteur x 5.32 (une molécule de Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> contenant 18.78% de Li). De telles statistiques sont parfois présentées en LCE-Lithium Carbonate Equivalent Units. Exprimé en LCE, le marché serait de l'ordre de 90 000 à 110 000 tonnes par an selon les sources. De nombreux analystes estiment que la production chinoise est surévaluée et considèrent que le Chili assure actuellement 50% de la production mondiale.

	Mine production		Reserves <sup>2</sup>
	2009	2010 <sup>e</sup>	
United States	W	W	38,000
Argentina	2,220	2,900	850,000
Australia	6,280	8,500	580,000
Brazil	160	180	64,000
Canada	310	—	—
Chile	5,620	8,800	7,500,000
China	3,760	4,500	3,500,000
Portugal	—	—	10,000
Zimbabwe	400	470	23,000
World total (rounded)	<sup>3</sup> 18,800	<sup>3</sup> 25,300	13,000,000

Tableau 3. Production mondiale de lithium exprimée en tonnes de métal contenu (USGS, 2011)

Les réserves chiliennes sont estimées à environ 7 millions de tonnes sur base d'une exploitation qui couvre près de 1000 km<sup>2</sup> et d'analyses disponibles sur une profondeur de 40 m (K. Evans, 2008). Comme le font apparaître les analyses du tableau 2, un des avantages décisifs de plusieurs saumures chiliennes est leur teneur relativement très concentrée en Lithium (jusqu'à 1800 mg/l), mais surtout leur très faible rapport Magnesium/Lithium (Mg/Li) qui évite de devoir éliminer préalablement une grande quantité de magnésium de la saumure. En comparaison, le traitement des saumures au Salar d'Uyuni doit faire face à un rapport Mg/Li de plus de 20, sans compter les conditions de production à une altitude nettement plus élevée et en étant défavorisé par une infrastructure d'accès encore très déficiente.

Un autre élément non négligeable est lié aux conditions climatiques car l'inondation saisonnière du salar peut paralyser les opérations d'extraction, tandis qu'une aridité réduite rend l'évaporation naturelle des saumures beaucoup moins performante. Selon certaines données disponibles l'évaporation à Uyuni est considérée comme moitié moindre de celle d'Atacama avec de l'ordre de 1500mm/an. D'après Maire (\$) les coûts de production seraient de 100 à Atacama pour 150 à Uyuni et 250 dans les exploitations en roche aux USA.

### Un défi de taille ou une « compensation lithium ».

Le projet national bolivien de valorisation des saumures d'Uyuni est conçu en trois étapes : 1) exploration géologique ; 2) production industrielle de carbonate de lithium et de chlorure de potassium ; 3) production de batteries Li-ion.

La première phase prévue de 2008 à 2011 devrait se clôturer par la mise en route de l'usine pilote de concentration des saumures avec une capacité symbolique de 40 t/mois de Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (carbonates de lithium) et de 1000 t/mois de KCl (chlorure de potasse).

Les sondages de reconnaissance du gisement ont été réalisés selon une maille régulière de 5km x 5km, tandis que la zone potentiellement la plus riche située au Sud-Est à l'embouchure du Rio Grande a fait l'objet d'un maillage plus serré de 2km x 2km. Les puits sont généralement très superficiels (1m), mais localement des perforations de 30 m et plus ont été prévues pour mieux évaluer la perméabilité et la séquence de croûtes salines. A ce jour, plus de 7000 échantillons auraient été analysés et une cartographie plus précise des réserves devrait être disponible. Mais rien n'a encore été publié officiellement.

Les responsables boliviens placent beaucoup d'espoirs dans un brevet national de concentration des saumures qui pourrait conduire à la production industrielle de 700 000 t de KCl et 30 000 t de Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> par an. Toutefois, la route est encore longue et semée d'embûches. Comme le dit Henri Maire, souhaitons que l'exploitation du lithium ne connaisse pas l'infortune des anciennes exploitations de nitrates, lesquelles furent abandonnées du jour au lendemain en raison de la découverte d'engrais alternatifs. Si différents sels de lithium apparaissent effectivement comme les formulations de cathodes les plus performantes pour les batteries du futur, il n'empêche que l'industrie n'est jamais à l'abri d'une découverte technologique qui pourrait faire basculer brutalement l'intérêt pour le lithium.

Par ailleurs, sans dénier à la Bolivie le droit de valoriser ses ressources pour permettre aux plus pauvres d'accéder enfin à un mode de vie plus acceptable, il faut reconnaître que les lacs salés du Sud Lipez comptent parmi les écosystèmes les plus fascinants et les plus fragiles au monde. Leur préservation est un enjeu majeur non seulement pour le tourisme mais aussi pour la géodiversité de notre planète. Il est certainement possible de concilier exploitation et environnement, mais à la condition de prendre conscience des enjeux dès le tout début du projet.

Le choix de renoncer à la valorisation des salars lithifères ne peut être supporté par le seul état Bolivien, mais la question mérite certainement d'être posée en échange d'une compensation financière équitable par la communauté internationale.

## **Bibliographie**

*Cawthorn, R.G. South African Journal of Science 95, 1999*

USGS, *Mineral Commodity Summaries : Nickel*,  
2011 <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nickel/>

USGS, *Mineral Commodity Summaries : Lithium*,  
2011 <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/>

ERICKSEN, G.E., VINE, J.D. & BALLON, R. 1978. *Chemical composition and distribution of lithium-rich brines in salar de Uyuni and nearby salars in Southwestern Bolivia. Energy 3, 355-363.*

RETTIG, S.L., DAVIS, J.R., SMITH, R.L., SMITH, K.A. & ERICKSEN, G.E. 1979. *Bolivia. U.S. Geological Survey Professional Paper. p. 321.*

RISACHER, F. 1992. *Géochimie des lacs salés et croûtes de sel de l'Altiplano bolivien. Sci. Géol. Bull. 45, 3-4, 219pp.*

MAIRE, H., 2010, *Assessment of lithium resources in Latin America* [http://www.un.org/esa/dsd/susdevtopics/sdt\\_tran\\_egm1110\\_presentations.shtml](http://www.un.org/esa/dsd/susdevtopics/sdt_tran_egm1110_presentations.shtml)

Evans. R. K., 2008, *An abundance of Lithium*  
<http://lithiumabundance.blogspot.com/>

Litherland, M., 1978, *The Geology and Mineral Resources of the Bolivian Precambrian Shield (Overseas Geology & Mineral Resources)*, British Geological Survey.

Prieto, C, 1977, *La minería en el Nuevo Mundo*, Ed. Revista de Occidente, Madrid, 350 pp.

Lebrun V., Pacosillo P., Gutierrez J., Caceres F., Pool E. et Pirard E., 2002, *Geochemistry of bitter brines in the Salar de Coipasa – Bolivia*, *Aardkundige Mededelingen*, V12, 185-188.

---

<sup>i</sup> ppm signifie une part par million en poids, ce qui est équivalent à 1 gramme dans une tonne. En considérant une eau pure on peut accepter l'approximation (1 ppm Li = 1 milligramme de Li par litre).

<sup>ii</sup> ORSTOM : Office de la recherche scientifique et technique outre-mer (française), devenu l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) en 1998.