

Note: Cette traduction a été établie par le Greffe à des fins internes et n'a aucun caractère officiel

COUR INTERNATIONALE DE JUSTICE

**DIFFÉREND CONCERNANT LE STATUT ET L'UTILISATION DES EAUX DU SILALA
(CHILI c. BOLIVIE)**

MÉMOIRE DU CHILI

VOLUME I

3 juillet 2017

[Traduction du Greffe]

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
CHAPITRE 1 — INTRODUCTION.....	1
A. Propos liminaire	1
B. Le différend soumis à la Cour	2
C. La compétence de la Cour	3
D. Résumé des arguments du Chili	4
E. Structure du mémoire	6
CHAPITRE 2 — LE SYSTÈME HYDROGRAPHIQUE DU SILALA.....	7
A. Le Silala est depuis longtemps et demeure à ce jour un système fluvial actif	7
B. Les eaux du Silala ont joué un rôle essentiel dans l’habitat moderne et le développement de la région d’Antofagasta	22
CHAPITRE 3 — GENÈSE DU DIFFÉREND	26
A. La Bolivie reconnaît de longue date le caractère international du système hydrographique du Silala	26
B. Origine du différend : le changement de position de la Bolivie en 1999 concernant le caractère international du système hydrographique du Silala	28
C. Position adoptée par la Bolivie après 2010 et décision du Chili de soumettre à la Cour le différend sur le caractère international du système hydrographique du Silala.....	33
CHAPITRE 4 — LE SYSTÈME HYDROGRAPHIQUE DU SILALA EST UN COURS D’EAU INTERNATIONAL AU SENS DU DROIT INTERNATIONAL	35
A. Le système hydrographique du Silala est un «cours d’eau international» tel que défini en droit international	35
B. Le comportement des Parties confirme le caractère de cours d’eau international du Silala au sens du droit international	37
1. La cartographie chilienne et bolivienne confirme le caractère de cours d’eau international du Silala.....	38
2. Toutes les commissions mixtes chargées de la démarcation et de la révision de la frontière internationale ont reconnu le caractère de cours d’eau international du Silala.....	53
3. Le Chili et la Bolivie ont tous deux exercé leur souveraineté sur les eaux du Silala en accordant, en 1906 et en 1908 respectivement, des concessions d’utilisation des eaux sur le territoire chilien	63
4. Même après avoir brusquement changé de position en 1999, la Bolivie a continué de reconnaître l’existence du Silala en tant que cours d’eau international.....	64
CHAPITRE 5 — LES CONSÉQUENCES JURIDIQUES DÉCOULANT DU STATUT DE COURS D’EAU INTERNATIONAL DU SYSTÈME HYDROGRAPHIQUE DU SILALA.....	66
A. Le Chili jouit d’un droit d’utilisation équitable et raisonnable du Silala en tant que cours d’eau international	66
B. L’utilisation des eaux du système hydrographique du Silala par le Chili est conforme à l’obligation d’utilisation équitable et raisonnable	67

C. La Bolivie a l'obligation de prendre toutes les mesures appropriées pour éviter de causer un dommage important au Chili.....	69
D. La Bolivie a systématiquement omis d'informer le Chili des activités menées sur son territoire qui seraient susceptibles d'avoir une incidence sur les eaux du Silala ou sur l'utilisation qui en est faite par le Chili	70
CHAPITRE 6 — RÉPARATIONS DEMANDÉES	74
CONCLUSIONS	75

Liste des figures

Figure	Titre	Page
1	Le fleuve Loa et ses principaux affluents.....	8
2	Le bassin hydrographique du Silala	9
3	Image satellite fournie par le satellite Pléiades, le 19 janvier 2017	10
4	Vue de la gorge depuis Cerrito de Silala en direction du volcan Paniri, au Chili, 2016.....	11
5	Vue aérienne de la gorge du Silala, vers le Chili, 2016	11
6	Le Silala, novembre 2016.....	12
7	Gorge du Silala couverte de neige à la frontière entre le Chili et la Bolivie, juin 2017.....	12
8	Images 3D illustrant les courbes de niveau de la région du Silala	14
9	Coupe longitudinale du Silala et de ses principaux affluents.....	15
10	Coulée de lave Pliv(a) survenue il y a environ 7,5 millions d'années.....	17
11	Délimitation des terrasses sur le versant est de la gorge du Silala, à 50 m au sud-ouest de la frontière internationale	19
12	Sites archéologiques mis au jour dans la gorge du Silala et les terrasses du Silala ; en gros plan, le site 17 et une pointe de flèche découverte sur le site	20
13	Réseau actuel de conduites de la FCAB et de la CODELCO utilisé pour prélever les eaux du Silala.....	24
14	Plan annexé au traité de paix et d'amitié, 20 octobre 1904.....	27
15	A. Bertrand, carte des cordillères du désert d'Atacama et des régions limitrophes, 1884.....	40
16	L. Brackebusch, carte de la République d'Argentine, 1891	41
17	F. Fuentes, carte de la province d'Antofagasta, 1897	42
18	J. Leigue Moreno, carte géographique et chorographique, 1890	43
19	E. Idiaquez, carte de la République de Bolivie, 1901	44
20	L. García Mesa, carte générale de la Bolivie, 1905.....	46
21	Institut géographique militaire (IGM), Cerro Silala Chico, planche 5927 I, série H731, 1 ^{re} éd., 1971.....	47
22	Institut géographique militaire (IGM), carte d'Amérique du Sud (Bolivie), Volcán Juriques, 1 ^{re} éd., republiée en mai 1997	48

23	SERGEOMIN, carte géologique de la Bolivie, planche 5927-6027, Silala-Sanabria, éd. mars 1997	49
24	Chili, commission des limites, planche Antofagasta, 1907	50
25	Service du cadastre du Chili, plan (sans titre), dans : La ligne frontière avec la République de Bolivie, 1910	51
26	Institut géographique militaire chilien, planche Inacaliri, 3 ^e éd., 2014	52
27	J. J. Heuisler, carte de la région des gisements de salpêtre du Chili, comprise entre El Toco et Copiapó, 1907	53
28	Emplacement des bornes frontière de 1906 dans la région du Silala	55
29	Monographie de la borne frontière S/N-LXXIII, 20 août 1991	57
30	Commission mixte des frontières Chili-Bolivie, annexe 34 au procès-verbal n° 38, 28 avril 1992.....	58
31	Monographie de la borne frontière S/N Inacaliri, 4 novembre 1993.....	59
32	Emplacement des bornes frontière de 1906 et 1993 dans la région du Silala	60

* *

Rapport d'experts 1 : Le Silala dans sa forme actuelle — fonctionnement du système fluvial	76
Rapport d'experts 2 : L'évolution du Silala, de son bassin versant et de sa gorge	117

INTRODUCTION

A. PROPOS LIMINAIRE

1.1. La présente instance a été introduite par le dépôt au Greffe de la Cour, le 6 juin 2016, d'une requête du Gouvernement de la République du Chili (ci-après le «Chili»). Le présent mémoire est soumis par le Chili dans le délai prescrit par la Cour dans son ordonnance du 1^{er} juillet 2016 relative au dépôt des pièces de procédure écrite du Chili et du Gouvernement de l'Etat plurinational de Bolivie (ci-après la «Bolivie»).

1.2. Le Chili prie la Cour de juger que le cours d'eau objet de la présente instance, le Silala¹, a statut de cours d'eau international générant des droits et obligations pour les Etats riverains.

1.3. L'affaire est simple.

- 2
- a) Le Silala provient de sources souterraines situées à 4323 mètres d'altitude en Bolivie, à quelques kilomètres au nord-est de la frontière entre le Chili et la Bolivie. De ce point, le Silala s'écoule le long d'une pente naturelle et traverse la frontière à une altitude de 4277 mètres. Le Silala est donc un cours d'eau international au sens du droit international : il s'agit d'un système d'eaux de surface et d'eaux souterraines constituant, du fait de leurs relations physiques, un ensemble unitaire aboutissant à un point d'arrivée commun, et dont les parties se trouvent dans des Etats différents, à savoir la Bolivie et le Chili. Les deux pays reconnaissent le Silala en tant que cours d'eau international depuis plus d'un siècle.
 - b) Le statut de cours d'eau international du Silala fait naître un certain nombre de droits et obligations bien établis pour la Bolivie et au Chili. Au nombre de ceux qui sont pertinents en l'espèce figurent le droit à une utilisation équitable et raisonnable, ainsi que les obligations relatives à la prévention des dommages, à la coopération, à la notification, à l'échange d'informations et, s'il y a lieu, à la conduite d'une évaluation de l'impact sur l'environnement.
 - c) Les critères pertinents sont aujourd'hui bien établis en droit international coutumier et leur application en l'espèce ne soulève guère de questions complexes au vu des faits essentiels de la cause. A cet égard, la thèse de départ est que le Chili utilise les eaux du Silala depuis plus de cent ans, alors que la Bolivie à ce jour n'en a fait quasiment aucun usage sur son territoire.
 - d) Il faut souligner que le Chili n'entend nullement, par le jugement déclaratoire qu'il demande, anticiper sur une quelconque utilisation future que la Bolivie pourrait faire du Silala — pour autant, bien entendu, qu'elle soit conforme au droit international. Par conséquent, pour toute utilisation future, la Bolivie devra respecter le principe de l'utilisation équitable et raisonnable, tout en demeurant tenue par son obligation de ne pas causer de dommage important, ainsi que par les obligations connexes concernant la coopération, la notification, l'échange d'informations et, s'il y a lieu, la conduite d'une évaluation de l'impact sur l'environnement.

¹ Dans les cartes et documents historiques, le Silala est parfois appelé «Río Siloli» ou «Río Cajón», ou n'est pas dissocié du «Río San Pedro», dont il est l'un des affluents.

3

1.4. En outre, il est essentiel de préciser à la Cour que le Silala est situé dans l'une des zones les plus arides du monde. Par voie de conséquence, bien que le Silala soit modeste par sa taille (son débit étant de 170 litres par seconde lorsqu'il pénètre en territoire chilien), ses eaux se sont révélées et se révèlent encore d'une importance cruciale pour le Chili, qui les a utilisées et les utilise toujours à différentes fins domestiques et industrielles dans cette région exceptionnellement aride de son territoire. La ville d'Antofagasta (située à environ 300 kilomètres au sud-ouest du Silala) et les villages de Sierra Gorda et Baquedano, entre autres, ont eu besoin à différentes périodes d'utiliser les eaux du Silala. Encore à ce jour, environ 30 % de l'eau prélevée du Silala est destinée à la consommation humaine dans diverses installations minières. C'est à la lumière de l'importance particulière que revêtent les eaux du Silala pour le Chili et en réponse à la série de contestations soulevées par la Bolivie à l'égard de leur statut et de leur utilisation que la présente instance a été introduite.

B. LE DIFFÉREND SOUMIS À LA COUR

1.5. Le différend soumis à la Cour au sujet du statut et de l'utilisation des eaux du Silala est circonscrit par nature. Dans sa requête, le Chili prie la Cour de rendre une décision à l'effet de dire que le système hydrographique du Silala a le statut de cours d'eau international régi par le droit international coutumier. A cette demande s'ajoute son corollaire naturel, le Chili priant la Cour de juger qu'il est en droit d'utiliser de manière équitable et raisonnable les eaux du Silala et que, selon le critère d'utilisation équitable et raisonnable, il est en droit de maintenir l'usage qu'il en fait actuellement. Le différend porte aussi sur les obligations incombant à la Bolivie du fait du statut de cours d'eau international du système hydrographique du Silala.

4

1.6. Le Chili soutient la position selon laquelle, une fois confirmé le statut du Silala, les questions relatives à son utilisation et aux restrictions le concernant peuvent être tranchées sans grande difficulté. Le jugement déclaratoire qu'il cherche à obtenir nécessite simplement que soient appliqués des principes bien établis en droit international général au regard d'éléments de fait d'une rare simplicité.

1.7. S'agissant de la question du statut de cours d'eau international du Silala, il convient de noter que, avant 1999, il n'existait à ce sujet aucun différend de quelque nature que ce soit entre les Parties. La Bolivie a reconnu ce statut de multiples manières différentes et en de multiples occasions différentes, sur une période de près de cent ans.

1.8. Depuis le mois de septembre 1999, toutefois, la Bolivie a exprimé plusieurs prétentions au sujet du Silala, notamment que ce dernier n'est en rien une rivière, qu'il s'agit d'une ressource hydrique exclusivement bolivienne provenant de sources situées en territoire bolivien, que les eaux desdites sources sont détournées vers le Chili par un système artificiel de chenaux et que des indemnités sont dues à la Bolivie à raison de l'utilisation passée et présente des eaux du Silala. La situation a atteint son paroxysme en mars 2016, lorsque le président bolivien Evo Morales a accusé le Chili de « voler » les eaux du Silala à la Bolivie et déclaré que celle-ci saisirait la Cour². Peu après, le ministre bolivien des affaires étrangères a toutefois annoncé que la préparation de la requête prendrait au moins deux ans³.

² «La Bolivie compte introduire une instance contre le Chili à La Haye au sujet du Silala», *Página Siete Digital*, La Paz, 26 mars 2016. Mémoire du Chili (ci-après «MC»), annexe 72.3.

³ «The Minister of Foreign Affairs Foresees Two Years to Prepare the Claim for the Silala», *La Razón*, La Paz, 8 avril 2016. MC, annexe 73.

5

1.9. Dans ces circonstances et au vu de l'importance particulière que revêtent pour lui les eaux du Silala, le Chili a pris la décision d'introduire la présente instance sans retard. A la lumière de ce qui précède, le Chili considère que les questions en litige sont claires au plan juridique. Toutefois, il estime aussi fâcheux — tant pour les relations entre les deux Etats que pour la sécurité juridique dont ont besoin les utilisateurs chiliens des eaux du Silala — de se retrouver dans une position où ses droits en tant qu'Etat riverain sont remis en cause et où l'utilisation légitime qu'il fait des eaux du Silala est qualifiée de vol. C'est pourquoi le Chili a introduit la présente instance le 6 juin 2016.

C. LA COMPÉTENCE DE LA COUR

1.10. La question de la compétence est simple et, à la lumière des annonces susmentionnées faites par la Bolivie en mars et en avril 2016, il est présumé qu'elle ne fera l'objet d'aucun litige entre les Parties.

6

1.11. La Bolivie et le Chili sont tous deux parties au traité américain de règlement pacifique signé à Bogotá le 30 avril 1948 (ci-après le «pacte de Bogotá»). Le Chili l'a ratifié le 21 août 1967⁴, et la Bolivie a communiqué son instrument de ratification le 9 juin 2011 en l'accompagnant d'une réserve à l'article VI, au motif que «les procédures pacifiques p[ouvaient] également s'appliquer aux différends relatifs à des questions résolues par arrangement entre les parties, lorsque pareil arrangement touch[ait] aux intérêts vitaux d'un Etat»⁵. Le Chili a présenté une objection à cette réserve, déclarant qu'elle faisait obstacle à l'entrée en vigueur du pacte de Bogotá entre les deux Etats⁶. La Bolivie a levé sa réserve par un instrument de retrait en date du 3 avril 2013⁷. Il n'existe aucune autre réserve émanant de l'une ou l'autre des Parties qui soit en vigueur à ce jour et susceptible de trouver application en l'espèce.

1.12. Par conséquent, la Cour a compétence à l'égard du présent différend en vertu des dispositions de l'article 36 de son Statut et de l'article XXXI du pacte de Bogotá, qui est ainsi libellé :

«Conformément au paragraphe 2 de l'article 36 du Statut de la Cour internationale de Justice, les Hautes Parties Contractantes en ce qui concerne tout autre Etat américain déclarent reconnaître comme obligatoire de plein droit, et sans convention spéciale tant que le présent Traité restera en vigueur, la juridiction de la Cour sur tous les différends d'ordre juridique surgissant entre elles et ayant pour objet :

- a) l'interprétation d'un traité ;
- b) toute question de droit international ;
- c) l'existence de tout fait qui, s'il était établi, constituerait la violation d'un engagement international ;

⁴ République du Chili, décret n° 526 du 21 août 1967 portant application du pacte de Bogotá, Chili. MC, annexe 57. Voir aussi : <http://www.oas.org/juridico/english/sigs/a-42.html>.

⁵ Etat plurinational de Bolivie, note n° OEA-SG-111-11 en date du 9 juin 2011, à laquelle était annexé l'instrument de ratification du «pacte de Bogotá», daté du 14 avril 2011. MC, annexe 53.1.

⁶ République du Chili, objection à la réserve formulée par l'Etat plurinational de Bolivie, en date du 10 juin 2011. MC, annexe 62.

⁷ Etat plurinational de Bolivie, note n° MPB-OEA-ND-039-13 en date du 8 avril 2013, à laquelle était annexé l'instrument de retrait de la réserve au «pacte de Bogotá», reçue le 10 avril 2013. MC, annexe 53.2.

d) la nature ou l'étendue de la réparation qui découle de la rupture d'un engagement international.»⁸

1.13. Le différend dont est saisie la Cour porte sur des questions qui entrent dans les prévisions des points *b)*, *c)* et *d)* de l'article XXXI, puisqu'il s'agit de droit international, de violation et de réparation.

7 1.14. Le Chili a cherché en vain à résoudre les questions en litige concernant le statut et l'utilisation des eaux du Silala par le biais de négociations avec la Bolivie. Les deux Parties ont tenu à ce sujet une série de réunions bilatérales entre les années 2000 et 2010. Ces réunions se sont toutefois soldées par un échec, la Bolivie persistant — comme elle a continué de le faire depuis 2010 — à nier au Silala le caractère de cours d'eau international, voire de cours d'eau tout court, et s'arrogeant le droit exclusif d'en utiliser les eaux.

D. RÉSUMÉ DES ARGUMENTS DU CHILI

1.15. Les arguments du Chili s'articulent autour de deux éléments.

1.16. Le premier concerne le statut de cours d'eau international du Silala. Les Parties devraient s'accorder (encore) sur ce point.

a) Le Silala est un cours d'eau tel que défini en droit international. Comme il ressort manifestement de tout contrôle visuel et comme l'ont exposé en détail dans leurs rapports les experts Howard Wheeler et Denis Peach mandatés par le Chili⁹, il s'agit d'une masse d'eau qui s'écoule naturellement. En particulier, le Silala est un système d'eaux de surface et d'eaux souterraines constituant, du fait de leurs relations physiques, un ensemble unitaire et aboutissant à un point d'arrivée commun. En outre, de toute évidence, des parties de la rivière et du système hydrographique se trouvent dans des Etats différents, en l'occurrence la Bolivie et le Chili. Le Silala est donc un cours d'eau international.

8 b) En outre, dans nombre de cartes et d'actes et déclarations officiels, le Silala est reconnu par la Bolivie comme étant une rivière qui coule de son territoire vers le Chili, à savoir un cours d'eau international. Parmi la multitude de cartes et documents qui l'attestent, les plus anciens remontent à 1904 ou sont même antérieurs (un plan montrant entre autres le Silala traverser la frontière de la Bolivie et pénétrer en territoire chilien a été annexé au traité de paix et d'amitié de 1904 qui lie la Bolivie et le Chili) et les plus récents datent de 1999.

c) L'affirmation selon laquelle le Silala a été détourné vers le territoire chilien grâce à la construction de chenaux est manifestement incorrecte. Le Silala s'écoule dans son lit actuel, dans une gorge naturellement encaissée, depuis au moins 8400 ans. Dit simplement, les eaux du Silala n'ont *nulle part* où s'écouler hormis le long des pentes des hauts plateaux boliviens qui mènent jusqu'au Chili. La construction des chenaux auxquels fait référence la Bolivie n'est pas de nature à influencer et n'a eu aucune incidence sur la direction de l'écoulement. Il convient toutefois de préciser que les chenaux en cause ont été construits en 1928 conformément aux dispositions prévues dans une concession accordée par la Bolivie elle-même en 1908, quelque

⁸ Traité américain de règlement pacifique des différends («pacte de Bogotá») 30 avril 1948, Nations Unies, *Recueil des traités*, vol. 30. MC, annexe 4.

⁹ H. S. Wheeler et D. W. Peach, Le Silala dans sa forme actuelle — fonctionnement du système fluvial («rapport d'experts 1») et D. W. Peach et H. S. Wheeler, L'évolution du Silala, de son bassin versant et de sa gorge («rapport d'experts 2»).

20 ans plus tôt. Il est d'autant plus difficile de saisir l'argument que la Bolivie entend tirer de l'existence de ces chenaux, si l'on tient compte du fait que : i) elle a consenti à leur construction et ii) l'eau s'écoulait en tout état de cause au Chili et avait été utilisée sans interruption sur son territoire pendant de nombreuses années avant la construction desdits chenaux (en 1928).

1.17. Le deuxième élément de la thèse du Chili a trait aux conséquences juridiques découlant du statut de cours d'eau international du Silala.

- 9
- a) La première de ces conséquences est que le Chili jouit de ce que la Cour a qualifié de droit fondamental à une part équitable et raisonnable des ressources d'un cours d'eau international¹⁰, en l'espèce les eaux du Silala. A cet égard, l'utilisation des eaux du Silala par le Chili, qui remonte à plus d'un siècle, a toujours été et demeure équitable et raisonnable. Après la construction de divers ouvrages de prise d'eau et de canalisation au cours de la première moitié du XX^e siècle, les eaux ont été utilisées pour l'alimentation en eau potable de la ville portuaire chilienne d'Antofagasta et de plusieurs villages, ainsi que pour le transport ferroviaire (locomotives à vapeur), l'activité minière et l'industrie. L'eau était et reste une ressource très importante dans cette région aride. La Bolivie, en revanche, n'a jamais utilisé les eaux du Silala de manière significative. Aucun village ou site industriel bolivien (ou autre zone exploitable) ne se situe à courte distance de la source de la rivière en Bolivie et l'écoulement naturel des eaux se fait dans une seule direction, depuis la source et à travers la frontière avec le Chili. Par conséquent, selon le critère d'utilisation raisonnable et équitable, le Chili est — par référence aux éléments de fait tels qu'ils se présentent aujourd'hui, et sans préjudice de ce qui pourrait être considéré comme raisonnable et équitable à l'avenir — en droit d'utiliser les eaux du Silala comme il le fait actuellement.
- b) La deuxième de ces conséquences est que la Bolivie est tenue de prendre toutes les mesures appropriées pour prévenir et limiter la pollution et autres formes de préjudice que causeraient au Chili les activités qu'elle mène à proximité du Silala. Cette obligation découle de principes établis de longue date en droit international coutumier.
- 10
- c) La troisième conséquence est que la Bolivie est soumise à un ensemble d'obligations de nature procédurale. Elle est tenue de coopérer, de notifier au Chili en temps utile toutes mesures projetées qui seraient susceptibles d'avoir un effet préjudiciable sur des ressources en eau partagées, de procéder à l'échange de données et d'informations et de réaliser au besoin une évaluation de l'impact sur l'environnement, afin de permettre au Chili d'apprécier les effets éventuels de tels projets. La Bolivie a fait savoir qu'elle avait pris certaines mesures, annonçant notamment en mai 2012 la construction d'une ferme piscicole, d'un barrage et d'une usine d'embouteillage d'eau minérale, ce à quoi s'est ajoutée plus récemment la construction de dix habitations à proximité du Silala. Celui-ci ayant un débit assez faible et étant situé dans une région extrêmement aride, ces mesures pourraient aisément avoir un effet préjudiciable sur les ressources en eau partagées. Toutefois, alors que le Chili s'est enquis à de nombreuses reprises auprès de la Bolivie de la nature et de l'étendue des mesures annoncées, demandant en particulier des informations sur l'utilisation des eaux du Silala aux fins des installations sanitaires requises pour les nouvelles constructions, la Bolivie ne lui a fourni aucune réponse substantielle. Tant que la Bolivie ne communique aucune information attestant l'absence de risque d'effet préjudiciable ou ne confirme pas qu'elle renonce aux mesures annoncées, le Chili considère que la Bolivie manque à ses obligations de nature procédurale et demande qu'un jugement déclaratoire soit rendu en ce sens.

¹⁰ *Projet Gabčíkovo-Nagymaros (Hongrie/Slovaquie)*, arrêt, C.I.J. Recueil 1997, p. 54, par. 78.

E. STRUCTURE DU MÉMOIRE

11 1.18. Le présent mémoire est structuré comme suit : le chapitre 2 expose les éléments de fait à caractère technique qui concernent le système hydrographique du Silala ainsi que son utilisation historique par le Chili ; le chapitre 3 décrit la genèse du différend, à commencer par les preuves attestant que la Bolivie reconnaissait de longue date le caractère international du Silala avant de changer radicalement de position en 1999, et les événements ultérieurs qui ont abouti à l'introduction de la présente instance ; le chapitre 4 présente les arguments du Chili, à savoir que, contrairement à ce qu'a pu affirmer dernièrement la Bolivie, le système hydrographique du Silala répond bien à la qualification de «cours d'eau international», ainsi que ce terme est défini en droit international et ainsi que le confirme la pratique constante des Parties ; le chapitre 5 établit les conséquences juridiques, à savoir les droits et obligations des Parties, découlant de ce statut ; enfin, dans le chapitre 6, le Chili expose brièvement les réparations demandées (jugement déclaratoire).

1.19. Le mémoire s'appuie sur deux expertises réalisées par Howard Wheeler et Denis Peach, à qui il a été demandé de déterminer si, d'un point de vue scientifique et technique, le Silala est un cours d'eau international, sur la base de son évolution géologique et de son état actuel. Les deux rapports d'experts s'appuient à leur tour sur un certain nombre d'études relatives au système hydrographique du Silala, lesquelles sont annexées au présent mémoire.

LE SYSTÈME HYDROGRAPHIQUE DU SILALA

2.1. Dans le présent chapitre, en se référant à des expertises corroborantes, le Chili démontrera que le Silala est un cours d'eau international dont il est tributaire depuis plus d'un siècle.

2.2. La section A établira que le Silala est depuis longtemps et demeure à ce jour un système fluvial actif, dont les eaux s'écoulent dans une gorge naturelle creusée par la rivière pendant plusieurs millénaires. Cette gorge se forme dans ce qui est aujourd'hui le territoire de la Bolivie et se prolonge par-delà la frontière jusqu'au Chili, suivant la pente topographique. La section B décrira les utilisations domestiques, industrielles et minières du Silala au Chili, du début du XX^e siècle à aujourd'hui, expliquant l'importance que revêt cette ressource naturelle pour le tissu vivrier et le développement de l'une des régions les plus arides de la planète.

**A. LE SILALA EST DEPUIS LONGTEMPS ET DEMEURE
À CE JOUR UN SYSTÈME FLUVIAL ACTIF**

2.3. Le Silala prend sa source dans la région bolivienne de Potosí, alimenté par des sources souterraines naissant dans les zones humides Orientales et Cajones, situées en haute altitude à plus de 4323 mètres au-dessus du niveau de la mer¹¹. Côté bolivien, les sources de la zone Orientales s'écoulent dans une gorge, où elles sont rejointes par les sources de Cajones. A partir de cette jonction, la rivière emprunte la gorge pour traverser la frontière entre le Chili et la Bolivie à 4277 mètres au-dessus du niveau de la mer, puis reçoit les eaux d'autres sources souterraines au Chili¹². Le Silala est l'un des principaux affluents de la rivière San Pedro, qui est elle-même un affluent du fleuve Loa, le principal cours d'eau du désert d'Atamaca, dans la région chilienne d'Antofagasta (figure 1).

2.4. La figure 2 montre les principaux accidents topographiques du bassin hydrographique du Silala, les principales caractéristiques du réseau hydrographique et les installations pertinentes situées en territoire bolivien et chilien, y compris le poste militaire côté bolivien, le poste de police d'Inacaliri côté chilien et les deux ouvrages de prise d'eau (celui de la compagnie ferroviaire FCAB et celui de la compagnie minière CODELCO), également situés côté chilien.

¹¹ Rapport d'experts 1, p. 7.

¹² *Ibid.*



Figure 1
Le fleuve Loa et ses principaux affluents
Rapport d'experts 1, fig. 1

15

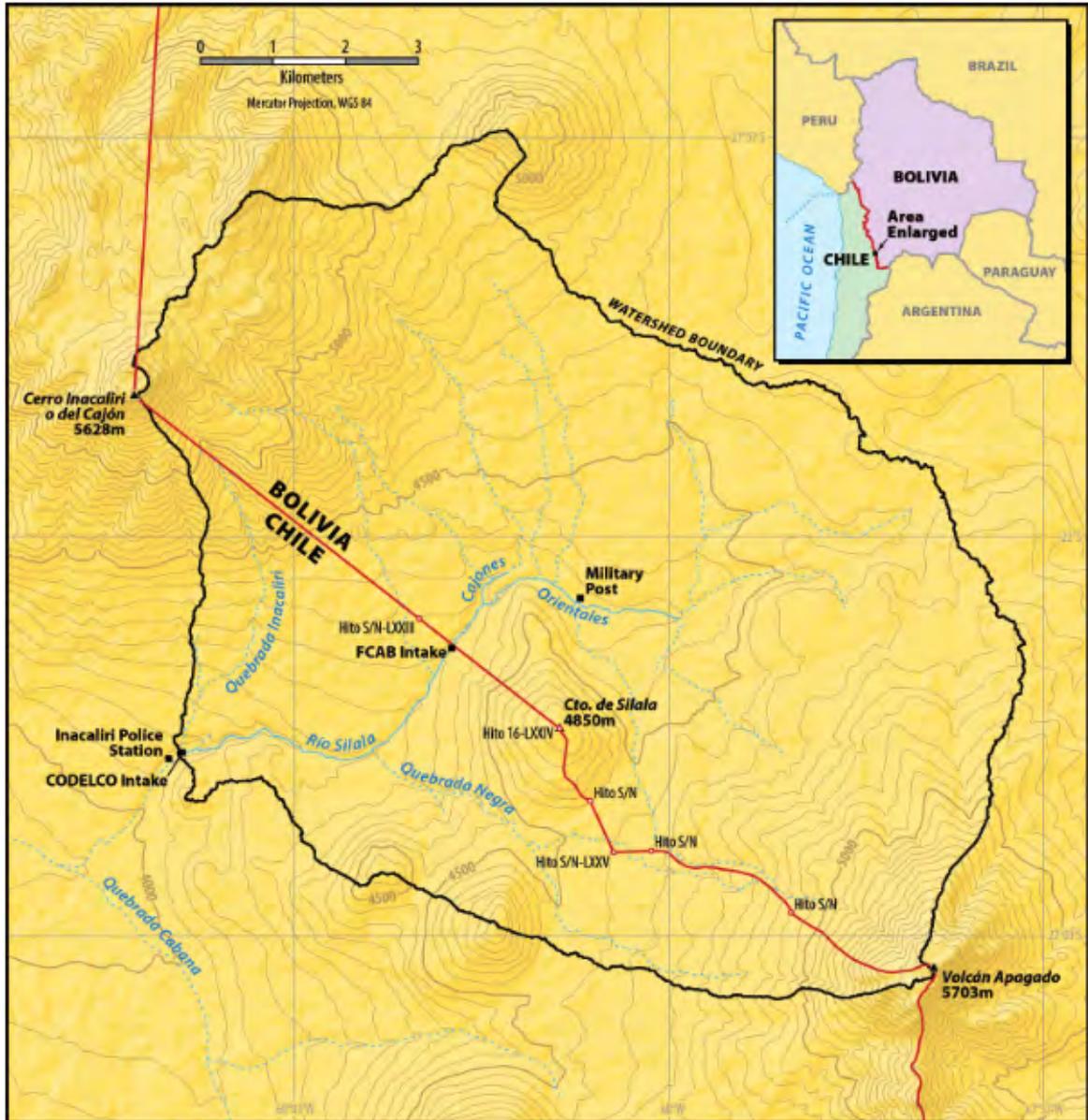


Figure 2
Le bassin hydrographique du Silala
Rapport d'experts 2, fig. 1-2

16

2.5. Depuis sa source, le Silala s'écoule en territoire bolivien sur environ quatre kilomètres, puis sur six kilomètres en territoire chilien, avant de rejoindre le San Pedro. Sa largeur moyenne est d'un mètre. Au point où il traverse la frontière entre le Chili et la Bolivie, son débit est en moyenne de 170 litres par seconde¹³. Au Chili, en aval de la frontière internationale, la rivière interagit avec plusieurs sources souterraines, ce qui fait grossir son débit d'environ 124 litres par seconde¹⁴. Ainsi, le Silala est certes une petite rivière, mais dans cette région particulièrement aride l'importance qu'il revêt est bien supérieure à celle qui correspondrait à sa taille.

¹³ Rapport d'experts 1, p. 23.

¹⁴ *Ibid.*, p. 44.

2.6. Le tracé complet du Silala entre son cours supérieur dans les zones humides Cajones et Orientales, en Bolivie, et le poste de police d'Inacaliri au Chili, après franchissement de la frontière internationale, est illustré sur l'image satellite présentée à la figure 3. En territoire bolivien, le Silala s'encaisse et creuse sur plusieurs mètres de profondeur une gorge dans le substrat rocheux, qui forme une nette entaille dans le paysage aride de l'Altiplano (figures 3 et 4). La gorge du Silala traverse la frontière internationale, de la Bolivie au Chili (figures 3 et 5). Au Chili, le Silala poursuit son parcours dans sa gorge naturelle, alimentant le long des berges une végétation spécifique aux zones humides (*Elymus sp.*) (figure 6). Malgré l'aridité du désert d'Atacama, les précipitations annuelles sont importantes dans la région du Silala, se concentrant de janvier à mars. Tout récemment, le 7 juin 2017, une forte tempête de neige a frappé la zone et recouvert de neige la gorge du Silala (figure 7).

17

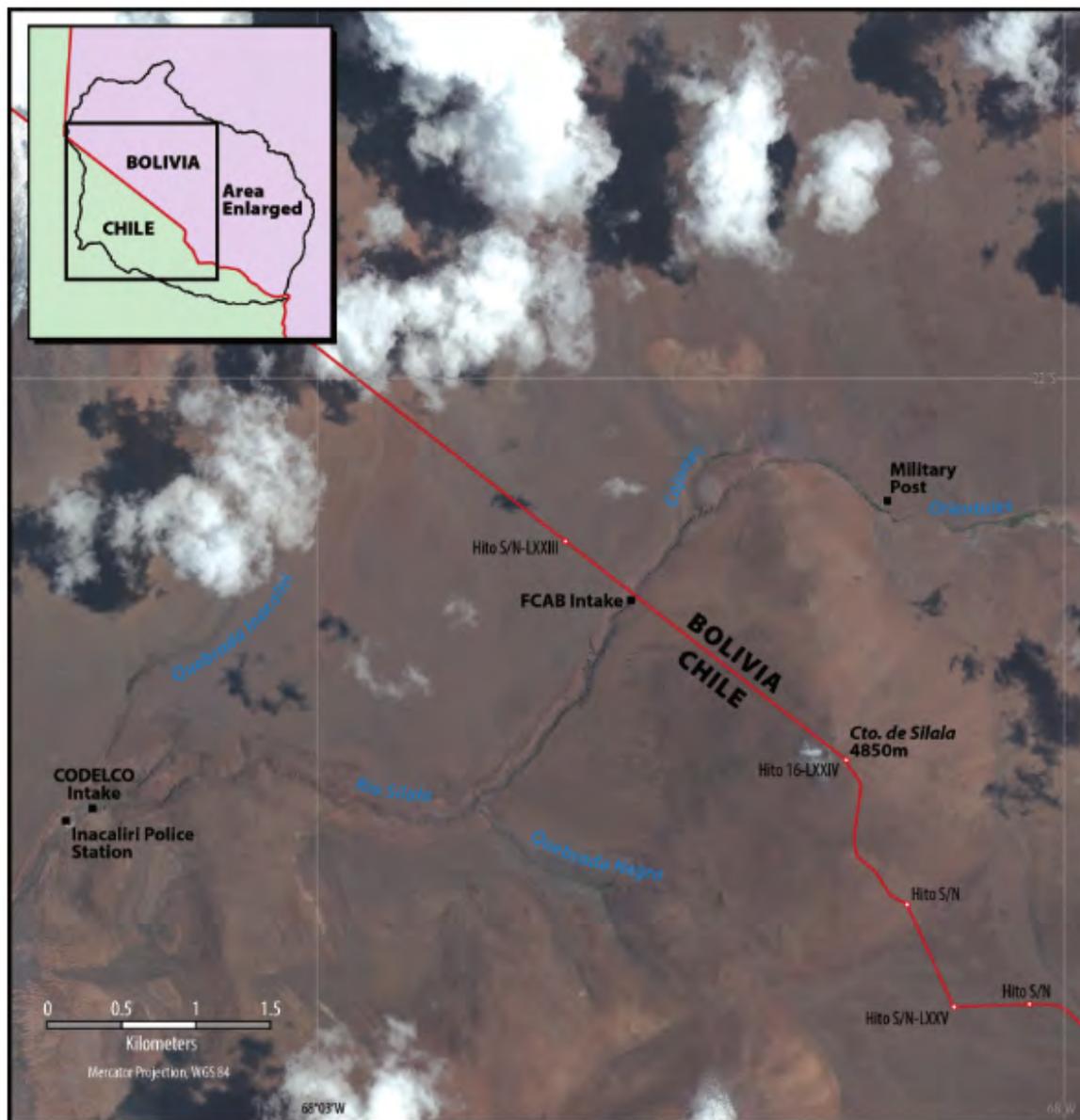


Figure 3
Image satellite fournie par le satellite Pléiades, le 19 janvier 2017

18



Figure 4
Vue de la gorge depuis Cerrito de Silala en direction
du volcan Paniri, au Chili, 2016



Figure 5
Vue aérienne de la gorge du Silala, vers le Chili, 2016

19



Figure 6
Le Silala, novembre 2016



Figure 7
**Gorge du Silala couverte de neige à la frontière
entre le Chili et la Bolivie, juin 2017**

20

2.7. Le bassin versant du Silala, à savoir la zone où toutes les eaux de surface issues des précipitations et de la fonte des neiges ou des glaces s'écoulent par gravité vers l'exutoire de la rivière¹⁵, couvre une superficie de 95,5 km², dont 69 km² en Bolivie¹⁶. Le point culminant du bassin hydrographique du Silala se situe à 5703 mètres au-dessus du niveau de la mer (volcan Apagado)¹⁷. Comme le montre la figure 8, la rivière est le canal de drainage naturel du bassin versant topographique du Silala.

¹⁵ Le bassin est défini à partir d'un point de la rivière situé à 4,9 km en aval de la frontière entre le Chili et la Bolivie, à l'aplomb du poste de police d'Inacaliri, à 3948 mètres au-dessus du niveau de la mer. Rapport d'experts 1, p. 11.

¹⁶ Rapport d'experts 1, p. 11.

¹⁷ *Ibid.*

21

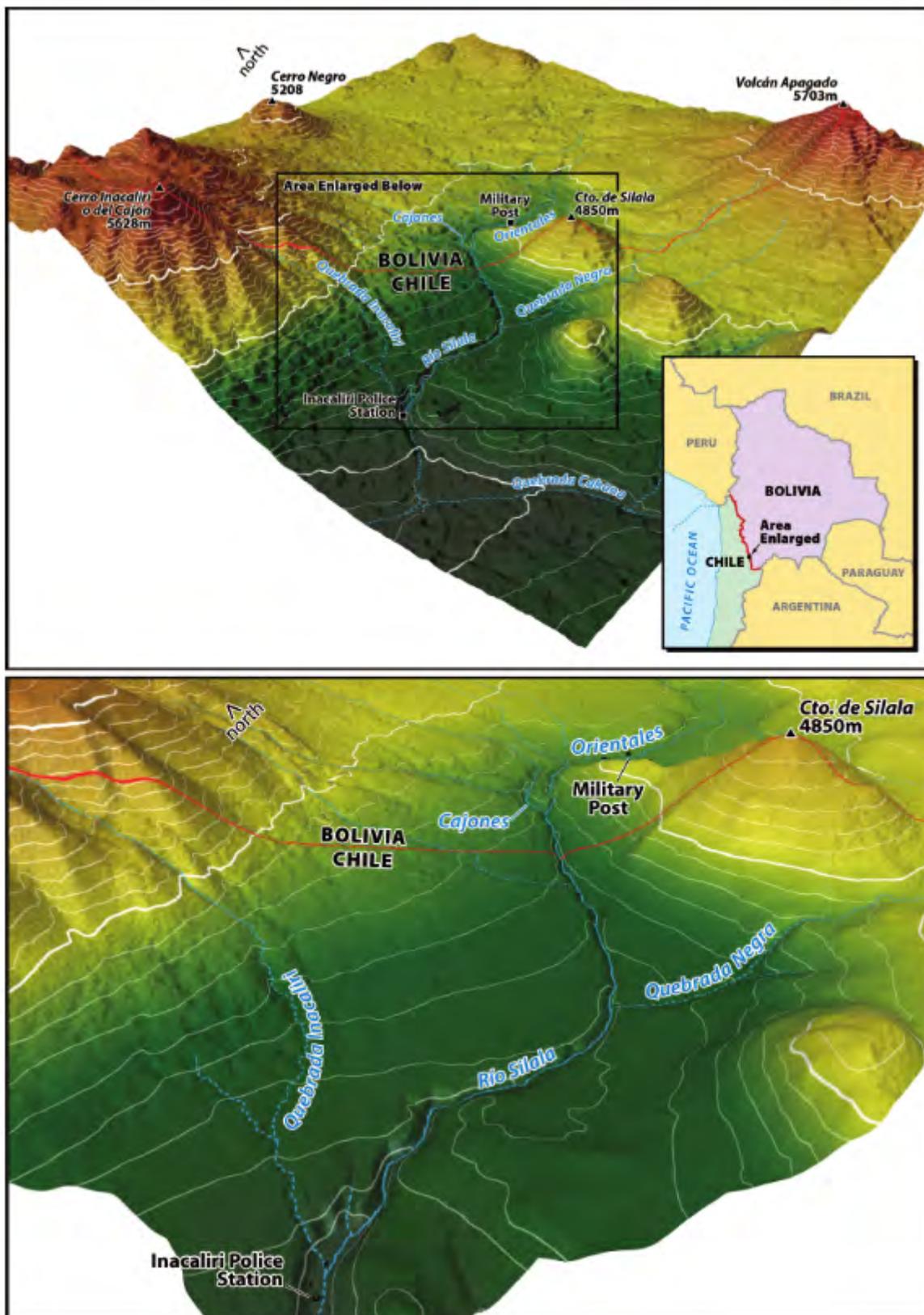


Figure 8
Images 3D illustrant les courbes de niveau de la région du Silala
Rapport d'experts 1, fig. 3

22

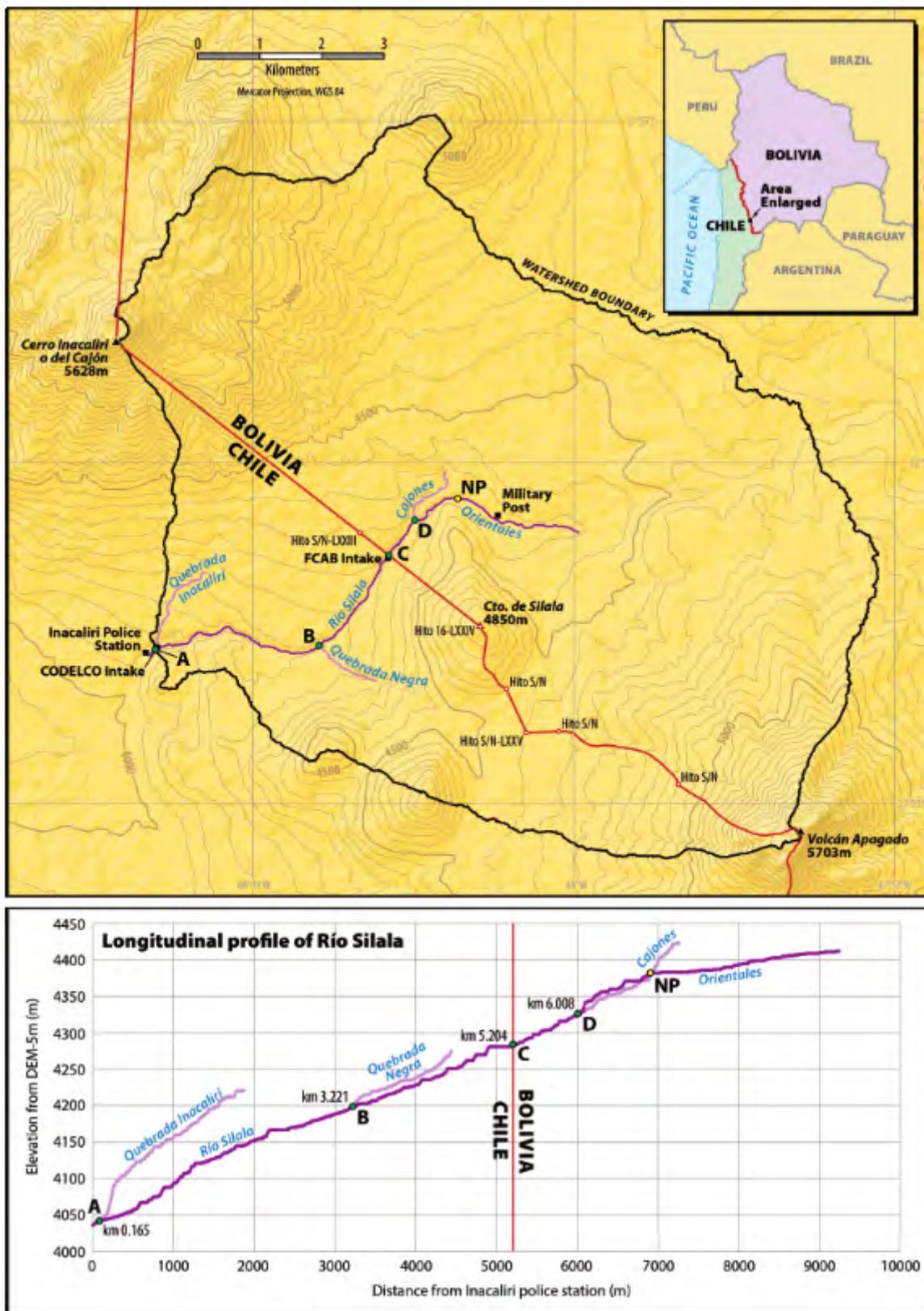


Figure 9
Coupe longitudinale du Silala et de ses principaux affluents
Rapport d'experts 1, fig. 4

23

2.8. La pente topographique du chenal occupé par le Silala, depuis les zones humides Orientales et Cajones en Bolivie jusqu'à son exutoire au Chili, est continue et suit une pente descendante d'environ 4 à 5 % en aval des zones humides, une fois que la rivière pénètre dans la gorge (figure 9)¹⁸. Par conséquent, il ressort clairement de la topographie du bassin versant et de la pente du chenal accueillant la rivière que, pour s'écouler, l'eau qui jaillit des sources en Bolivie ne peut emprunter d'autre trajet que la pente descendante qui la mène jusqu'au Chili¹⁹.

2.9. Sur le plan géologique, les origines du Silala remontent à une période comprise entre 5,8 et 2,6 millions d'années, au cours de laquelle l'activité volcanique a modelé les premiers éléments qui distinguent aujourd'hui le relief topographique du bassin hydrographique, y compris les lieux-dits Cerro Inacaliri ou del Cajón (le mont Inacaliri ou del Cajón, ci-après le «Cerro Inacaliri»), Cerrito de Silala (la colline de Silala) et Cerros de Silaguala (les monts Silaguala)²⁰. Il y a environ 2,6 à 1,5 million d'années, la zone a connu une activité fluviale épousant plus ou moins le cours de la rivière actuelle, mais une coulée de lave qui a jailli du Cerro Inacaliri, alors un volcan actif, est venue l'interrompre. Cette coulée de lave a rempli en partie la dépression qui accueille aujourd'hui les zones humides Orientales (où se situe l'un des deux réseaux de sources qui forment le Silala) (figure 10)²¹.

¹⁸ Rapport d'experts 1, p. 14.

¹⁹ *Ibid.*, p. 7 ; rapport d'experts 2, p. 47.

²⁰ Rapport d'experts 2, p. 19.

²¹ *Ibid.*, p. 22-23.

24

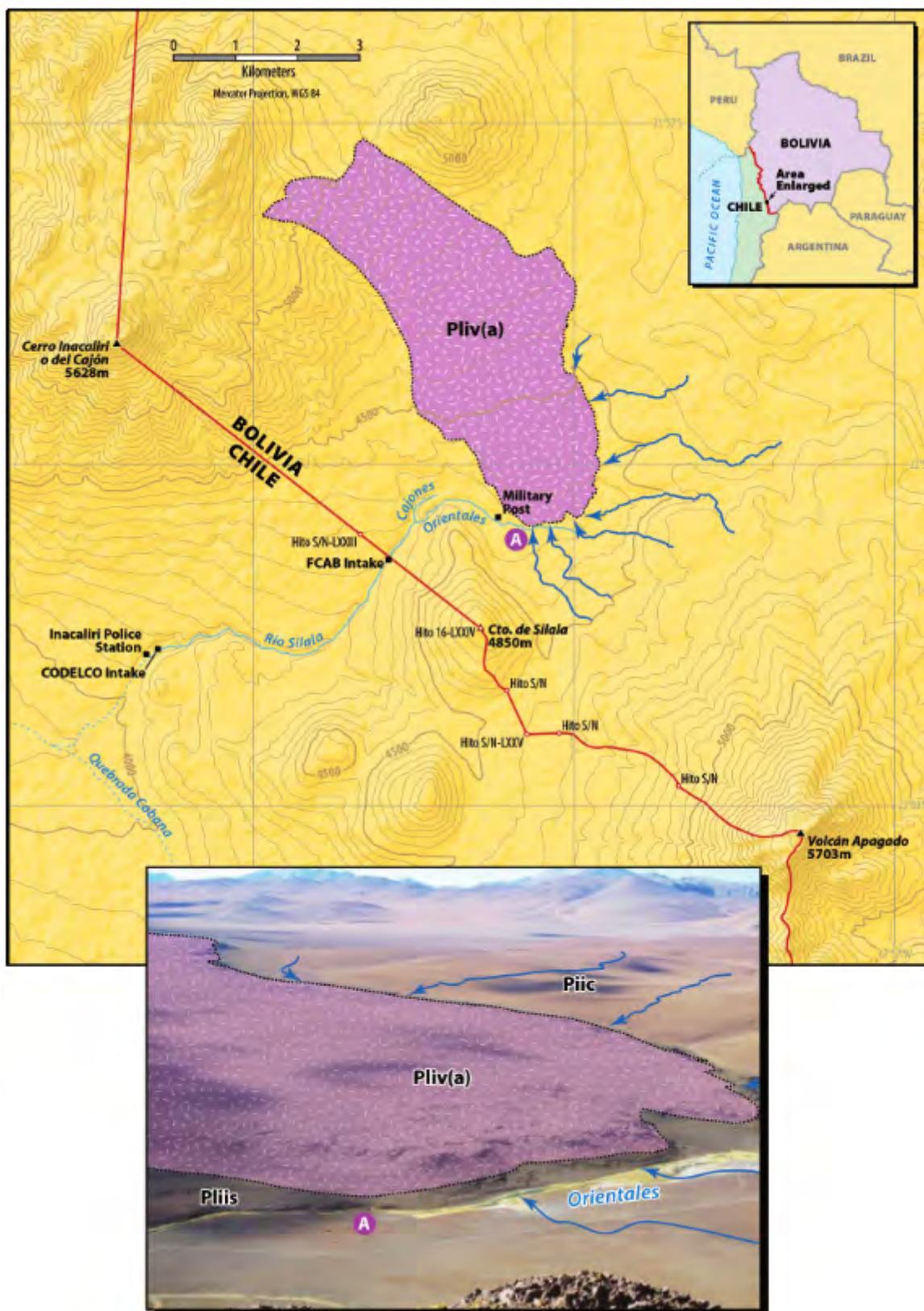


Figure 10
Coulée de lave Pliv(a) survenue il y a environ 7,5 millions d'années
Rapport d'experts 2, fig. 4-4

25

2.10. La gorge où s'écoule aujourd'hui le Silala est en formation le long du parcours actuel de la rivière depuis au moins 8400 ans. Cette estimation (8430 à 8350 années avant le présent) a été obtenue par datation au carbone 14 de matières organiques prélevées dans des gisements sédimentaires échantillonnés dans différents sites de la gorge²².

2.11. Les experts mandatés par le Chili ont observé quatre périodes d'accumulation de sédiments dans la gorge du Silala — ils ont notamment trouvé des traces de végétation hygrophile — suivies de périodes d'érosion fluviale²³. Ces cycles naturels sont associés à la variabilité du climat²⁴. Il s'est ainsi formé quatre terrasses fluviales, que l'on distingue clairement le long de la gorge et qui ne peuvent être que le fruit de l'activité fluviale (figure 11)²⁵.

2.12. Le parcours du Silala est relativement sinueux et se dessine en forme de V, typique de l'érosion fluviale. La gorge présente d'autres caractéristiques courantes, telles que des marmites et des *cavettos* observés à différentes hauteurs sur les parois, marques d'une érosion survenue à des niveaux d'eau antérieurs, normalement sur le bord externe d'un coude²⁶. Toutes ces marques ne laissent subsister aucun doute quant au fait que la gorge a été creusée par une rivière²⁷.

²² Rapport d'experts 2, p. 31.

²³ *Ibid.*, p. 31-32.

²⁴ *Ibid.*, p. 31-32.

²⁵ *Ibid.*, p. 37.

²⁶ *Ibid.*, p. 37.

²⁷ *Ibid.*, p. 45.

26

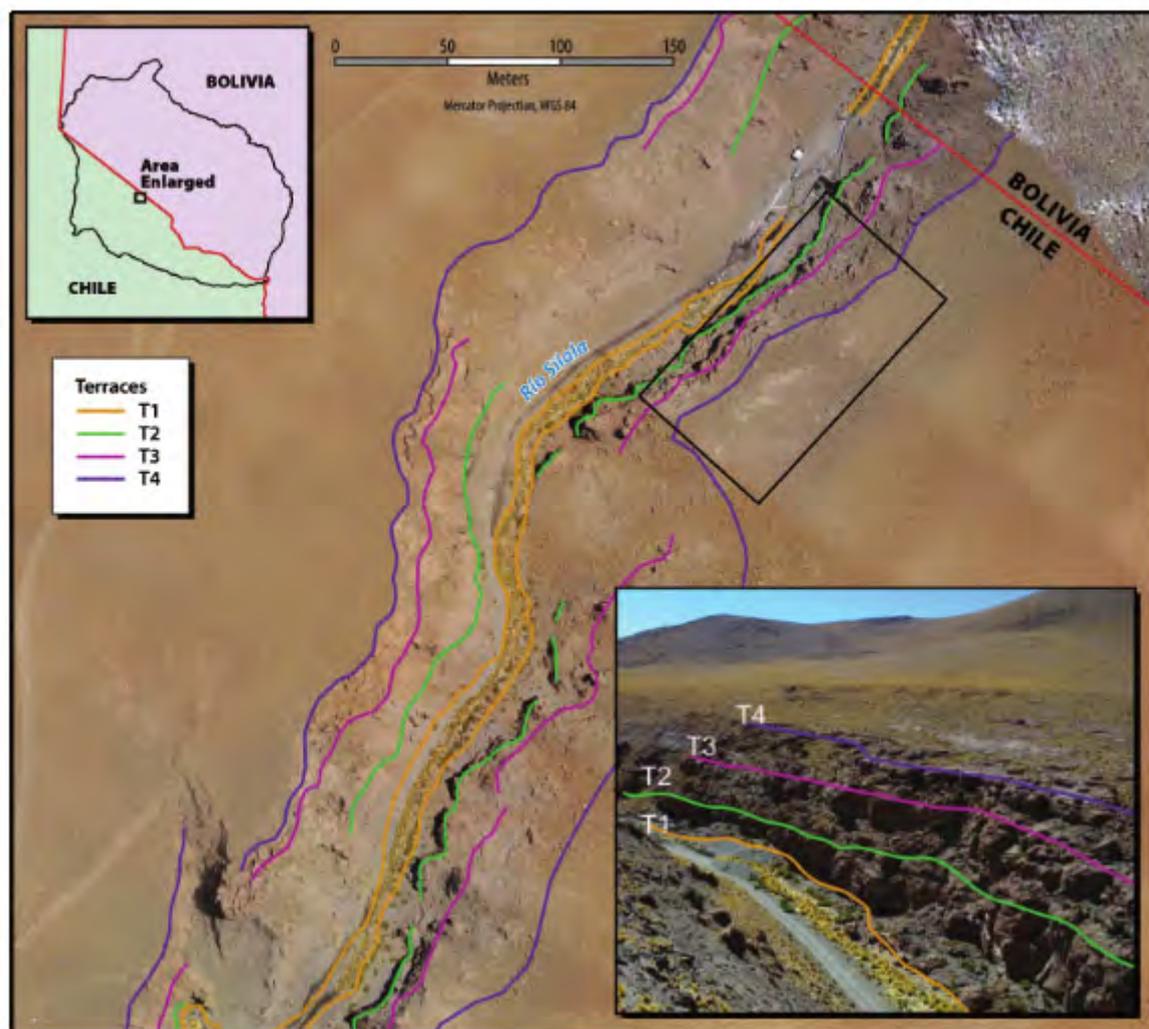


Figure 11
Délimitation des terrasses sur le versant est de la gorge du Silala,
à 50 m au sud-ouest de la frontière internationale
Rapport d'experts 2, fig. 5-3

2.13. Les peuples autochtones des régions de l'Altiplano et du désert d'Atacama étaient nomades et le Silala formait sans doute une route qui reliait les hauts-plateaux, au moins jusqu'à la fin du XIX^e siècle. Les vestiges archéologiques découverts au cours des recherches effectuées en 2016 dans les terrasses longeant la gorge du Silala au Chili, notamment des abris, de la poterie et une pointe de flèche remontant à la civilisation précolombienne, confirment que la gorge du Silala accueille (probablement de façon sporadique) des habitats humains, des troupeaux d'animaux et peut-être un espace de chasse d'animaux sauvages au moins depuis 1500 ans (figure 12)²⁸.

²⁸ Rapport d'experts 2, p. 34-35.

27

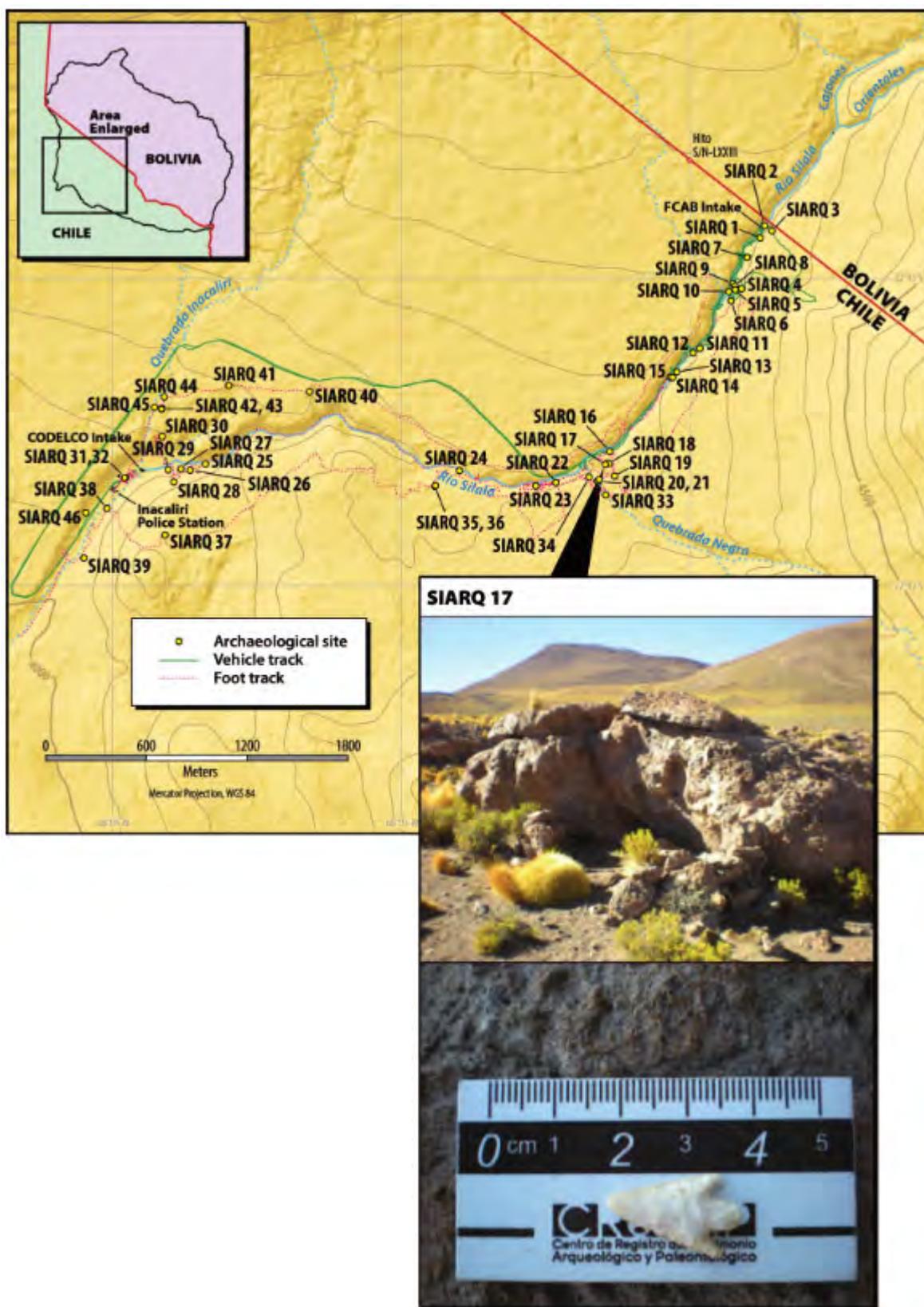


Figure 12
Sites archéologiques mis au jour dans la gorge du Silala et les terrasses du Silala ;
en gros plan, le site 17 et une pointe de flèche découverte sur le site
Rapport d'experts 2, fig. 6-1

28

2.14. Le Silala demeure à ce jour une rivière à dynamique géomorphologique active, ce qui signifie qu'il ne se limite pas à conduire l'eau, les processus d'érosion et de transport sédimentaire qui ont façonné la gorge transfrontière étant toujours à l'œuvre²⁹. Le Silala est aussi actif sur le plan biologique, puisqu'il abrite une population en bonne santé de truites arc-en-ciel (espèce introduite au Chili) et d'invertébrés³⁰.

2.15. L'écoulement de surface du Silala interagit en différents points avec plusieurs systèmes hydrogéologiques. Le Silala est alimenté par les sources souterraines des zones humides Orientales et Cajones en Bolivie, qui lui assurent un écoulement pérenne³¹. Au Chili, il reçoit les eaux de sources émergeant des parois de la gorge transfrontière, dont la température est sensiblement plus élevée³². Un aquifère plus profond alimente également la rivière à proximité de sa jonction avec la gorge Quebrada Negra, avec des eaux dont la température est aussi plus chaude³³, tandis que le Silala contribue à son tour à un aquifère sous-fluvial, ce qui induit une diminution de son débit³⁴. Les analyses des isotopes de l'environnement montrent que la plupart des sources et les aquifères profonds, s'ils diffèrent par leur composition chimique et leur âge, se rechargent à haute altitude³⁵.

29

2.16. Bien que le Silala se situe dans une région aride à proximité du désert d'Atacama, les précipitations annuelles sont importantes, en particulier pendant l'été austral, de janvier à mars. La moyenne annuelle de précipitation sur le bassin versant du Silala s'élève à 165 mm³⁶. Les températures peuvent descendre au-dessous de zéro, même en été. Par conséquent, les précipitations peuvent se présenter sous forme de pluie à faible altitude et de neige à plus haute altitude³⁷. La formation de surface du bassin est très perméable, ce qui permet à l'eau des précipitations de s'infiltrer pour recharger le système hydrogéologique, au lieu de générer un ruissellement rapide³⁸. Le taux élevé d'infiltration explique la constance relative du débit du Silala, dont la variabilité est limitée, confirmant qu'il est principalement une émergence de nappes souterraines³⁹.

2.17. Les experts mandatés par le Chili concluent, sans l'ombre d'un doute, que le Silala est un système d'eaux de surface et d'eaux souterraines constituant, du fait de leurs relations physiques, un ensemble unitaire, s'écoulant de la Bolivie vers le Chili, selon une pente naturelle, et aboutissant à un point d'arrivée commun⁴⁰.

²⁹ Rapport d'experts 1, p. 46.

³⁰ *Ibid.*, p. 49.

³¹ *Ibid.*, p. 11.

³² *Ibid.*, p. 40-41.

³³ *Ibid.*, p. 43.

³⁴ *Ibid.*, p. 44.

³⁵ *Ibid.*, p. 43.

³⁶ *Ibid.*, p. 27.

³⁷ *Ibid.*, p. 30.

³⁸ *Ibid.*, p. 38.

³⁹ *Ibid.*, p. 23.

⁴⁰ *Ibid.*, p. 49 ; rapport d'experts 2, p. 47.

B. LES EAUX DU SILALA ONT JOUÉ UN RÔLE ESSENTIEL DANS L'HABITAT MODERNE ET LE DÉVELOPPEMENT DE LA RÉGION D'ANTOFAGASTA

2.18. Le Silala, dont la longueur, la taille et le débit en font une rivière assez modeste, tire son importance de son emplacement géographique, au cœur de l'un des déserts les plus secs au monde, et de la qualité de son eau, qui contient des concentrations bien inférieures en minéraux et arsenic que celle de nombre d'autres cours d'eau situés dans la région chilienne d'Antofagasta.

30

2.19. Pendant plus de la moitié du XX^e siècle, le Silala a alimenté en eau potable, entre autres, la ville portuaire d'Antofagasta et a, à ce titre, contribué de manière importante au maintien de la population et au développement de la ville et de la région qui l'entoure. Jusqu'à 2010, le Silala fournissait encore l'eau destinée à la consommation humaine des villages de Sierra Gorda et Baquedano, situés le long de la voie ferrée reliant Antofagasta à La Paz⁴¹. Aujourd'hui, une part importante (60 %) de l'eau prélevée du Silala par l'entreprise publique chilienne d'extraction minière CODELCO est destinée à la consommation humaine, dans les divisions minières de Radomiro Tomic, Ministro Hales et Chuquicamata, qui se trouvent toutes dans la région d'Antofagasta⁴². Cela représente 30 % de la quantité totale d'eau actuellement extraite du Silala.

2.20. En outre, les eaux du Silala ont été utilisées à des fins industrielles dans le cadre de l'exploitation de la voie ferrée reliant Antofagasta à La Paz au moins jusqu'à la fin des années 1950, période à laquelle les locomotives diesel ont commencé à remplacer les moteurs à vapeur. Le Silala a été et est encore utilisé pour d'autres activités industrielles, dont la transformation du salpêtre et le traitement du minerai de cuivre dans l'industrie minière, deux filières vitales pour l'économie de la région d'Antofagasta.

31

2.21. L'utilisation moderne des eaux du Silala remonte à 1906, date à laquelle la compagnie ferroviaire britannique Antofagasta (Chili) and Bolivia Railway Company Limited (Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia, ci-après la «FCAB») a acquis du Gouvernement chilien une concession pour exploiter la rivière⁴³. Deux ans plus tard, en 1908, la FCAB a également obtenu un droit d'utilisation du Gouvernement bolivien⁴⁴. Au Chili, la FCAB demandait à utiliser les eaux du Silala pour satisfaire les besoins en eau potable d'Antofagasta, tandis qu'en Bolivie l'eau était destinée à alimenter les moteurs à vapeur des locomotives exploitées sur la ligne Antofagasta-La Paz. Le contexte historique entourant l'octroi de ces concessions est expliqué plus en détail au chapitre 4.B.3.

2.22. Aucune installation d'adduction d'eau ou chenal artificiel n'existait en Bolivie ou au Chili lorsque la FCAB a obtenu le droit d'utiliser les eaux du Silala. La FCAB a construit son premier ouvrage de prise d'eau en 1909 en territoire bolivien, en contrebas de la confluence des gorges Cajones et Orientales, à environ 600 mètres de la frontière internationale (ci-après la «prise d'eau n° 1»). En 1910, la conduite qui relie la prise d'eau n° 1 aux réservoirs d'eau de la FCAB situés au niveau de la gare de San Pedro en territoire chilien (ci-après les «réservoirs de San Pedro»), à quelque 60 kilomètres de distance, a été officiellement mise en service (ci-après la

⁴¹ Avis de cessation de l'alimentation en eau du 5 octobre 2010 adressé par la FCAB aux villages de Baquedano et Sierra Gorda. MC, annexes 69.1 et 69.2.

⁴² République du Chili, arrêté n° 5571 en date du 28 novembre 2002, signé par le directeur de la santé d'Antofagasta. MC, annexe 61.

⁴³ Acte de concession (n° 1892), par le Chili, des eaux du Siloli en faveur de l'Antofagasta (Chili) and Bolivia Railway Company Limited, en date du 31 juillet 1906. MC, annexe 55.

⁴⁴ Acte de concession (n° 48), par la Bolivie, des eaux du Siloli en faveur de l'Antofagasta (Chili) and Bolivia Railway Company Limited, en date du 28 octobre 1908. MC, annexe 41.

«conduite n° 1»). A l'époque, la conduite n° 1 avait une capacité d'environ 75 litres par seconde⁴⁵. En 1942, un deuxième ouvrage de prise d'eau (ci-après la «prise d'eau de la FCAB») et une deuxième conduite (ci-après la «conduite n° 2») ont été construits en territoire chilien, à quelque 40 mètres de la frontière internationale⁴⁶.

2.23. Dans les réservoirs de San Pedro, l'eau du Silala était mélangée à celle provenant d'autres cours d'eau et raccordée à la conduite existante menant à Antofagasta⁴⁷. Depuis lors, le Silala fournit plus de 80 % de la quantité totale d'eau accumulée dans les réservoirs de San Pedro.

32

2.24. Le 14 mai 1997, la Bolivie a «révoqué et résilié» la concession de la FCAB sur son territoire⁴⁸. Depuis lors, la prise d'eau de la FCAB en territoire chilien est le seul ouvrage de prise d'eau du Silala encore exploité par la compagnie.

2.25. En 1928, la FCAB a décidé pour des raisons sanitaires de construire des chenaux à écoulement libre en Bolivie, et ce, afin d'empêcher que les insectes se reproduisent dans les eaux d'amont du Silala et d'éviter la contamination de l'eau potable alimentant Antofagasta. Ces chenaux vont des sources supérieures Orientales à la prise d'eau n° 1, et comprennent une canalisation enterrée dans une tranchée reliant les sources Cajones à la prise d'eau n° 1⁴⁹.

2.26. Côté bolivien, les chenaux épousent le canal de drainage naturel et la déclivité naturelle de la rivière. Leur construction, après 17 années d'utilisation ininterrompue des eaux du Silala au Chili, démontre que les chenaux aménagés en Bolivie n'ont ni modifié le cours naturel de la rivière, ni «détourné» les eaux du Silala de la Bolivie vers le Chili. Les eaux du Silala s'écoulaient et continueront de s'écouler naturellement du territoire bolivien en direction du Chili, constat qui vaut avant et après la construction des chenaux et indépendamment de celle-ci.

2.27. Les experts mandatés par le Chili estiment que, en raison de leur faible profondeur, les chenaux construits en territoire bolivien ont eu un effet limité sur les zones humides Orientales et Cajones en Bolivie⁵⁰. Les chenaux n'étaient plus entretenus depuis la résiliation de la concession bolivienne en 1997, jusqu'à ce que des travaux soient entrepris très récemment⁵¹. D'après ce que ces mêmes experts ont pu constater, ces variations dans la maintenance des chenaux n'ont eu aucun effet détectable sur l'étendue des zones humides⁵². L'effet que peuvent avoir les chenaux sur le débit transfrontière en réduisant l'évaporation dans les zones humides est par conséquent très

33

⁴⁵ Robert H. Fox, The Waterworks Department of the Antofagasta (Chili) & Bolivia Railway Company, *South African Journal of Science*, 1922. MC, annexe 75.

⁴⁶ Lettre en date du 3 septembre 1942 adressée au président du conseil d'administration de la FCAB à Londres par le directeur général de la FCAB au Chili. MC, annexe 68.

⁴⁷ Lettre en date du 23 novembre 1910 adressée au secrétaire du conseil d'administration de la FCAB à Londres par le directeur général de la FCAB au Chili. MC, annexe 66.

⁴⁸ Arrêté n° 71/97 de la préfecture du département de Potosí, 14 mai 1997. MC, annexe 46.

⁴⁹ Lettre en date du 27 janvier 1928 adressée au secrétaire du conseil d'administration de la FCAB à Londres par le directeur général de la FCAB au Chili. La construction des chenaux s'est achevée en juin (voir la lettre datée du 29 juin 1928). MC, annexes 67.1 et 67.2.

⁵⁰ Rapport d'experts 1, p. 36-37.

⁵¹ Le Chili constate qu'il y a peu (2017), la Bolivie a lancé des travaux de débroussaillage et de nettoyage le long des chenaux, que l'on peut distinguer par simple observation à la frontière internationale.

⁵² Rapport d'experts 1, p. 37.

limité : selon les calculs, l'équivalent de moins de 3,4 litres par seconde, soit 2 % de l'écoulement annuel moyen⁵³.

2.28. En 1956, un autre ouvrage de prise d'eau installé plus en aval a été mis en service par la société chilienne de prospection Chiles (aujourd'hui dénommée Corporación Nacional del Cobre de Chile ou CODELCO)⁵⁴. Cet ouvrage (ci-après la «prise d'eau de la CODELCO») se situe à environ cinq kilomètres en aval de la frontière internationale, à proximité de la jonction entre le Silala et Quebrada Inacaliri, juste en amont du poste de police d'Inacaliri.

2.29. Les prises d'eau et conduites actuellement en service, exploitées par la FCAB et la CODELCO, sont illustrées à la figure 13.

34

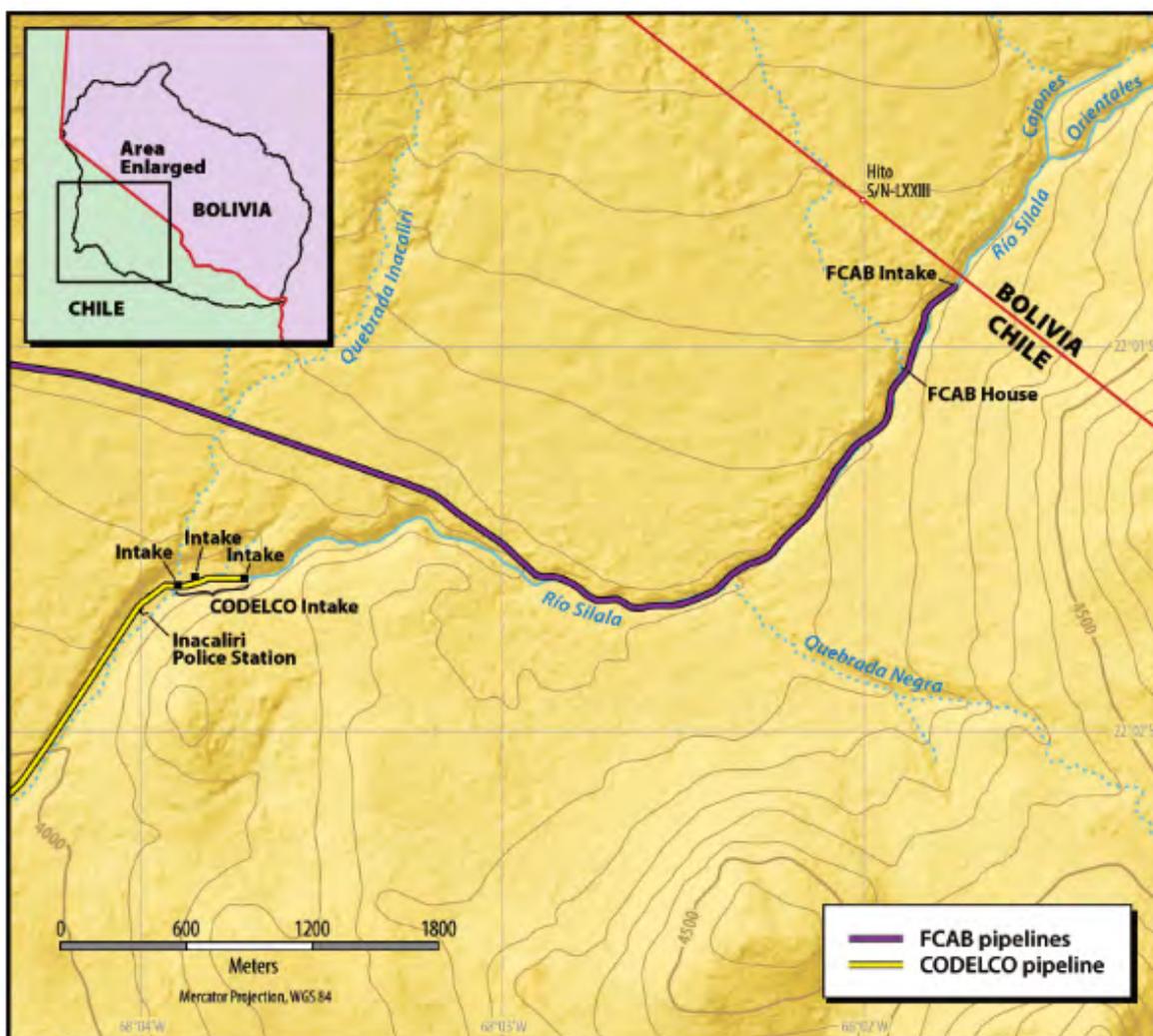


Figure 13
Réseau actuel de conduites de la FCAB et de la CODELCO
utilisé pour prélever les eaux du Silala

⁵³ *Ibid.*, p. 36.

35

2.30. Depuis lors et jusqu'à aujourd'hui, sur l'écoulement moyen de 170 litres par seconde traversant la frontière entre la Bolivie et le Chili, la FCAB extrait en moyenne 125 litres par seconde au niveau de sa prise d'eau située à proximité de la frontière internationale, et la CODELCO prélève les 45 litres par seconde restants plus en aval, à son propre point de prise d'eau⁵⁵. En outre, la CODELCO prélève des apports supplémentaires de sources souterraines au Chili, en aval de la frontière internationale, si bien qu'au total elle extrait en moyenne 140 litres par seconde au niveau de son ouvrage de prise d'eau. Sur la quantité totale d'eau extraite par la CODELCO, 60 % sert à alimenter en eau potable les divisions minières de Radomiro Tomic, Ministro Hales et Chuquicamata⁵⁶. Cela signifie qu'en moyenne 30 % de l'eau du Silala aujourd'hui prélevée au Chili est destinée à la consommation humaine.

2.31. Les utilisations passées et présentes des eaux du Silala confirment l'importance que celui-ci revêt pour le tissu vivrier et le développement de la région d'Antofagasta. Dès le début du XX^e siècle, le réseau d'adduction d'eau, les conduites et les ouvrages aménagés par la FCAB ont permis l'utilisation rationnelle des eaux de la rivière au Chili, une utilisation qui se limitait au départ à la consommation humaine et à l'exploitation des voies ferrées, puis s'est étendue à d'autres activités industrielles. Depuis la fin des années 1950, des ressources supplémentaires sont extraites du Silala par la compagnie minière CODELCO, dont 60 % sont destinées à la consommation humaine dans les divisions minières de la compagnie situées dans la région d'Antofagasta. Les eaux du Silala revêtent par conséquent une importance particulière pour le Chili.

⁵⁴ Les droits que détient la CODELCO à l'égard des eaux du Silala représentent en tout 160 litres par seconde. Voir République du Chili, arrêtés n° 1324 du 25 juin 1958 (concédaient un débit initial de 119 litres par seconde) et n° 239 du 22 mars 1990 (par lequel la direction générale de l'eau du Chili autorise la prise de 41 litres par seconde supplémentaires). MC, annexes 56 et 59. (Les droits de la CODELCO sont attribués pour la rivière Inacaliri, nom que prend le Silala en aval de sa confluence avec Quebrada Inacaliri.)

⁵⁵ Conformément au code de l'eau actuellement en vigueur au Chili, les droits acquis par la FCAB en vertu de la concession accordée par le Chili en 1906 sont reconnus à concurrence de 237 litres par seconde. Voir l'acte de concession émis le 22 janvier 1990 par le Chili, régissant les droits de la FCAB sur le Silala conformément aux dispositions du code de l'eau de 1981. MC, annexe 58. Toutefois, en 1989, la FCAB et la CODELCO sont convenues que les activités d'extraction de la FCAB n'empiéteraient pas sur les 160 litres par seconde acquis à la CODELCO ; voir contrat conclu entre la CODELCO et la FCAB, 6 novembre 1989. MC, annexe 74. Depuis cette date, la FCAB ne prélève que 125 litres par seconde en moyenne, laissant le reste de l'écoulement transfrontière à la CODELCO.

⁵⁶ République du Chili, arrêté n° 5571 en date du 28 novembre 2002, signé par le directeur de la santé d'Antofagasta. MC, annexe 61.

CHAPITRE 3

GENÈSE DU DIFFÉREND

3.1. Dans le présent chapitre, le Chili décrira la genèse du différend qui l'oppose à la Bolivie concernant la nature et l'utilisation du Silala. La section A établira que, pour la Bolivie, il est entendu depuis longtemps que le Silala revêt un caractère international. La section B décrira la façon dont la Bolivie, dans un revirement soudain et inédit en 1999, en est venue à nier le caractère international du Silala, sans s'appuyer sur aucun fondement scientifique ou élément du droit international. La section C expliquera la décision prise par le Chili de porter cette question devant la Cour.

A. LA BOLIVIE RECONNAÎT DE LONGUE DATE LE CARACTÈRE INTERNATIONAL DU SYSTÈME HYDROGRAPHIQUE DU SILALA

3.2. Pendant plus d'un siècle, la Bolivie a considéré, comme l'attestent ses déclarations publiques et autres actes, que le Silala était un cours d'eau international, s'écoulant selon son cours naturel du territoire bolivien vers le Chili.

3.3. Pour la Bolivie, il était entendu (et elle avait tout à fait raison) que le Silala était un cours d'eau transfrontière, comme il ressort du plan annexé au traité de paix et d'amitié de 1904 qu'elle a conclu avec le Chili, signé par M. Alberto Gutiérrez, son ambassadeur au Chili, et M. Emilio Bello Codesido, ministre chilien des affaires étrangères. Ce plan montre le point où le Silala franchit la frontière entre les deux pays (figure 14).

38



Figure 14
Plan annexé au traité de paix et d'amitié, 20 octobre 1904
MC, annexe 82

3.4. Pour preuve de cette reconnaissance, citons également la participation de la Bolivie aux activités communes de démarcation et de révision menées dans la région du Silala en 1906⁵⁷ et en 1924⁵⁸, ainsi qu'aux activités ultérieures de la commission mixte des frontières créée par les deux pays en 1942⁵⁹.

39

3.5. Ainsi, en mai 1996 encore, l'ambassadeur bolivien Teodosio Imaña Castro, alors président de la commission bolivienne sur la souveraineté et les frontières et président de la commission mixte des frontières, confirmait que le Silala s'écoulait naturellement de la Bolivie vers le Chili, suivant une pente continue :

⁵⁷ Voir travaux de la commission des limites Chili-Bolivie, procès-verbal du 23 mars 1906 (p. 1-2). MC, annexe 6. Voir aussi travaux de la commission des limites Chili-Bolivie, rapport du 14 août 1906 signé par le chef de la commission bolivienne chargée de la démarcation, Quintín Aramayo Ortíz (p. 14-18). MC, annexe 40.

⁵⁸ Rapport du commandant Carlos Graña et autres sur les travaux de révision du tracé de la frontière avec le Chili, La Paz, 20 juin 1924. MC, annexe 43. Voir aussi commission mixte de révision et de remplacement des bornes frontière, procès-verbal du 7 juin 1924. MC, annexe 7.

⁵⁹ Voir ci-dessous, chapitre 4.B.2.

«Il est constitué de deux sources principales mais reçoit également les eaux d'autres sources moins importantes. Le mince écoulement ainsi formé, dénommé le Silala, parcourt le territoire bolivien sur environ deux kilomètres avant de franchir la frontière en un point du versant est-ouest de la vallée située entre le Cerro Inacaliri et le Cerro Silala. *La pente est d'environ 30 % [sic, plus probablement 3 %], selon les calculs des experts, [le] lit [de la rivière] est étroit et ses eaux cristallines coulent, du fait de la gravité, en direction de l'aval jusqu'en territoire chilien.*»⁶⁰ (Les italiques sont de nous.)

3.6. Les éléments de preuve recueillis par les experts mandatés par le Chili, décrits au chapitre 2, confirment que cette déclaration de la Bolivie est dans l'ensemble correcte.

3.7. Il ne saurait faire de doute que le Silala est une formation géographique naturelle qui traverse la frontière internationale entre la Bolivie et le Chili par gravité. Aucun doute n'est davantage permis sur le fait que la Bolivie a constamment reconnu ce fait naturel dans ses relations bilatérales avec le Chili, dès avant la conclusion du traité de 1904 et jusqu'à 1999, date à laquelle elle a, dans un revirement soudain, soutenu que le Silala n'était pas un cours d'eau international, ni même une rivière.

40

B. ORIGINE DU DIFFÉREND : LE CHANGEMENT DE POSITION DE LA BOLIVIE EN 1999 CONCERNANT LE CARACTÈRE INTERNATIONAL DU SYSTÈME HYDROGRAPHIQUE DU SILALA

3.8. Sans prévenir, dans une note diplomatique adressée au Chili en 1999, la Bolivie a affirmé pour la première fois que le Silala était une ressource hydrique exclusivement bolivienne. A contre-pied de toutes ses déclarations antérieures et niant des faits pourtant évidents, elle a soutenu, en quelques lignes, que le Silala ne présentait aucune des caractéristiques permettant de le qualifier de rivière :

«Entièrement situées en territoire bolivien, les eaux du Silala proviennent de sources qui jaillissent de terre (*ojos de agua*) et créent des zones humides, d'où elles sont captées et canalisées au moyen d'ouvrages artificiels, *formant un système qui ne présente aucune des caractéristiques d'une rivière, ni, à plus forte raison, d'un cours d'eau international successif.*»⁶¹ (Les italiques sont de nous.)

3.9. Cette déclaration sans précédent n'a été étayée par aucun raisonnement juridique ni aucune preuve scientifique ou d'une autre nature.

3.10. Le Chili a immédiatement émis une protestation, exprimant son désaccord avec la négation brusque et unilatérale par la Bolivie de faits objectifs et d'une pratique séculaire. Dans sa note diplomatique du 15 septembre 1999, se fondant sur les règles du droit international général ainsi que sur de robustes preuves scientifiques, il a affirmé ce qui suit :

«De nombreux documents géographiques, historiques, cartographiques et juridiques émanant du Chili, de la Bolivie ou de ces deux pays conjointement offrent

⁶⁰ Interview donnée par M. Teodosio Imaña Castro, ambassadeur de la Bolivie, le 31 mai 1996, *Presencia*, La Paz (Bolivie). MC, annexe 71.

⁶¹ Note n° GMI-656/99 en date du 3 septembre 1999 adressée au consulat général du Chili par le ministère des affaires étrangères et des cultes de la République de Bolivie. MC, annexe 27.

41

la preuve irréfutable que telle est bien, au contraire, la nature du Silala [c'est-à-dire celle d'une rivière] : au vu de ses caractéristiques, celui-ci forme une ressource hydrique partagée au cours successif, à laquelle s'appliquent les principes généraux de droit international, la Bolivie étant le «pays d'aval» et le Chili, celui «d'amont» ... En tant qu'il s'écoule, de manière naturelle et permanente, vers le territoire de la République du Chili, il s'agit d'une rivière binationale ou dont les eaux sont partagées ... Il y a en outre lieu de relever que, *avant ce jour, le Gouvernement bolivien n'avait jamais officiellement nié le fait que le Silala constitue une rivière au sens ordinaire de ce terme en droit international.*»⁶² (Les italiques sont de nous.)

3.11. Le Chili a invité la Bolivie à

«poursuivre les discussions sur le Silala dans le cadre d'un dialogue bilatéral constructif, en partant du constat qu'il s'agit d'un cours d'eau successif auquel il y a lieu d'appliquer, [pour l'utilisation partagée de ses eaux], les principes reconnus par la communauté internationale»⁶³.

3.12. La Bolivie a toutefois maintenu sa position intenable, adressant au Chili la réponse suivante :

«le ministère est convaincu que les eaux de source du Silala qui ont fait l'objet de la concession de 1908 ne constituent pas une «rivière» et encore moins «une rivière binationale ou dont les eaux sont partagées» parce qu'elles ne forment pas un système combinant les éléments (eau vive, lit et berges) requis selon l'une des définitions universellement reconnues de ce terme. Il n'existe pas de berges faute d'écoulement naturel générant un lit.»⁶⁴

3.13. Le Chili a continué de manifester son désaccord par des notes diplomatiques, le 14 octobre puis le 3 décembre 1999⁶⁵.

42

a) Dans la note datée du 14 octobre 1999, le Chili souligne que :

«[I] est donc très clair qu'une partie de ce bassin hydrologique se trouve en territoire chilien, puisqu'on ne saurait affirmer qu'un phénomène géographique naturel s'arrête à une frontière politique qui, dans ce secteur, est une ligne droite et non une ligne de partage des eaux.»⁶⁶

⁶² Note n° 017550 en date du 15 septembre 1999 adressée au ministère des affaires étrangères et des cultes de la République de Bolivie par le ministère des affaires étrangères de la République du Chili. MC, annexe 28.

⁶³ *Ibid.*

⁶⁴ Note n° GMI-815/99 en date du 16 novembre 1999 adressée au ministère des affaires étrangères de la République du Chili par le ministère des affaires étrangères et des cultes de la République de Bolivie. MC, annexe 29.

⁶⁵ Note n° 1084/151 en date du 14 octobre 1999 adressée au ministère des affaires étrangères et des cultes de la République de Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz et note n° 022314 en date du 3 décembre 1999 adressée au ministère des affaires étrangères et des cultes de la République de Bolivie par le ministère des affaires étrangères de la République du Chili. MC, annexes 30.1 et 30.2.

⁶⁶ Note n° 1084/151 en date du 14 octobre 1999 adressée au ministère des affaires étrangères et des cultes de la République de Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz. MC, annexe 30.1.

b) Dans sa note datée du 3 décembre 1999, le Chili souligne une nouvelle fois qu'il fonde sa position sur le droit international et des preuves irrécusables⁶⁷.

3.14. Le 25 avril 2000, la Bolivie a concédé, pour une durée de quarante ans, l'utilisation des eaux du Silala à une entreprise privée bolivienne, DUCTEC S.R.L., autorisant la commercialisation ou l'exportation de celles-ci à des fins industrielles et de consommation par l'homme, vraisemblablement au Chili, puisque étaient expressément exclues la distribution d'eau potable ou l'évacuation des eaux usées en Bolivie en l'absence d'une concession d'utilité publique supplémentaire, ainsi que leur exploitation dans le cadre d'activités minières exercées par des tiers sur le territoire bolivien⁶⁸. En mai 2000, la DUCTEC a tenté de facturer à la CODELCO et à la FCAB l'usage fait par celles-ci des eaux du Silala, au mépris des droits détenus par ces deux entreprises sur l'exploitation de ces eaux en territoire chilien⁶⁹.

43

3.15. Par une note diplomatique datée du 27 avril 2000, le Chili s'est formellement opposé à la concession octroyée à la DUCTEC sur les eaux du Silala, au motif qu'elle ne tenait pas compte du caractère international de la rivière ni du droit du Chili d'en exploiter les eaux⁷⁰. En outre, le Chili a renouvelé son invitation : «d'engager dans les meilleurs délais un dialogue bilatéral franc et approfondi qui permettra de convenir d'un cadre de coopération et d'utilisation équitable, dans le sincère espoir de parvenir à un accord sur cette ressource hydrique partagée»⁷¹.

3.16. Les efforts déployés par le Chili afin de maintenir des liens de collaboration entre les Etats riverains ont abouti à la création d'une commission technique conjointe.

3.17. En octobre 2000, des techniciens boliviens et chiliens ont effectué des relevés au sol de part et d'autre de la frontière internationale, dans le cadre d'un programme conjoint de terrain. Il a été convenu que les équipes techniques respectives des deux Parties prendraient leurs propres mesures sur le territoire de l'autre Etat et échangeraient leurs résultats. Le Chili a présenté ses résultats concernant les relevés effectués sur la totalité du parcours du Silala, en Bolivie et au Chili, par une note diplomatique en date du 19 décembre 2000⁷². Par une note diplomatique datée du 17 janvier 2001, la Bolivie a accusé réception des résultats, sans exprimer la moindre objection. Elle a aussi présenté ses propres coordonnées, mais uniquement celles du côté chilien⁷³. Les résultats de ce programme de terrain sont illustrés dans la coupe réalisée par le Chili de la pente

⁶⁷ Note n° 022314 en date du 3 décembre 1999 adressée au ministère des affaires étrangères et des cultes de la République de Bolivie par le ministère des affaires étrangères de la République du Chili. MC, annexe 30.2.

⁶⁸ Contrat de concession de l'utilisation et de l'exploitation des sources du Silala, conclu le 25 avril 2000 entre le surintendant bolivien des installations sanitaires de base et DUCTEC S.R.L. MC, annexe 48. La concession de la DUCTEC a été résiliée le 30 mai 2003 pour cause d'illégitimité du contrat de concession, voir Etat plurinational de Bolivie, arrêté n° 75/2003 du 30 mai 2003 pris par la surintendance de l'assainissement de base. MC, annexe 50.

⁶⁹ Facture n° 003/00 en date du 5 mai 2000 adressée à la CODELCO par la DUCTEC. MC, annexe 76.

⁷⁰ Note n° 006738 en date du 27 avril 2000 adressée au ministère des affaires étrangères et des cultes de la République de Bolivie par le ministère des affaires étrangères de la République du Chili. MC, annexe 31.

⁷¹ *Ibid.*

⁷² Note n° 74 en date du 19 décembre 2000 adressée au consulat général de Bolivie à Santiago par le ministère chilien des affaires étrangères. MC, annexe 32.1.

⁷³ Note n° CGB/19/2001 en date du 17 janvier 2001 adressée au ministère chilien des affaires étrangères par le consulat général de Bolivie à Santiago. MC, annexe 32.2. Voir aussi la note n° CGB/48/2001 en date du 9 février 2001 adressée au ministère chilien des affaires étrangères par le consulat général de Bolivie à Santiago. MC, annexe 32.3.

44 topographique du Silala, des sources Cajones et Orientales en Bolivie jusqu'à la confluence avec Quebrada Cabana au Chili⁷⁴.

3.18. En outre, d'un commun accord, les deux Etats ont procédé à un survol photogrammétrique de la région du Silala le 15 novembre 2001, comme première étape d'une cartographie conjointe détaillée⁷⁵. Il était convenu que les travaux de terrain complémentaires nécessaires seraient menés après la saison des pluies, pendant l'été austral, en mars 2002⁷⁶.

3.19. Toutefois, un coup d'arrêt a été donné aux travaux de cette commission technique lorsque la Bolivie, dans un communiqué de presse officiel en date du 26 février 2002, a nié le caractère transfrontière du Silala, et menacé d'en couper le débit en direction du Chili, ou même d'engager une procédure devant un tribunal *ad hoc* ou devant la Cour :

«Une mesure possible serait de fermer l'écoulement des eaux de source du Silala, canalisées par des moyens artificiels en direction du territoire chilien. La faisabilité et les conséquences techniques de cette ligne de conduite doivent être analysées par les autorités compétentes et, selon les décisions qui seront adoptées, le ministère des affaires étrangères et des cultes prendra les dispositions relevant de sa compétence.

45 Etant donné que notre gouvernement et celui du Chili maintiennent inchangées leurs positions respectives, il est aussi envisagé de recourir à l'arbitrage devant une juridiction *ad hoc* et la Cour internationale de Justice.»⁷⁷

3.20. En outre, ce communiqué de presse faisait référence à un rapport établi en octobre 2001 par le service bolivien de géologie et des mines (ci-après le «SERGEOMIN») au sujet du bassin hydrographique du Silala. Sans en révéler les conclusions, le Gouvernement bolivien a mis le rapport en doute au motif qu'il ne représentait pas son «point de vue officiel», dépassait «le champ de compétence [du SERGEOMIN] ainsi que le périmètre arrêté pour ces études, qui s'entendent comme étant de nature purement technique», et n'avait pas reçu l'aval du ministère des affaires étrangères⁷⁸. A ce jour, le Chili n'a pu avoir accès audit rapport du SERGEOMIN, lequel n'a jamais été rendu public.

3.21. Le Chili a dénoncé cette tournure nouvelle et, une fois encore inattendue, qu'ont prise les événements, rappelant à la Bolivie les progrès accomplis par la commission technique :

«[L]es activités destinées à cartographier la zone frontalière dans laquelle se trouve le Silala ont débuté, un vol photogrammétrique ayant été effectué en novembre 2001, et il reste à réaliser sur le terrain les travaux géodésiques complémentaires que les parties espèrent, d'un commun accord, pouvoir mener à terme lorsque l'actuelle saison des pluies sera terminée.

⁷⁴ Profil en long du Silala (sans date, réalisé par le Chili en 2001). MC, annexe 32.4.

⁷⁵ Note n° 973/224 en date du 16 novembre 2001 adressée au ministère bolivien des affaires étrangères par le consulat général du Chili à La Paz. MC, annexe 33.1.

⁷⁶ Note n° VREC-185/2001-0020 en date du 4 janvier 2002 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère bolivien des affaires étrangères et note n° 019/05 en date du 18 janvier 2002 adressée au ministère bolivien des affaires étrangères par le consulat général du Chili à La Paz. MC, annexes 33.2 et 33.3.

⁷⁷ Communiqué de presse du ministère des affaires étrangères de la Bolivie en date du 26 février 2002. MC, annexe 49. [Traduction du Greffe.]

⁷⁸ *Ibid.*

Partant, le Gouvernement chilien rejette toutes mesures susceptibles d'empêcher les eaux du Silala de poursuivre leur cours au Chili et, à cet égard, appelle l'attention sur l'esprit de coopération dans lequel la question est traitée au niveau bilatéral.»⁷⁹

46

3.22. Les discussions relatives au Silala ont repris en 2004, dans le cadre du groupe de travail sur la question du Silala, spécialement créé à cet effet. Encore une fois, les deux Etats sont convenus d'effectuer des études techniques et scientifiques communes afin de déterminer la nature, l'origine et le débit des eaux du Silala⁸⁰. Le Chili s'est toujours montré favorable à ce type d'études conjointes, le but étant de montrer la nature de cours d'eau, ou de rivière, du Silala, ainsi que son caractère international, par la force de faits irrécusables.

3.23. Le Silala a également été inscrit au programme en 13 points adopté par le Chili et la Bolivie en juillet 2006, par l'intermédiaire du groupe de travail sur les affaires bilatérales, qui a dressé une liste de questions à examiner lors des discussions bilatérales⁸¹. La question du Silala (et des ressources hydriques en général) y figure en tant que point 7 de cet ordre du jour.

3.24. En juin 2008, le groupe de travail sur la question du Silala est convenu d'entamer des discussions sur un accord préliminaire relatif à la «gestion rationnelle et durable» des eaux du Silala⁸². Toutefois, en juillet 2010, dans le contexte du mécanisme de consultations politiques, cadre institutionnel prévu pour débattre de l'ordre du jour en 13 points, la Bolivie a soulevé la question de ce qu'elle prétend être la «dette historique» du Chili à raison de l'utilisation passée des eaux du Silala, et dont l'examen, selon ses représentants, est une condition préalable à la conclusion de tout accord préliminaire⁸³.

47

3.25. A la réunion suivante du groupe de travail sur la question du Silala, tenue en octobre 2010, la Bolivie a durci sa position et insisté sur son prétendu droit à être indemnisée pour l'utilisation faite par le passé des eaux du Silala en territoire chilien, exigeant l'inclusion à cet effet, dans le projet d'accord préliminaire, d'un article qui définirait le montant et la forme de l'indemnisation⁸⁴. Ce prétendu droit à une indemnisation n'avait jamais figuré dans le champ d'application ou les objectifs du projet d'accord préliminaire, ne se fondait sur aucune preuve scientifique et n'était pas conforme aux normes et principes du droit international. Cette thèse déconcertante a été immédiatement rejetée par le Chili⁸⁵. L'indemnisation revendiquée par la Bolivie a profondément changé la teneur des débats et rendu impossible tout accord entre les Parties concernant l'utilisation des eaux du Silala. Le groupe de travail Chili-Bolivie sur la question du Silala n'est plus jamais réuni par la suite.

⁷⁹ Communiqué de presse du ministère des affaires étrangères du Chili en date du 4 mars 2002. MC, annexe 60.

⁸⁰ Procès-verbal de la première réunion du groupe de travail chilo-bolivien sur la question du Silala, 6 mai 2004. MC, annexe 21.

⁸¹ Procès-verbal de la deuxième réunion du groupe de travail chilo-bolivien sur les affaires bilatérales, 17 juillet 2006. MC, annexe 22.

⁸² Procès-verbal de la troisième réunion du groupe de travail chilo-bolivien sur la question du Silala, 10 juin 2008. MC, annexe 23.

⁸³ Procès-verbal de la vingt-deuxième réunion du mécanisme de consultations politiques entre la Bolivie et le Chili, 14 juillet 2010. MC, annexe 24.

⁸⁴ Communiqué de presse du ministère des affaires étrangères de la Bolivie en date du 1^{er} octobre 2010. MC, annexe 52.

⁸⁵ *Ibid.*

**C. POSITION ADOPTÉE PAR LA BOLIVIE APRÈS 2010 ET DÉCISION DU CHILI DE SOUMETTRE
À LA COUR LE DIFFÉREND SUR LE CARACTÈRE INTERNATIONAL
DU SYSTÈME HYDROGRAPHIQUE DU SILALA**

3.26. Le 7 mai 2012, le Chili a demandé des informations sur plusieurs projets visant la région du Silala qui avaient été annoncés par le gouverneur du département de Potosí, où le Silala prend sa source en Bolivie, notamment la construction d'une ferme piscicole, d'un barrage et d'une usine d'embouteillage d'eau minérale⁸⁶. La Bolivie n'a pas répondu à cette demande.

48

3.27. Le Chili a réitéré sa demande d'informations le 9 octobre 2012⁸⁷. Le 25 octobre 2012, la Bolivie a répondu en niant une fois encore le caractère international du Silala et en réaffirmant les pleins droits exclusifs auxquels elle prétend quant à l'utilisation et à l'exploitation de ses eaux⁸⁸. Un autre échange de notes diplomatiques s'en est suivi, au cours duquel la Bolivie n'a pas changé de position, malgré l'absence de la moindre preuve scientifique ou autre susceptible d'appuyer ses prétentions⁸⁹.

3.28. Dans une note diplomatique datée du 27 mars 2014, le Chili a réaffirmé son intérêt et son engagement en faveur de projets techniques et d'une coopération mutuelle concernant le système hydrographique du Silala⁹⁰. En réponse, la Bolivie lui a de nouveau opposé les pleins droits exclusifs qu'elle prétend être les siens sur ce cours d'eau commun⁹¹.

3.29. Au cours d'une conférence de presse donnée le 23 mars 2016 à l'occasion de la journée annuelle de la mer célébrée en Bolivie, le président Evo Morales a annoncé qu'il avait donné instruction au bureau stratégique de reconnaissance des prétentions maritimes (DIREMAR) «d'explorer les différentes voies juridiques ouvertes pour défendre les eaux du Silala, qui

⁸⁶ Note n° 199/39 en date du 7 mai 2012 adressée au ministère des affaires étrangères de l'Etat plurinational de Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz. MC, annexe 34.

⁸⁷ Note n° 389/149 en date du 9 octobre 2012 adressée au ministère des affaires étrangères de l'Etat plurinational de Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz. MC, annexe 35.

⁸⁸ Note n° VRE-DGRB-UAM-020663/2012 en date du 25 octobre 2012 adressée au consulat général du Chili par le ministère des affaires étrangères de l'Etat plurinational de Bolivie. MC, annexe 36.

⁸⁹ Note n° 586/206 en date du 21 décembre 2012 adressée au ministère des affaires étrangères de la Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz. MC, annexe 37.1. Note N° VRE-DGLF-UMA-000715/2013 en date du 17 janvier 2013 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère des affaires étrangères de la Bolivie. MC, annexe 37.2. Note n° 003933 en date du 9 avril 2013 adressée au consulat général de Bolivie à Santiago par le ministère des affaires étrangères du Chili. MC, annexe 37.3. Note n° VRE-DGLF-UMA-008107/2013 en date du 9 mai 2013 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère des affaires étrangères de la Bolivie. MC, annexe 37.4. Note n° 269/134 en date du 25 septembre 2013 adressée au ministère des affaires étrangères de la Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz. MC, annexe 37.5. Note n° VRE-DGLF-UMA-017599/2013 en date du 2 octobre 2013 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère des affaires étrangères de la Bolivie. MC, annexe 37.6. Note n° 323/157 en date du 29 octobre 2013 adressée au ministère des affaires étrangères de la Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz. MC, annexe 37.7. Note n° VRE-DGLF-UMA-020899/2013 en date du 19 novembre 2013 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère des affaires étrangères de la Bolivie. MC, annexe 37.8. Note n° 362/180 en date du 28 novembre 2013 adressée au ministère des affaires étrangères de la Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz. MC, annexe 37.9. Note n° VRE-DGLF-UMA-022856/2013 en date du 16 décembre 2013 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère des affaires étrangères de la Bolivie. MC, annexe 37.10. Note n° 63/51 en date du 12 février 2014 adressée au ministère des affaires étrangères de la Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz. MC, annexe 37.11. Note n° VRE-DGLFAIT-UAIT-Nv-7/2014 en date du 19 février 2014 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère des affaires étrangères de la Bolivie. MC, annexe 37.12.

⁹⁰ Note n° 96/72 en date du 27 mars 2014 adressée au ministère des affaires étrangères de l'Etat plurinational de Bolivie par le ministère des affaires étrangères du Chili. MC, annexe 38.1.

⁹¹ Note n° VRE-DGLFAIT-UAIT-Cs-136/2014 en date du 10 avril 2014 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère des affaires étrangères de l'Etat plurinational de Bolivie. MC, annexe 38.2.

49 appartiennent à la Bolivie, devant les instances internationales compétentes»⁹². D'après le président Morales, le Silala est amené jusqu'au Chili par un réseau artificiel d'aqueducs :

«Prenant naissance dans les Andes boliviennes, les eaux [de la source] Silala alimentent depuis plus d'un siècle plusieurs localités situées dans le nord du Chili, sans que celui-ci verse la moindre contrepartie. Elle[s] arrosent la partie septentrionale du Chili au moyen d'un réseau artificiel d'aqueducs établi dans le cadre d'un accord de droit privé ... Chaque jour, le Chili fait un usage illégal et détourné de cette ressource naturelle sans verser un centime en compensation. Ce comportement illicite et arbitraire qui appauvrit notre patrimoine doit cesser.»⁹³

3.30. Deux jours plus tard, le président Morales accusait le Chili de «voler les eaux du département de Potosí» et annonçait la décision de la Bolivie de saisir la Cour internationale de Justice⁹⁴. Il a également déclaré que le Silala «n'[était] pas un cours d'eau international» et qu'il s'agissait «d'eaux provenant de zones humides du département de Potosí»⁹⁵, portant à croire qu'il y a une contradiction insoluble entre «rivière» et «sources» ; or une telle contradiction n'existe pas puisque, comme chacun sait, nombre de rivières trouvent leur origine dans des sources⁹⁶.

50 3.31. Lorsqu'il s'est rendu sur les lieux quelques jours plus tard, le président Morales a accusé le Chili de mentir au sujet du caractère international du Silala⁹⁷. Dix jours après cette visite, le ministre bolivien des affaires étrangères, David Choquehuanca, a annoncé qu'il faudrait au moins deux ans pour préparer la procédure qui serait engagée contre le Chili au sujet du Silala⁹⁸.

3.32. Les propos accusateurs tenus par le président Morales en mars 2016, couplés à l'annonce par la Bolivie de sa décision de retarder le règlement judiciaire de ce différend pour au moins deux ans, ont fait ressurgir des tensions inutiles au sujet du statut de cours d'eau international du Silala et des incertitudes juridiques entre les deux Parties concernant leurs droits et obligations réciproques à l'égard des utilisations de ses eaux. C'est dans ce contexte que le Chili a décidé de demander à la Cour de statuer sur le caractère de cours d'eau international du Silala et sur ses droits en qualité d'Etat riverain. Le Chili estime qu'il est crucial qu'une décision définitive soit rendue sur des questions qui, bien qu'elles lui semblent évidentes du point de vue du droit, nuisent à la sécurité juridique entourant les utilisations des eaux du Silala au Chili, ainsi qu'aux relations bilatérales entre celui-ci et la Bolivie.

⁹² «Le président Morales donne pour instruction d'explorer les différentes voies juridiques ouvertes au pays pour défendre les eaux du Silala», *Prensa Palacio*, La Paz, 23 mars 2016, MC, annexe 72.1 ; «Evo Morales annonce que la Bolivie saisira la justice internationale concernant les eaux du Silala», *La Nación*, La Paz, 23 mars 2016. MC, annexe 72.2.

⁹³ «Le président Morales donne pour instruction d'explorer les différentes voies juridiques ouvertes au pays pour défendre les eaux du Silala», *Prensa Palacio*, La Paz, 23 mars 2016. MC, annexe 72.1.

⁹⁴ «La Bolivie compte introduire une instance contre le Chili à La Haye au sujet du Silala», *Página Siete Digital*, La Paz, 26 mars 2016. MC, annexe 72.3.

⁹⁵ *Ibid.*

⁹⁶ Rapport d'experts 1, p. 7.

⁹⁷ «Evo montre au monde entier que les eaux du Silala appartiennent à la Bolivie», *Camiri.net*, La Paz, 29 mars 2016. MC, annexe 72.4.

⁹⁸ «The Minister of Foreign Affairs Foresees Two Years to Prepare the Claim for the Silala», *La Razón*, La Paz, 8 avril 2016. MC, annexe 73.

**LE SYSTÈME HYDROGRAPHIQUE DU SILALA EST UN COURS D'EAU
INTERNATIONAL AU SENS DU DROIT INTERNATIONAL**

4.1. Dans le présent chapitre, le Chili montrera que, contrairement à ce qu'a affirmé récemment la Bolivie, le Silala répond bien à la qualification de «cours d'eau international» tel que défini en droit international. La section A exposera la définition donnée à la notion de «cours d'eau international» en droit international et établira que le Silala y répond. La section B montrera que le comportement des Parties confirme que celles-ci reconnaissent mutuellement et de longue date l'existence du Silala en tant que cours d'eau international.

**A. LE SYSTÈME HYDROGRAPHIQUE DU SILALA EST UN
«COURS D'EAU INTERNATIONAL» TEL QUE DÉFINI
EN DROIT INTERNATIONAL**

4.2. La Commission du droit international a commencé à s'intéresser au droit relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation en 1974 et a adopté un ensemble définitif de projets d'articles sur la question en 1994⁹⁹. La même année, l'Assemblée générale des Nations Unies a décidé d'ouvrir des négociations en vue de l'élaboration d'une convention-cadre sur ce sujet, sur la base du projet d'articles approuvé par la Commission en 1994. Les négociations étaient ouvertes à tous les Etats Membres de l'Organisation des Nations Unies ou des institutions spécialisées des Nations Unies¹⁰⁰, donc à une participation quasi universelle. Elles ont débouché sur l'adoption par l'Assemblée générale le 21 mai 1997 de la convention sur le droit relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation (ci-après la «convention de 1997»)¹⁰¹. La convention embrasse étroitement les termes des projets d'articles de 1994¹⁰².

4.3. Dès le début de ses travaux sur les cours d'eau internationaux il y a plus de quarante ans, la Commission a examiné avec grande attention la définition du terme «cours d'eau international». Le premier rapport de Richard D. Kearney, premier rapporteur spécial sur le sujet, était largement consacré à cette question¹⁰³. Dans ce document, Kearney concluait à la nécessité de donner au terme une large portée, englobant «les utilisations des bassins fluviaux internationaux à des fins autres que la navigation»¹⁰⁴. Le deuxième rapporteur spécial, Stephen M. Schwebel, a aussi estimé

⁹⁹ *Annuaire de la Commission du droit international*, 1994, vol. II, deuxième partie, par. 222.

¹⁰⁰ Résolution 49/52 de l'Assemblée générale des Nations Unies, 9 décembre 1994, Nations Unies, doc. A/RES/49/52, par. 3.

¹⁰¹ Convention sur le droit relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation, New York, 21 mai 1997, Nations Unies, doc. A/RES/51/229 (1997). MC, annexe 5.

¹⁰² Les «déclarations d'accord» adoptées par le groupe de travail plénier, cadre dans lequel la convention a été négociée, comprenaient l'affirmation suivante : «Pendant toute la durée de l'élaboration du projet de Convention, il a été fait mention des commentaires relatifs aux projets d'articles que la Commission du droit international a formulés pour préciser le contenu des articles.» Voir les déclarations d'accord relatives aux textes du projet de convention, rapport de la Sixième Commission réunie en groupe de travail plénier, Nations Unies, doc. A/51/869, 11 avril 1997, par. 8.

¹⁰³ Richard D. Kearney, premier rapport sur le droit relatif aux utilisations des voies d'eau internationales à des fins autres que la navigation, *Annuaire de la Commission du droit international*, 1976, vol. II, première partie.

¹⁰⁴ *Ibid.*, par. 49.

qu'une définition large de l'expression «cours d'eau international» était appropriée¹⁰⁵. En 1980, la Commission a adopté une indication provisoire du sens à donner aux expressions «réseau de voies d'eau» et «réseau de voies d'eau internationales»¹⁰⁶, qui est proche de la définition de «cours d'eau» figurant dans la convention de 1997.

53

4.4. Fondamentalement, la définition de l'expression «cours d'eau» (qui a par la suite remplacé celle de «voie d'eau» dans la version française) a peu changé au cours des travaux de la Commission sur le sujet. Ainsi qu'il est dit dans la version définitive de l'article 2 du projet d'articles de 1994 : «L'expression «cours d'eau» s'entend d'un système d'eaux de surface et d'eaux souterraines constituant du fait de leurs relations physiques un ensemble unitaire et aboutissant normalement à un point d'arrivée commun.»¹⁰⁷ L'expression «cours d'eau international» s'entend d'«un cours d'eau dont des parties se trouvent dans des Etats différents»¹⁰⁸. Une liste indicative des éléments formant un système de cours d'eau est donnée dans les commentaires du projet d'articles¹⁰⁹. Ces définitions ont été reproduites quasiment mot pour mot à l'article 2 de la convention de 1997¹¹⁰.

4.5. La genèse de la convention de 1997, fruit d'un laborieux travail mené vingt années durant par la Commission du droit international, revêt cet instrument d'un statut particulier en droit international, puisqu'il codifie les règles du droit international coutumier relatives aux cours d'eau internationaux.

54

4.6. En effet, seulement quatre mois après son adoption par l'Assemblée générale, la convention a été invoquée et citée dans un arrêt rendu par la Cour en l'affaire relative au *Projet Gabčíkovo-Nagymaros (Hongrie/Slovaquie)*¹¹¹. Dans cette affaire, la Cour a également fait référence à un «droit fondamental à une part équitable et raisonnable des ressources d'un cours d'eau international» qui reviendrait à un Etat¹¹², la notion d'utilisation équitable et raisonnable étant l'une des pièces maîtresses de la convention¹¹³. Les commentateurs conviennent de

¹⁰⁵ Stephen M. Schwebel a utilisé l'expression «réseaux de voies d'eau internationales» dans les projets d'articles qu'il a proposés. Voir Stephen M. Schwebel, deuxième rapport sur le droit relatif aux utilisations des voies d'eau internationales à des fins autres que la navigation, *Annuaire de la Commission du droit international*, 1980, vol. II, première partie, par. 52-58.

¹⁰⁶ En 1980, la Commission du droit international a adopté une «hypothèse de travail» concernant la signification de cette expression, qui postulait notamment ce qui suit : «Un système de cours d'eau est formé d'éléments hydrographiques tels que fleuves et rivières, lacs, canaux, glaciers et eaux souterraines constituant, du fait de leur relation physique, un ensemble unitaire ; toute utilisation qui a un effet sur les eaux d'une partie du système peut donc avoir un effet sur les eaux d'une autre partie.» «Un «système de cours d'eau international» est un système de cours d'eau dont les éléments sont situés dans deux ou plusieurs Etats.» *Annuaire de la Commission du droit international*, 1982, vol. II, première partie, par. 7.

¹⁰⁷ *Annuaire de la Commission du droit international*, 1994, vol. II, deuxième partie, par. 222, art. 2, al. b).

¹⁰⁸ *Ibid.*, art. 2, al. a).

¹⁰⁹ *Ibid.*, commentaire relatif à l'article 2, al. b), par. 4.

¹¹⁰ Convention de 1997, art. 2, al. a) et b). Les définitions sont présentées dans l'ordre inverse dans la convention, l'expression «cours d'eau» étant définie à l'alinéa a) de l'article 2, celle de «cours d'eau international» étant définie à son alinéa b).

¹¹¹ *Projet Gabčíkovo-Nagymaros (Hongrie/Slovaquie)*, arrêt, *C.I.J. Recueil 1997*, par. 147.

¹¹² *Ibid.*, par. 78 et 147, dans lesquels la Cour cite le paragraphe 2 de l'article 5 de la convention, qui porte sur la participation équitable et raisonnable.

¹¹³ Convention de 1997, art. 5 et 6. Voir aussi le paragraphe 2 de l'article 7 de la convention de 1997, qui démontre plus avant la place centrale de l'utilisation équitable et raisonnable.

«l'importance de la convention ... en tant qu'instrument officiel constituant l'expression du droit coutumier»¹¹⁴.

4.7. La convention de 1997 peut être considérée comme reflétant certains principes fondamentaux du droit international coutumier relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation, y compris pour ce qui concerne les définitions de «cours d'eau» et «cours d'eau international».

4.8. Le Silala répond à la définition de «cours d'eau» en droit international. Jaillissant de sources et s'écoulant en surface le long d'une pente naturelle¹¹⁵, il constitue manifestement un «système d'eaux de surface et d'eaux souterraines». «[D]u fait de leurs relations physiques», on peut affirmer que ces eaux de surface et ces eaux souterraines «constitu[ent] ... un ensemble unitaire» : s'il n'y avait pas de sources, l'écoulement de surface qui en résulte n'existerait pas.

4.9. Le Silala est un «cours d'eau international», car «[s]es éléments sont situés dans deux ou plusieurs Etats», en l'occurrence la Bolivie et le Chili. Il jaillit de sources situées en territoire bolivien et s'écoule le long d'une pente naturelle à travers la frontière chilienne. Depuis au moins 8400 ans, la rivière suit un cours descendant à travers la zone devenue aujourd'hui la frontière entre les deux pays¹¹⁶, ce qui contredit la thèse curieuse selon laquelle la construction de chenaux en Bolivie en 1928 serait ou aurait été un jour à l'origine de son caractère international.

55

4.10. Par conséquent, le système hydrographique du Silala est un «cours d'eau international», tel que défini dans la convention de 1997, définition acceptée de longue date par les Etats et la Commission du droit international, comme il a été montré plus haut.

B. LE COMPORTEMENT DES PARTIES CONFIRME LE CARACTÈRE DE COURS D'EAU INTERNATIONAL DU SILALA AU SENS DU DROIT INTERNATIONAL

4.11. Comme nous l'avons démontré au chapitre 2 et l'expliquerons ici plus en détail, pendant plus d'un siècle, les deux Etats ont constamment reconnu le statut international du Silala dans divers instruments internationaux et nationaux, ainsi que dans le cadre de leurs relations mutuelles.

4.12. Au nombre de ces instruments figurent des représentations cartographiques du Silala réalisées par les deux Etats (section 1), les actes communs de démarcation et de révision effectués entre 1904 et 2011 concernant le Silala (section 2), et les concessions accordées par le Chili et la Bolivie en 1906 et en 1908 respectivement en vue de l'utilisation des eaux du Silala (section 3). En outre, la Bolivie a reconnu unilatéralement l'existence de la rivière dans des instruments internationaux et nationaux (section 4).

¹¹⁴ Attila Tanzi et Maurizio Arcari, *The United Nations Convention on the Law of International Watercourses: A Framework for Sharing*, Kluwer Law International, 2001, p. 2.

¹¹⁵ Rapport d'experts 1, p. 7.

¹¹⁶ Rapport d'experts 2, p. 8.

1. La cartographie chilienne et bolivienne confirme le caractère de cours d'eau international du Silala

4.13. Les cartes peuvent fournir de précieuses informations sur l'existence et l'emplacement des formations géographiques et autres. Ainsi que l'a rappelé la Cour en l'affaire de l'*Ile de Kasikili/Sedudu (Botswana/Namibie)*, les cartes revêtent une valeur particulière lorsqu'elles font partie intégrante d'un texte officiel :

56

«[L]es cartes ne sont que de simples indications, plus ou moins exactes selon les cas ; elles ne constituent jamais — à elles seules et du seul fait de leur existence — un titre territorial, c'est-à-dire un document auquel le droit international confère une valeur juridique intrinsèque aux fins de l'établissement des droits territoriaux. Certes, dans quelques cas, les cartes peuvent acquérir une telle valeur juridique mais cette valeur ne découle pas alors de leurs seules qualités intrinsèques : *elle résulte de ce que ces cartes ont été intégrées parmi les éléments qui constituent l'expression de la volonté de l'Etat ou des Etats concernés. Ainsi en va-t-il, par exemple, lorsque des cartes sont annexées à un texte officiel dont elles font partie intégrante.*»¹¹⁷ (Les italiques sont de nous.)

4.14. La Commission du tracé de la frontière entre l'Ethiopie et l'Erythrée a également confirmé la force obligatoire que revêt pour les parties à un traité une carte qui est intégrée à celui-ci¹¹⁸.

4.15. Ces cartes peuvent apporter la preuve concluante de l'acceptation par un Etat d'une formation géographique ou autre ultérieurement contestée, comme en l'affaire du *Temple de Préah Vihéar*, dans laquelle la Cour a estimé ce qui suit :

«en 1908-1909 la Thaïlande a bien accepté la carte de l'annexe 1 comme représentant le résultat des travaux de délimitation et a ainsi *reconnu la ligne tracée sur cette carte comme étant la frontière dont l'effet est de situer Préah Vihéar dans le territoire du Cambodge*. La Cour estime d'autre part que, considérée dans son ensemble, *la conduite ultérieure de la Thaïlande a confirmé et corroboré son acceptation initiale et que les actes accomplis par la Thaïlande sur les lieux n'ont pas suffi à l'annuler*. Les deux Parties ont par leur conduite reconnu la ligne et, par là même, elles sont effectivement convenues de la considérer comme étant la frontière.»¹¹⁹ (les italiques sont de nous)

57

4.16. Le tribunal arbitral qui a statué sur le litige entre l'Argentine et le Chili relatif au canal de Beagle a considéré que les cartes publiées *avant* la conclusion d'un traité pouvaient faire foi d'«une situation de fait généralement connue à l'époque ou relevant de la connaissance effective, ou présumée, des négociateurs»¹²⁰. Il a aussi jugé que les cartes publiées *après* la conclusion d'un traité pouvaient attester la compréhension qu'avaient les parties des arrangements sur lesquels elles s'accordaient en vertu dudit traité «et la mesure dans laquelle le point de vue avancé par [une]

¹¹⁷ *Ile de Kasikili/Sedudu (Botswana/Namibie)*, arrêt, C.I.J. Recueil 1999 (II), p. 1098, par. 84.

¹¹⁸ *Décision concernant la délimitation de la frontière entre l'Erythrée et l'Ethiopie*, décision du 13 avril 2002, Recueil des sentences arbitrales (RSA), vol. XXV, par. 3.20 : «Comme il a déjà été noté, dès lors qu'une carte est intégrée à un traité, elle en revêt la qualité juridique et a force obligatoire pour les parties.» [Traduction du Greffe]

¹¹⁹ *Temple de Préah Vihéar (Cambodge c. Thaïlande)*, fond, arrêt, C.I.J. Recueil 1962, p. 32-33.

¹²⁰ *Dispute between Argentina and Chile Concerning the Beagle Channel*, sentence arbitrale du 18 février 1977, RSA, vol. XXI, par. 137. [Traduction du Greffe]

Partie comme étant correct [était] conforme à celui qu'elle sembl[ait] avoir soutenu auparavant»¹²¹. De façon plus générale, le tribunal arbitral a jugé que les cartes officielles constituaient :

«une preuve de qualité attestant le point de vue que le gouvernement avait adopté ou souhaité qu'il soit considéré qu'il avait adopté, à la date de publication ; et elle peut, pour cette raison, étayer ou, selon le cas, ne pas étayer les thèses avancées par ledit gouvernement dans un contentieux subséquent ou soumis à une date ultérieure»¹²².

58

4.17. Diverses représentations cartographiques antérieures au traité de 1904, tant boliviennes que chiliennes, montrent le Silala s'écoulant de la Bolivie vers le territoire que possédait alors le Chili conformément aux dispositions de la convention d'armistice de 1884 signée par les deux Etats¹²³. La frontière provisoire ainsi convenue dans cette zone était proche de la frontière définitive arrêtée par le traité de 1904. Ainsi, ces premières sources cartographiques constituent la preuve solide que les deux Etats avaient reconnu le caractère transfrontière du Silala, au moment de la signature de la convention d'armistice de 1884 et, une nouvelle fois, au moment de la signature du traité de 1904.

4.18. La plus ancienne description cartographique connue du Silala remonte à 1884 et figure sur la carte du désert d'Atacama publiée par l'ingénieur et géographe chilien Alejandro Bertrand (1854-1942). Le Silala, alors désigné Cajón, y est représenté comme un affluent du San Pedro rejoignant le Chili par la Bolivie (figure 15)¹²⁴.

¹²¹ *Dispute between Argentina and Chile Concerning the Beagle Channel*, sentence arbitrale du 18 février 1977, RSA, vol. XXI, par. 137.

¹²² *Ibid.*, par. 138.

¹²³ Convention d'armistice entre la Bolivie et le Chili, signée à Valparaíso le 4 avril 1884. MC, annexe 1. La frontière entre la Bolivie et le Chili dans la zone concernée a été définie dans la convention d'armistice comme suit :

«une ligne droite commençant à Sapalegui, au niveau de l'intersection avec la frontière qui les sépare de la République d'Argentine, et se prolongeant jusqu'au volcan Llicancaur. A partir de ce point, la limite suit une ligne droite tracée jusqu'au sommet du volcan Cabana, aujourd'hui éteint ; elle se poursuit par une autre ligne droite tracée jusqu'à une source située plus au sud, au niveau du lac Ascotan.»

¹²⁴ La carte de 1884 était le produit de deux expéditions effectuées par A. Bertrand dans le désert d'Atacama, la première en 1880 et la seconde en 1884. Elle a été publiée dans le mémoire de A. Bertrand consacré aux cordillères du désert d'Atacama (*Memoria sobre las Cordilleras del Desierto de Atacama*), lequel contient les journaux des deux expéditions et une analyse critique des publications et cartes de la zone réalisées antérieurement.

59

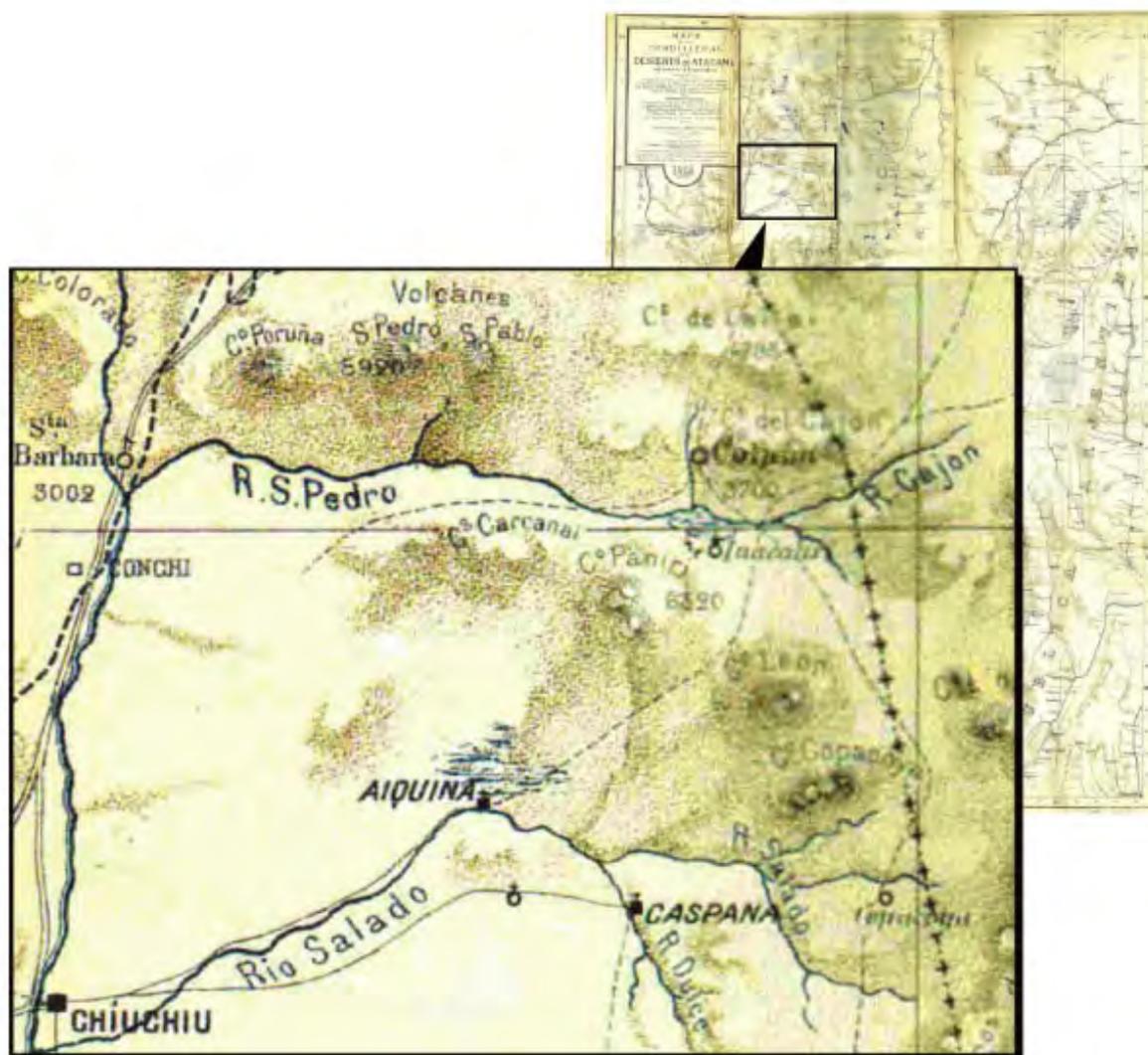


Figure 15
A. Bertrand, carte des cordillères du désert d'Atacama
et des régions limitrophes, 1884
MC, annexe 77

60

4.19. On trouve une autre représentation ancienne du Silala, encore une fois sous l'appellation Cajón, dans la carte de la République argentine établie en 1891 par le géologue et minéralogiste allemand Luis (Ludwig) Brackebusch (1849-1906) (figure 16).



Figure 16
L. Brackebusch, carte de la République d'Argentine, 1891
MC, annexe 79

61

4.20. Le Silala est aussi figuré sur la carte chilienne de 1897 de la province d'Antofagasta, cette fois sous l'appellation R. S. Pedro, traversant la frontière provisoire établie en vertu de la convention d'armistice de 1884 (figure 17).

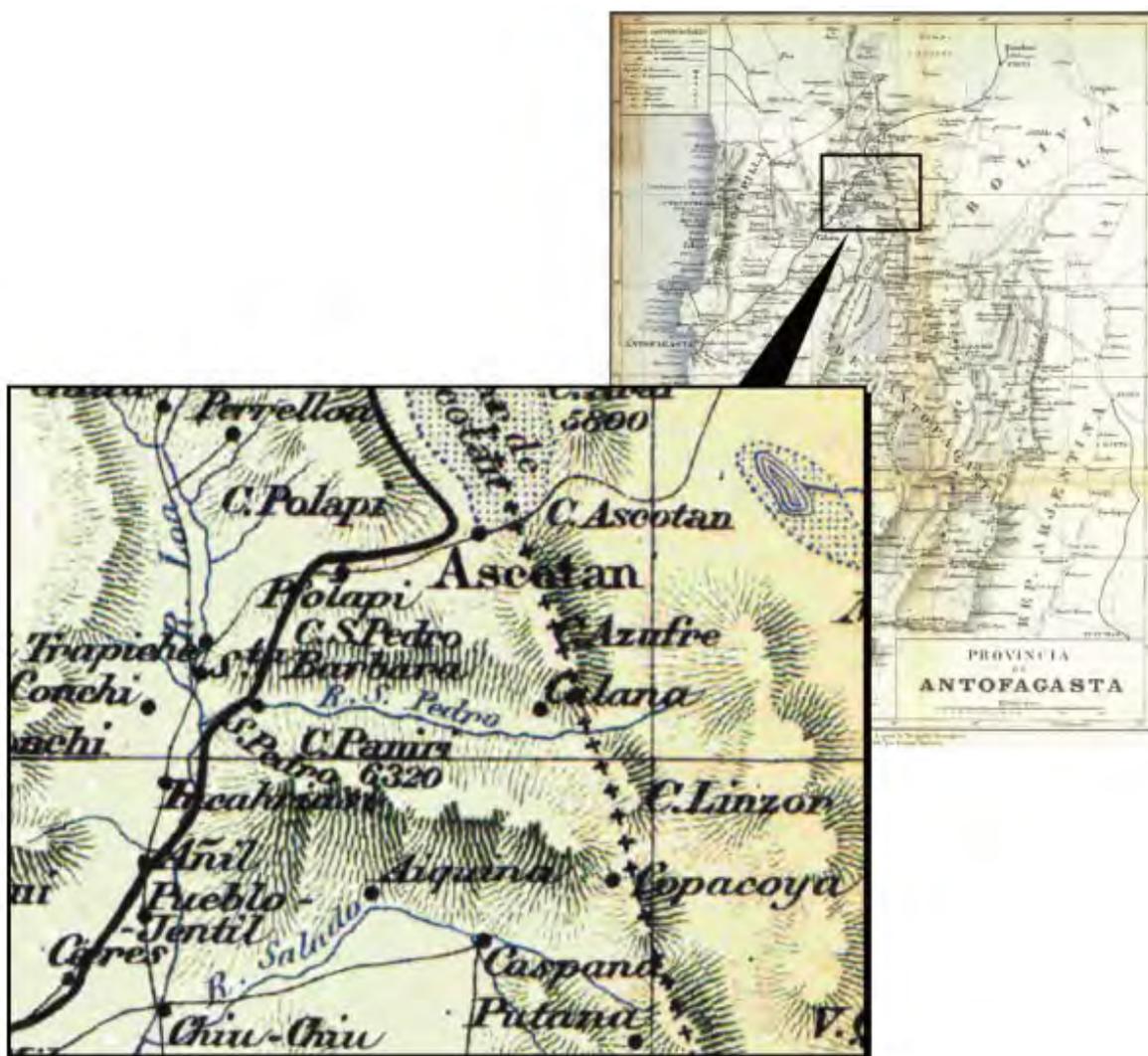


Figure 17
F. Fuentes, carte de la province d'Antofagasta, 1897
MC, annexe 80

62

4.21. On trouve une source bolivienne ancienne illustrant l'emplacement du Silala dans la carte géographique et chorographique de la République de Bolivie établie en 1890 par Justo Leigue Moreno. Cette carte montre le cours d'eau s'écoulant en territoire bolivien, traversant la frontière provisoire entre la Bolivie et le Chili, telle qu'établie par la convention d'armistice de 1884, et rejoignant le San Pedro sur un territoire qui appartenait alors au Chili (figure 18).

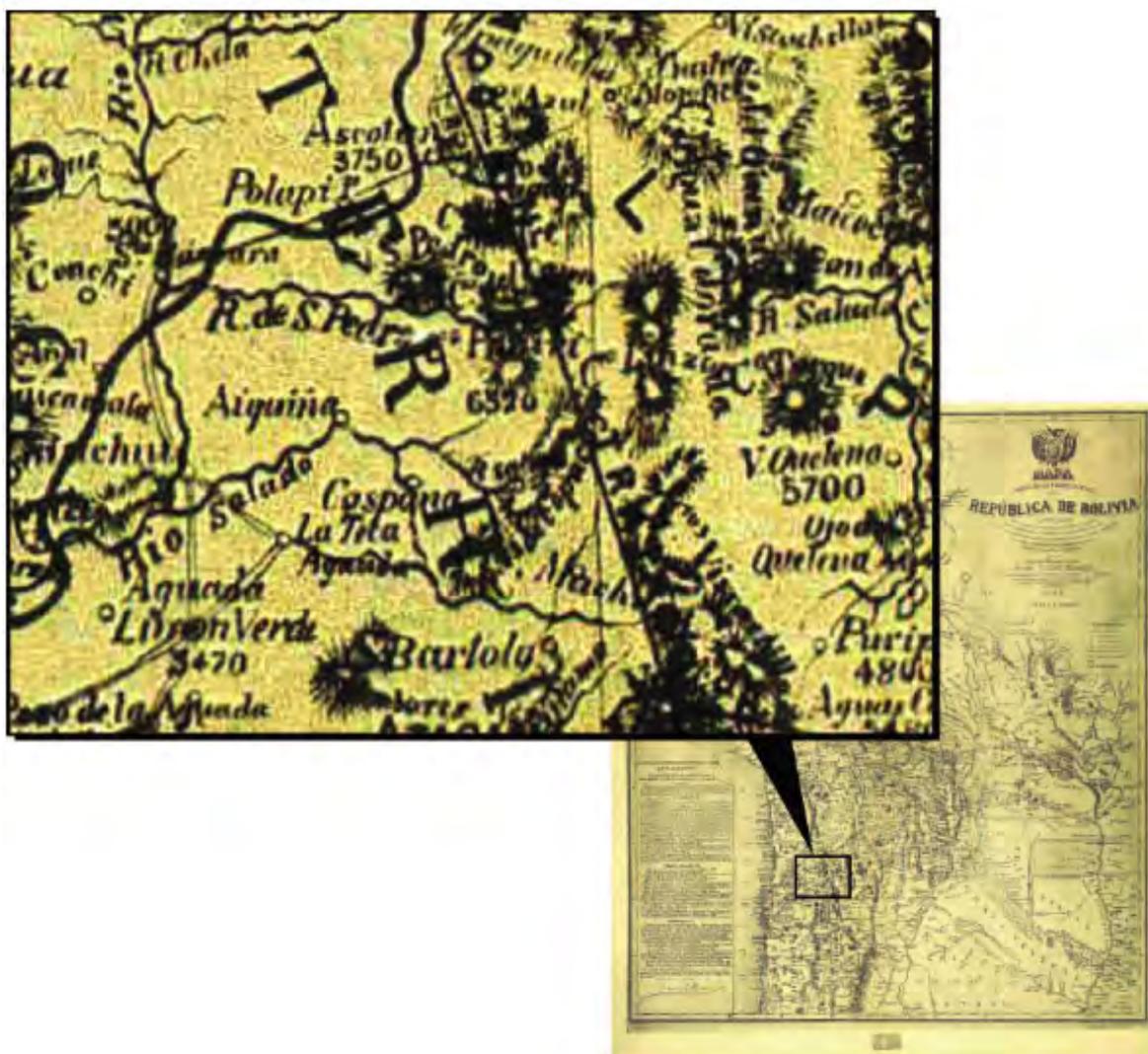


Figure 18
J. Leigue Moreno, carte géographique et chorographique, 1890
MC, annexe 78

63

4.22. Une autre source de la Bolivie atteste que cet Etat reconnaissait le caractère transfrontière du Silala avant la conclusion du traité de 1904 ; il s'agit d'une carte établie en 1901 par Eduardo Idiaquez à la demande du président bolivien José Manuel Pando. Elle représente la source du San Pedro en territoire bolivien, puis son parcours à travers la frontière provisoire chilo-bolivienne telle qu'établie conformément à la convention d'armistice de 1884, ce qui correspond, sur le plan géographique, à l'actuel Silala (figure 19).



Figure 19
E. Idiaquez, carte de la République de Bolivie, 1901
MC, annexe 81

64

4.23. Ces sources anciennes démontrent de façon concluante que tant le Chili que la Bolivie reconnaissaient l'existence d'un cours d'eau partagé traversant la frontière provisoire, telle qu'établie conformément à la convention d'armistice de 1884, qui était parfois désigné par d'autres noms (Cajón ou San Pedro), mais qui correspondait dans tous les cas à ce que l'on appelle aujourd'hui le Silala.

4.24. Le plan annexé au traité de paix et d'amitié de 1904 fournit de plus la preuve irréfutable que la Bolivie et le Chili reconnaissaient tous deux le caractère transfrontière du Silala. Le plan comme le traité ont été signés le 20 octobre 1904 par les plus hautes autorités boliviennes et chiliennes¹²⁵. L'article 2 du traité de 1904 dispose que le plan annexé fait partie intégrante du traité¹²⁶.

¹²⁵ Traité de paix et d'amitié entre la Bolivie et le Chili, signé le 20 octobre 1904 (à Santiago). MC, annexe 2. Plan annexé au traité de paix et d'amitié, signé le 20 octobre 1904. MC, annexe 82.

¹²⁶ Traité de paix et d'amitié entre la Bolivie et le Chili, signé le 20 octobre 1904 (à Santiago). MC, annexe 2.

4.25. Le traité de 1904 a établi la frontière internationale définitive entre le Chili et la Bolivie et mis fin au régime temporaire défini en vertu de la convention d'armistice de 1884. Le plan annexé, signé par le ministre chilien des affaires étrangères Emilio Bello Codesido et l'ambassadeur bolivien Alberto Gutiérrez, représente la rivière Silala (Río Silala), traversant la frontière entre la Bolivie et le Chili entre son point 16 (Cerrito de Silala) et son point 17 (Cerro de Inacaliri o del Cajón) (figure 14)¹²⁷.

65

4.26. Après la conclusion du traité de 1904, la Bolivie et le Chili ont tous deux confirmé le caractère transfrontière du Silala dans les nombreuses cartes officielles qu'ils ont réalisées et publiées, en y représentant le Silala comme un cours d'eau international.

4.27. De fait, la reconnaissance et l'acceptation inconditionnelles par la Bolivie du caractère transfrontière du Silala, tel que représenté dans le plan annexé au traité de 1904, sont encore confirmées par une carte bolivienne datant de 1905, élaborée immédiatement après la signature du traité de 1904, «conformément aux documents officiels du ministère des affaires étrangères étudiés avec la compétente collaboration de l'ancien ministre des affaires étrangères, l'éminent Eliodoro Villazon». Le San Pedro, tel que représenté sur la carte de 1905, épouse les caractéristiques géographiques du Silala et traverse ce qui est aujourd'hui la frontière internationale définitive entre la Bolivie et le Chili (figure 20).

¹²⁷ La frontière traversant la région du Silala est décrite dans le traité de 1904 en ces termes : «du sommet septentrional de ces derniers (le volcan Apagado) (point n° 15), elle atteint le mont Silala (point n° 16) en longeant un contrefort, puis elle suit une ligne droite jusqu'au mont Inacalari ou Cajón (point n° 17)», voir le traité de paix et d'amitié entre la Bolivie et le Chili, signé le 20 octobre 1904 (à Santiago). MC, annexe 2. Sur le plan annexé au traité de 1904, la numérotation de ces trois points est décalée d'une unité, le volcan Apagado étant indiqué au point n° 14 (au lieu du n° 15), le mont Silala au point n° 15 (au lieu du n° 16) et le mont Inacaliri o Cajón au point n° 16 (au lieu du point n° 17). Voir le plan annexé au traité de paix et d'amitié, signé le 20 octobre 1904. MC, annexe 82.

66

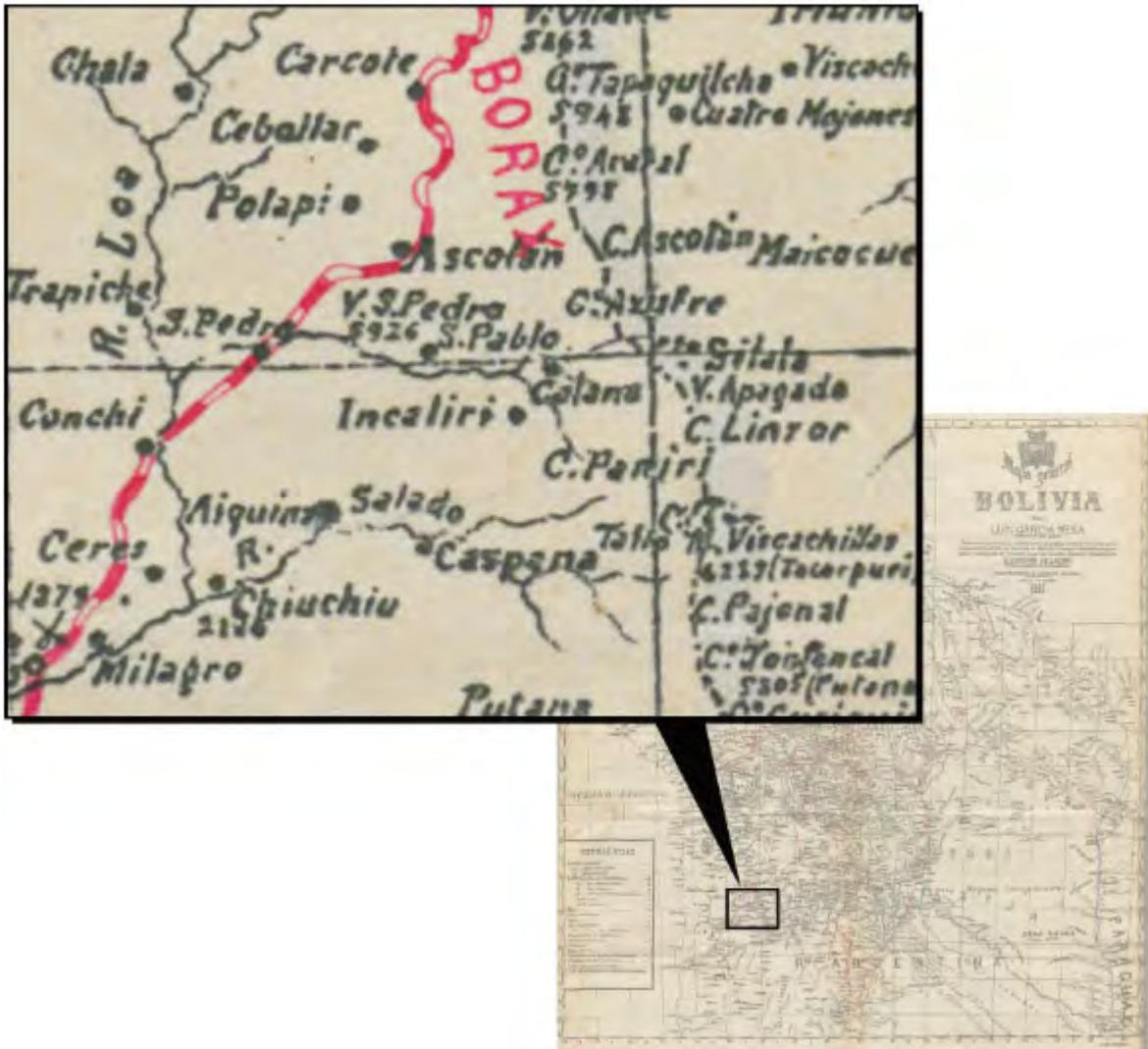


Figure 20
L. García Mesa, carte générale de la Bolivie, 1905
MC, annexe 83

67

4.28. Depuis lors, la Bolivie représente la formation géographique qu'est le Silala sur les cartes officielles préparées par son institut géographique militaire (Instituto Geográfico Militar, ci-après l'«IGM»), telles que la carte de 1972 de Cerrito de Silala (qu'elle appelle «Cerro Silala Chico»), ce qui atteste qu'elle a continué de considérer que le Silala revêt un caractère transfrontière (figure 21).

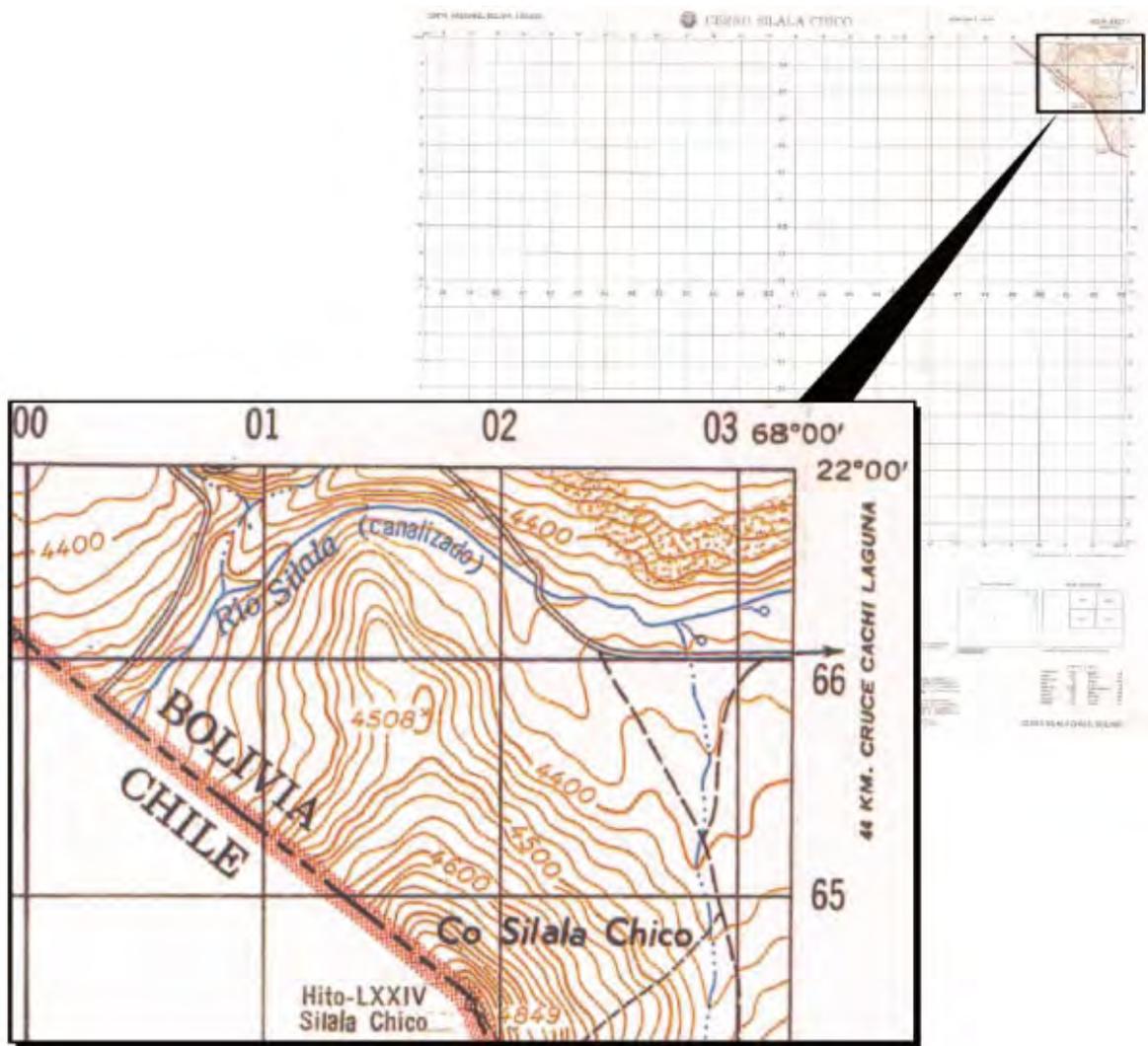


Figure 21
Institut géographique militaire (IGM), Cerro Silala Chico,
planche 5927 I, série H731, 1^{re} éd., 1971
MC, annexe 87

68

4.29. La plus récente carte officielle bolivienne, établie par l'IGM, qui représente le Silala comme un cours d'eau international remonte à 1997, deux ans seulement avant le changement abrupt de position de la Bolivie concernant la nature du Silala (figure 22).

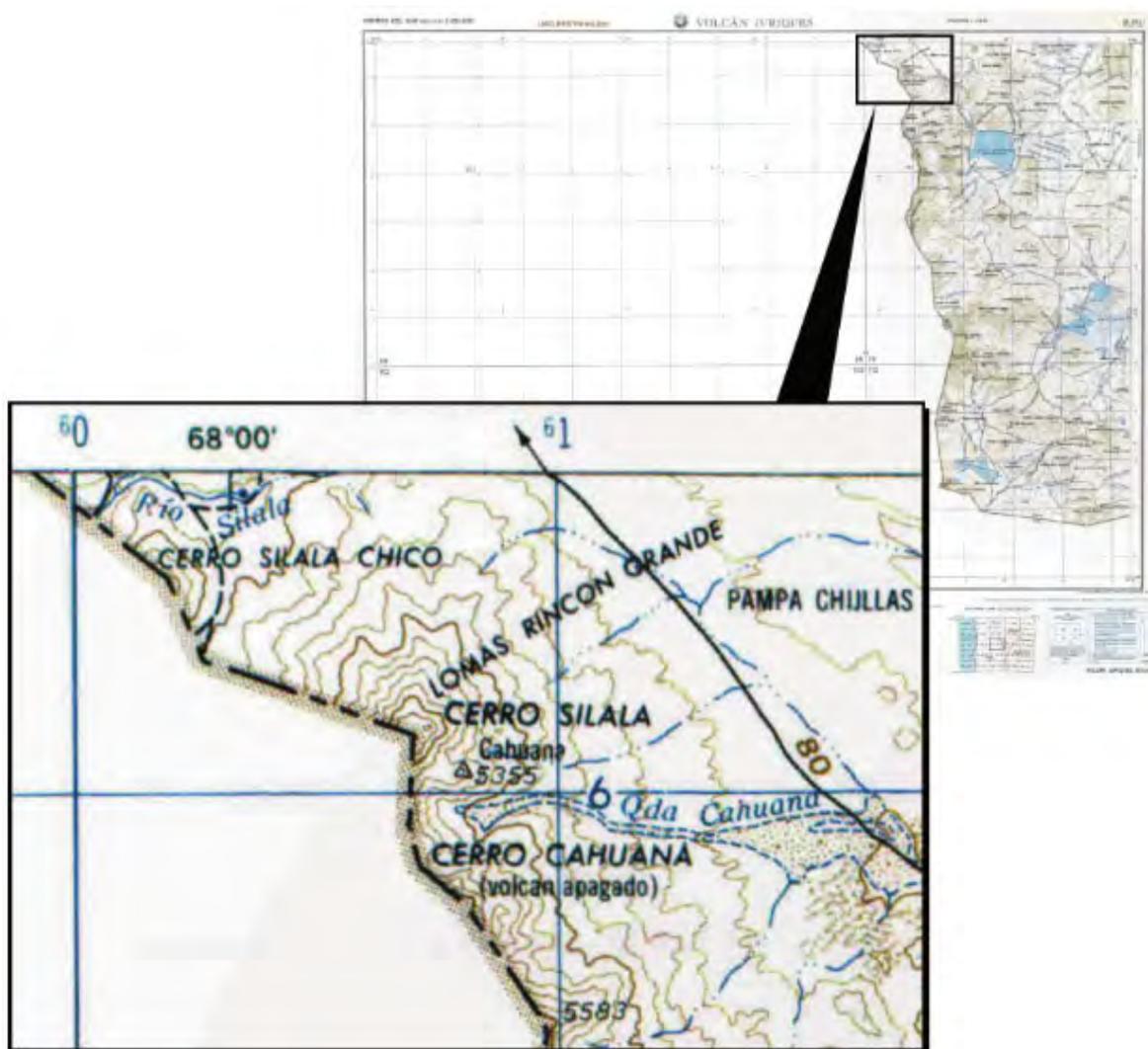


Figure 22
Institut géographique militaire (IGM), carte d'Amérique du Sud (Bolivie),
Volcán Juriques, 1^{re} éd., republiée en mai 1997
MC, annexe 90

69

4.30. La même année, le SERGEOMIN a reflété le caractère transfrontière du Silala sur sa carte géologique de la Bolivie (figure 23).

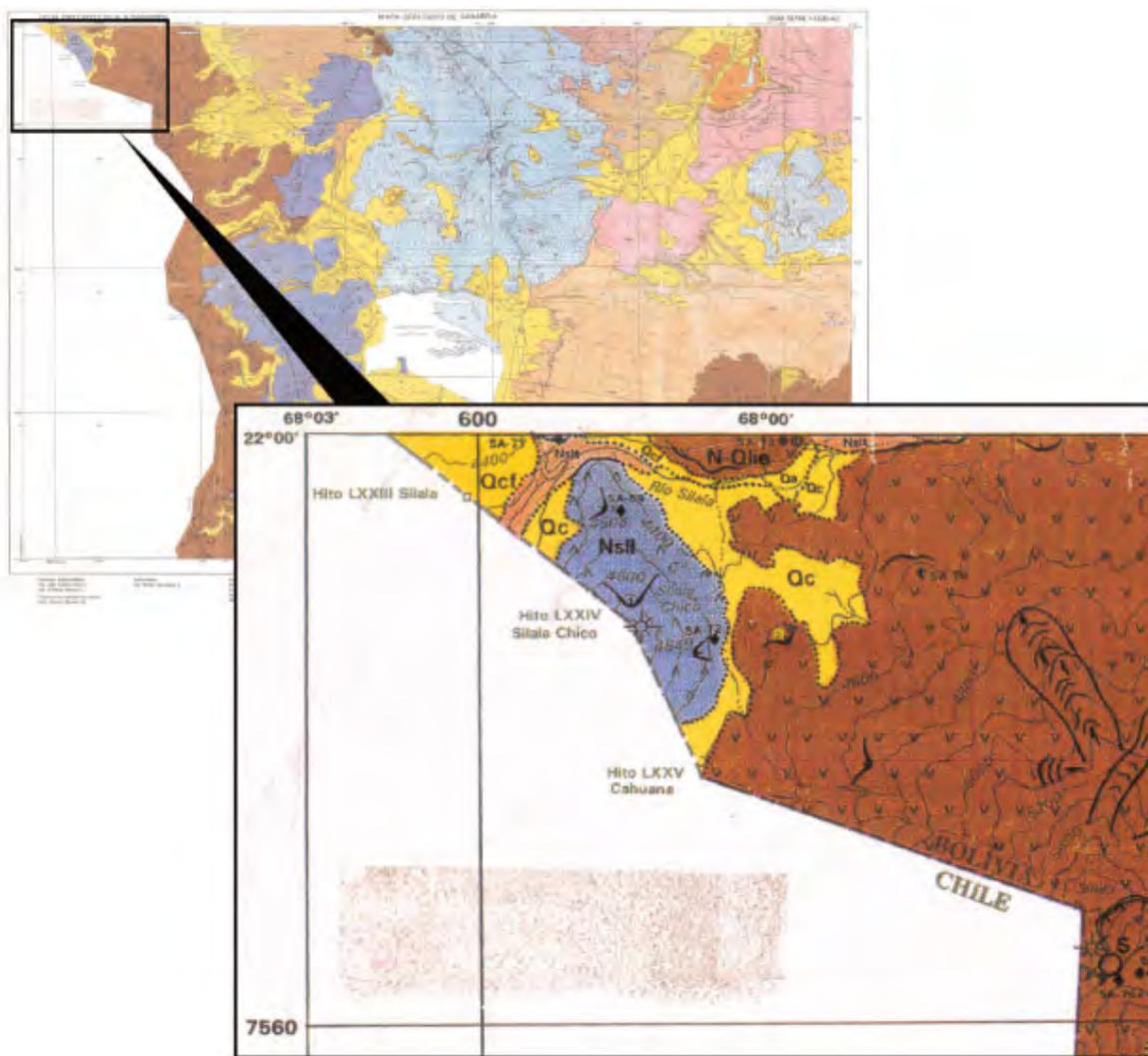


Figure 23
SERGEOMIN, carte géologique de la Bolivie, planche 5927-6027,
Silala-Sanabria, éd. mars 1997
MC, annexe 89

70

4.31. Sur cette carte, le SERGEOMIN a qualifié les dépôts situés juste au nord de la gorge du Silala de «Qcf», ce qui désigne les dépôts colluviaux-fluviatiles du Pléistocène-Holocène¹²⁸. On trouve ici la confirmation des origines fluviatiles de la gorge du Silala par la plus haute autorité technique bolivienne. On y trouve également la confirmation supplémentaire que le changement de position de la Bolivie est sans fondement.

4.32. Il convient de noter que, le 27 avril 1999, la chambre des députés de la Bolivie a approuvé une proposition qui visait à donner instruction à l'IGM bolivien de modifier les cartes produites par ses soins dans lesquelles le Silala était représenté «à tort» comme une rivière. Elle a aussi accepté une proposition adressée à l'exécutif, qui priait ce dernier de donner instruction à toutes les divisions de l'Etat de cesser d'employer le terme «rivière» pour désigner les sources Silala, «étant donné qu'une telle confusion pourrait occasionner de sérieux problèmes s'agissant de

¹²⁸ Voir la définition des formations lithologiques, coin supérieur droit de la carte géologique de la Bolivie, feuille planche 5927-6027, Silala-Sanabria, éd. mars 1997. MC, annexe 89.

la souveraineté nationale»¹²⁹. Les débats de la chambre des députés ont amené le Chili à rédiger une note diplomatique, confirmant le statut de cours d'eau international de la rivière Silala¹³⁰.

4.33. Les cartes officielles chiliennes publiées après la conclusion du traité de 1904, telles que celles parues en 1907, en 1910 et en 2014, représentent également le Silala en tant que cours d'eau transfrontière, prenant sa source en Bolivie et traversant la frontière internationale vers le Chili (figures 24, 25 et 26).

71



Figure 24
Chili, commission des limites, planche Antofagasta, 1907
MC, annexe 84

¹²⁹ Chambre des députés de la Bolivie, bulletin n° 308, 27 avril 1999. MC, annexe 47.

¹³⁰ Note n° 474/71 en date du 20 mai 1999 adressée au ministère des affaires étrangères et des cultes de la République de Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz. MC, annexe 26.

72

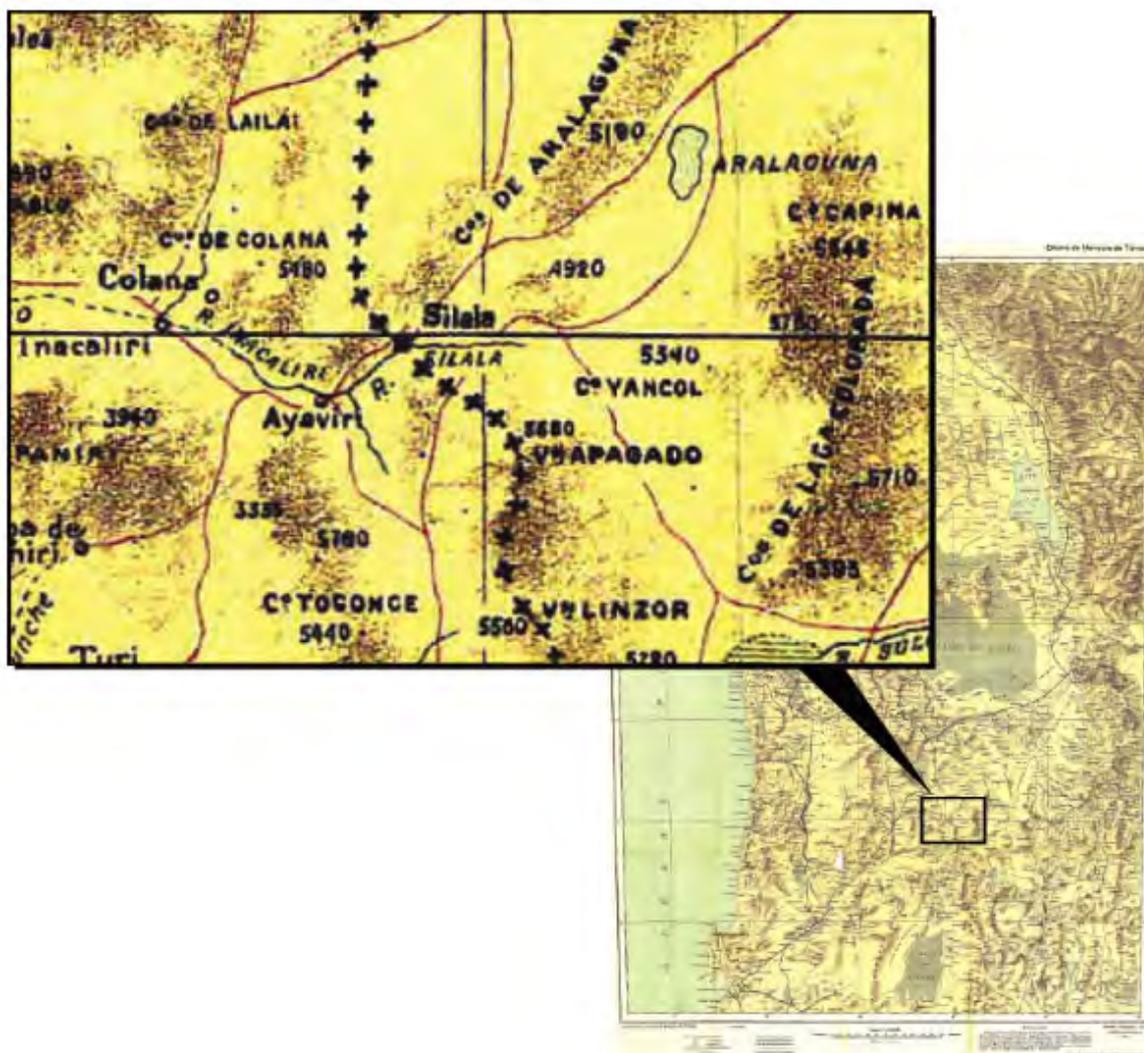


Figure 25
Service du cadastre du Chili, plan (sans titre), dans : La ligne frontière
avec la République de Bolivie, 1910
MC, annexe 86

73

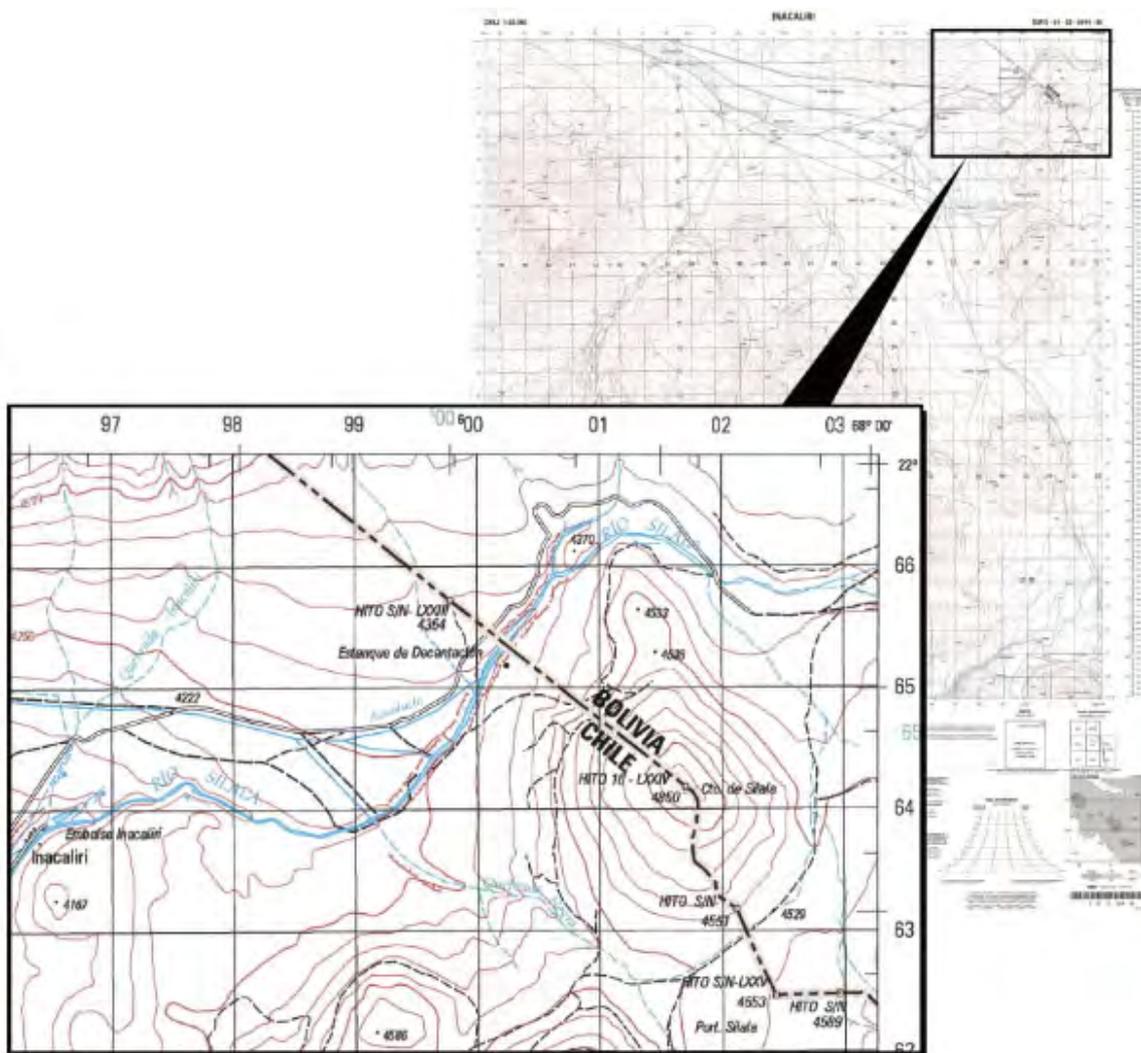


Figure 26
Institut géographique militaire chilien, planche Inacaliri, 3^e éd., 2014
MC, annexe 91

74

4.34. Une carte chilienne non officielle des gisements de salpêtre datant de 1907 est aussi particulièrement intéressante, car elle a été établie à partir de relevés effectués peu auparavant par le bureau des limites du Chili et antérieurs à la mise en exploitation des concessions accordées par le Chili et la Bolivie à la FCAB (figure 27).

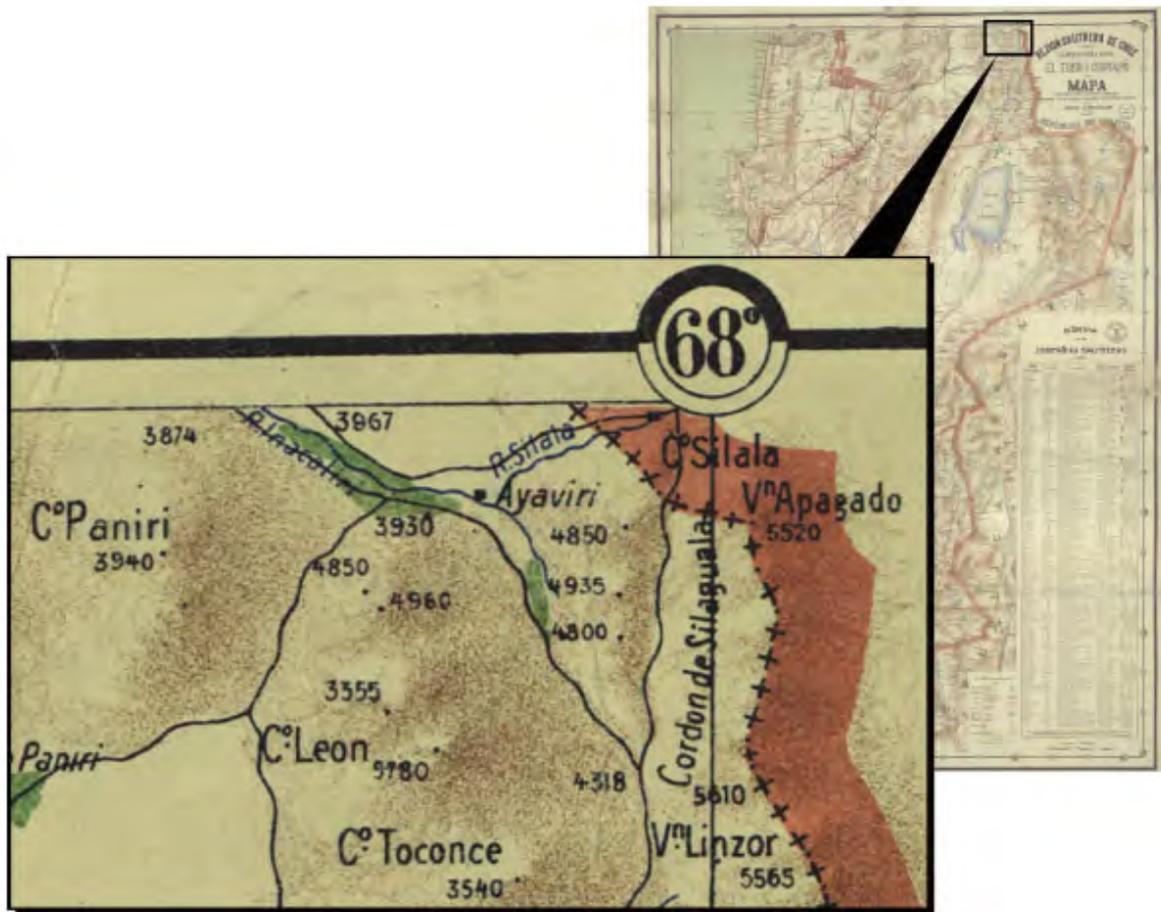


Figure 27
J. J. Heusler, carte de la région des gisements de salpêtre du Chili,
comprise entre El Toco et Copiapó, 1907
MC, annexe 85

4.35. Par conséquent, la reconnaissance commune (par le plan annexé au traité de 1904) est confirmée plus avant par un grand nombre de cartes officielles publiées par la Bolivie et le Chili postérieurement audit traité qui représentent le Silala en tant que cours d'eau transfrontière prenant sa source en Bolivie et s'écoulant au Chili.

75

2. Toutes les commissions mixtes chargées de la démarcation et de la révision de la frontière internationale ont reconnu le caractère de cours d'eau international du Silala

4.36. Après la signature du traité de 1904, la Bolivie a reconnu et confirmé à maintes reprises le statut international du Silala dans le contexte des activités communes de démarcation, de révision et autres entreprises dans la région du Silala. Les délégations représentant la Bolivie au sein des commissions mixtes n'ont jamais remis en cause le caractère de cours d'eau international du Silala.

4.37. A cet égard, rappelons que, en l'affaire des *Activités armées sur le territoire du Congo (République démocratique du Congo c. Ouganda)*, la Cour a souligné qu'elle «préférerait» des informations fournies à l'époque des événements par des personnes ayant eu de ceux-ci une connaissance directe» et qu'elle «prêterait» une attention toute particulière aux éléments de preuve dignes de foi attestant de faits ou de comportements défavorables à l'Etat que représente celui dont

émanent lesdits éléments»¹³¹. Ainsi, le fait que les représentants boliviens aux commissions mixtes aient eux-mêmes reconnu l'existence de la rivière Silala et en aient pris acte constitue une preuve particulièrement convaincante du statut du Silala en tant que cours d'eau international à écoulement naturel.

4.38. En outre, il est à noter qu'au total six bornes frontière ont été conjointement installées dans la région du Silala, trois en 1906 et trois de plus en 1993.

4.39. Les trois bornes de 1906 ont été situées et installées par la commission des limites Chili-Bolivie créée pour mettre en application des dispositions du traité de 1904 relatives à la frontière. L'une d'elles (n° S/N-LXXIII) a été placée d'un commun accord «sur le Silala» (*en el río Silala*)¹³².

76

4.40. Les trois bornes frontière de 1906 ont été posées au cours d'une mission de démarcation menée conjointement entre le 28 mai et le 28 juillet 1906. A cette occasion, la nature de rivière du Silala a été confirmée sur le terrain par l'ingénieur bolivien Quintín Aramayo Ortíz, chef de la commission bolivienne, qui a pris les notes suivantes dans son journal d'expédition :

«28 juin. Le camp temporaire a été déplacé jusqu'au *cours supérieur de la rivière Silola [sic], tandis que le camp de base était maintenu à la rivière Silola.*

28 juin. La borne frontière suivante a été érigée sur le mont Silola, qui se situe sur une ligne droite entre les monts Silola et le point culminant du mont Inacaliri.

29 juin. Le camp temporaire a été levé pour rallier *le camp de base à la rivière Silola.*»¹³³ (Les italiques sont de nous.)

4.41. L'emplacement des trois bornes frontière de 1906 aux abords du Silala apparaît à la figure 28 ci-dessous.

¹³¹ *Activités armées sur le territoire du Congo (République démocratique du Congo c. Ouganda), arrêt, C.I.J. Recueil 2005, p. 201, par. 61.*

¹³² Travaux de la commission des limites Chili-Bolivie, procès-verbal du 23 mars 1906 (p. 1-2). MC, annexe 6. Il est à noter qu'en réalité la borne frontière S/N-LXXIII n'était pas située «sur le Silala», mais sur la plaine au nord de la gorge du Silala, pour une meilleure visibilité.

¹³³ Travaux de la commission des limites Chili-Bolivie, rapport du 14 août 1906 signé par le chef de la commission bolivienne chargée de la démarcation, Quintín Aramayo Ortíz (p. 14-18). MC, annexe 40.

77

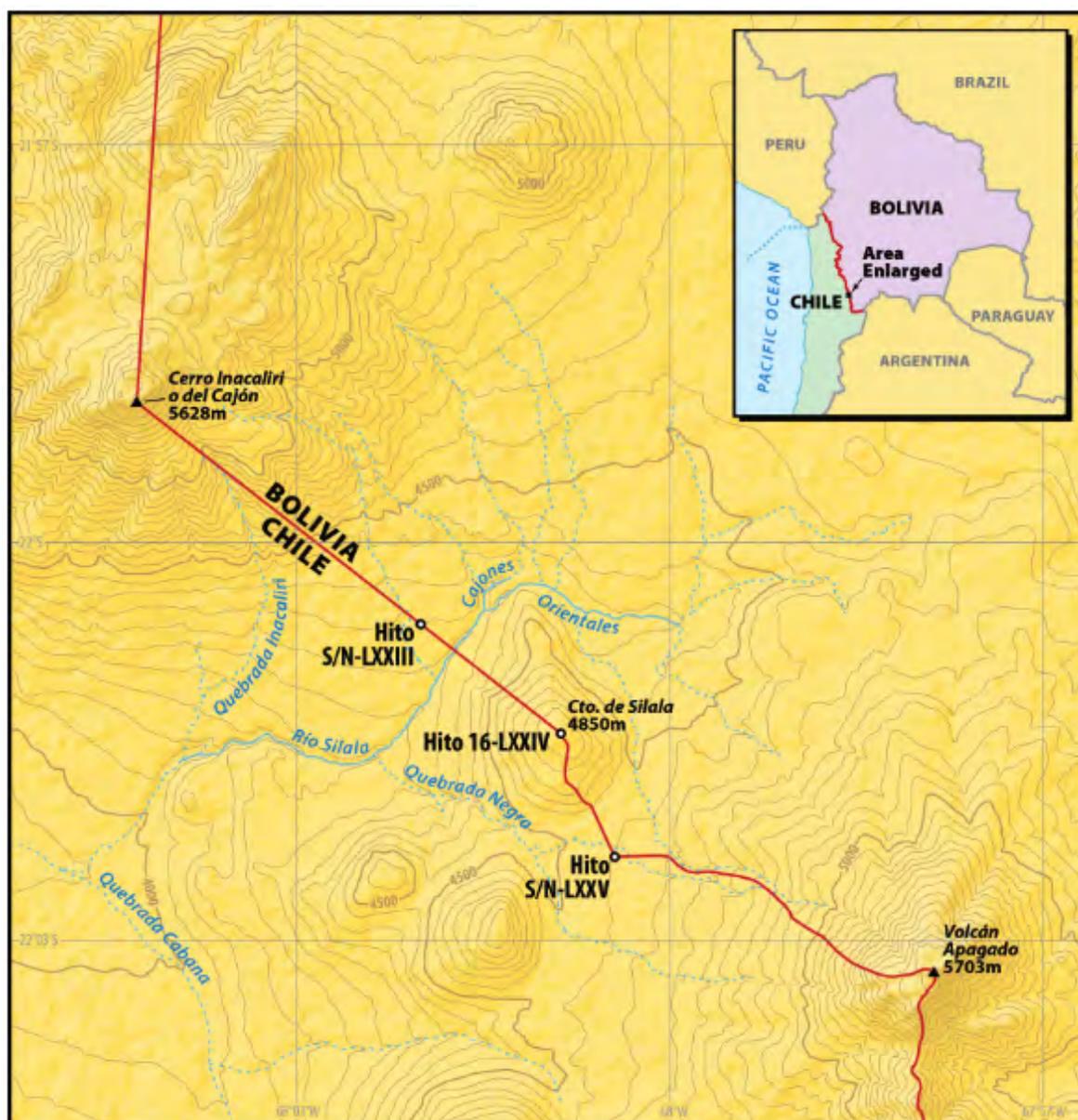


Figure 28
Emplacement des bornes frontière de 1906 dans la région du Silala

78

4.42. En 1924, les bornes frontière de 1906 situées à proximité du Silala ont été inspectées sur site par une commission mixte de révision et de remplacement. Là encore, le camp a été monté près du Silala, comme le note dans son rapport de mission le commandant Carlos Graña, chef de la commission bolivienne de révision et de remplacement. Le commandant Graña a émis de sérieuses réserves au sujet du toponyme désignant la rivière, tel qu'établi par le traité, indiquant que «Siloli» aurait été préférable à «Silala» ; en revanche, il n'a à aucun moment remis en cause sa nature de rivière, qui était pour lui une évidence : «Les commissions ont immédiatement transféré leurs camps à la rivière Siloli — et non Silala comme l'indique le traité.»¹³⁴

¹³⁴ Rapport du commandant Carlos Graña et autres sur les travaux de révision du tracé de la frontière avec le Chili, La Paz, 20 juin 1924. MC, annexe 43.

4.43. En 1942, une commission mixte des frontières Chili-Bolivie (ci-après la «commission mixte») a été créée en vertu du protocole sur l'entretien des bornes frontière (*protocolo sobre conservación de hitos fronterizos*)¹³⁵. La commission mixte a confirmé et reconnu maintes fois l'existence du Silala en tant que masse d'eau s'écoulant naturellement de la Bolivie au Chili.

4.44. En 1991 et 1992, la commission mixte a adopté des monographies (*monografías*) pour chacune des trois bornes frontière de 1906 dans la région du Silala : borne frontière S/N LXXIII¹³⁶, borne frontière 16-LXXIV¹³⁷ et borne frontière S/N-LXXV¹³⁸. Chacune de ces monographies contient une carte représentant le Silala en tant que cours d'eau transfrontière, comme on peut le voir dans la monographie de la borne frontière S/N LXXIII (figure 29).

¹³⁵ Protocole sur l'entretien des bornes frontière entre la Bolivie et le Chili, 10 août 1942. MC, annexe 3.

¹³⁶ Commission mixte des frontières Chili-Bolivie, monographie de la borne frontière S/N-LXXIII, 20 août 1991. MC, annexe 9. Pour les révisions antérieures, voir les procès-verbaux de révision de la borne LXXIII : 23 septembre 1959 (MC, annexe 8.1), 17 septembre 1983 (MC, annexe 8.2) et 20 août 1991 (MC, annexe 8.3).

¹³⁷ Commission mixte des frontières Chili-Bolivie, monographie de la borne frontière 16-LXXIV, 18 novembre 1992. MC, annexe 11. Pour les révisions antérieures, voir les procès-verbaux de révision de la borne LXXIV : 22 septembre 1959 (MC, annexe 10.1), 18 septembre 1983 (MC, annexe 10.2) et 18 novembre 1992 (MC, annexe 10.3).

¹³⁸ Commission mixte des frontières Chili-Bolivie, monographie de la borne frontière S/N-LXXV, 20 août 1991. MC, annexe 13. Pour les révisions antérieures, voir les procès-verbaux de révision de la borne LXXV : 17 septembre 1983 (MC, annexe 12.1) et 20 août 1991 (MC, annexe 12.2).

79

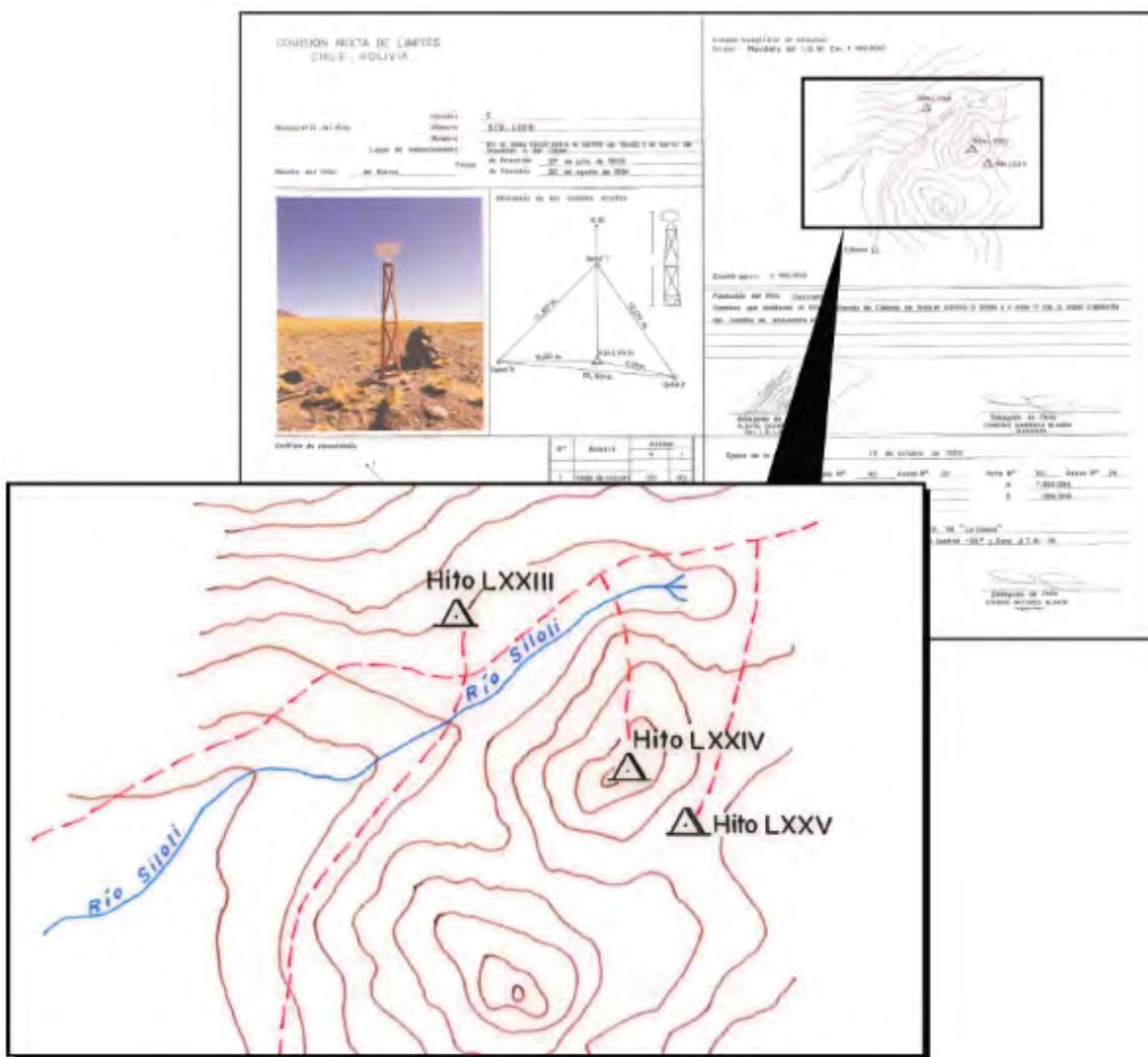


Figure 29
Monographie de la borne frontière S/N-LXXIII, 20 août 1991
MC, annexe 9

80

4.45. En 1992, les deux Etats ont conjointement adopté une carte officielle de la région du Silala, signée par les responsables boliviens et chiliens et les délégués à la commission mixte. Le Silala y est représenté comme un cours d'eau transfrontière s'écoulant de la Bolivie au Chili, comme le montre la figure 30¹³⁹.

¹³⁹ Voir aussi commission mixte des frontières Chili-Bolivie, annexe 34-A au procès-verbal n° 38, 28 avril 1992. MC, annexe 88.2. Les accords reflétés dans le procès-verbal n° 38, y compris la carte, ont été officiellement adoptés par la Bolivie et le Chili par l'échange des instruments suivants : lettre en date du 8 octobre 1992 adressée au président de la commission bolivienne sur la souveraineté et les frontières par la direction chilienne des frontières et des limites de l'Etat et lettre en date du 8 octobre 1992 adressée au consul général du Chili à La Paz par le président de la commission bolivienne sur la souveraineté et les frontières. MC, annexes 25.1 et 25.2.

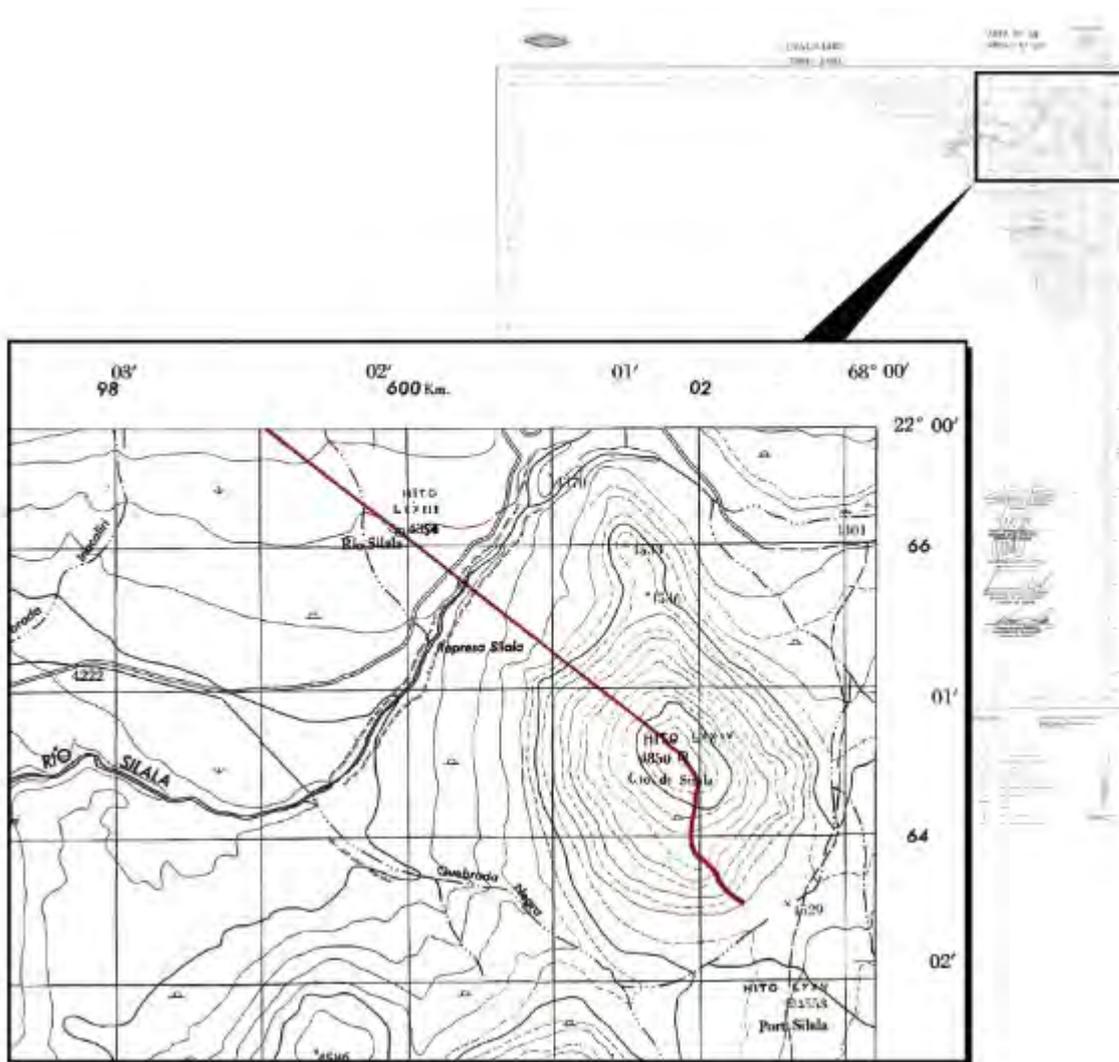


Figure 30
Commission mixte des frontières Chili-Bolivie, annexe 34
au procès-verbal n° 38, 28 avril 1992
MC, annexe 88.1

81 4.46. Cette carte a été établie à l'occasion de l'installation de trois bornes frontière supplémentaires dans la région du Silala, entre le volcan Apagado (point n° 15 du traité) et la borne frontière S/N LXXIV (Cerrito de Silala), juste au sud-est du Silala¹⁴⁰. Les monographies respectives de ces nouvelles bornes frontière, signées conjointement par les représentants boliviens et chiliens à la commission mixte, contiennent une carte identique de la zone qui, une fois encore, représente le Silala en tant que cours d'eau transfrontière (figure 31)¹⁴¹.

¹⁴⁰ Commission mixte des frontières Chili-Bolivie, procès-verbal n° 38, 28 avril 1992. MC, annexe 14.

¹⁴¹ Les nouvelles bornes frontière ont été installées le 4 novembre 1993, voir : commission mixte des frontières Chili-Bolivie, monographie de la borne S/N Inacaliri (MC, annexe 15.1), S/N Linzor a) (MC, annexe 15.2) et S/N Linzor b) (MC, annexe 15.3).

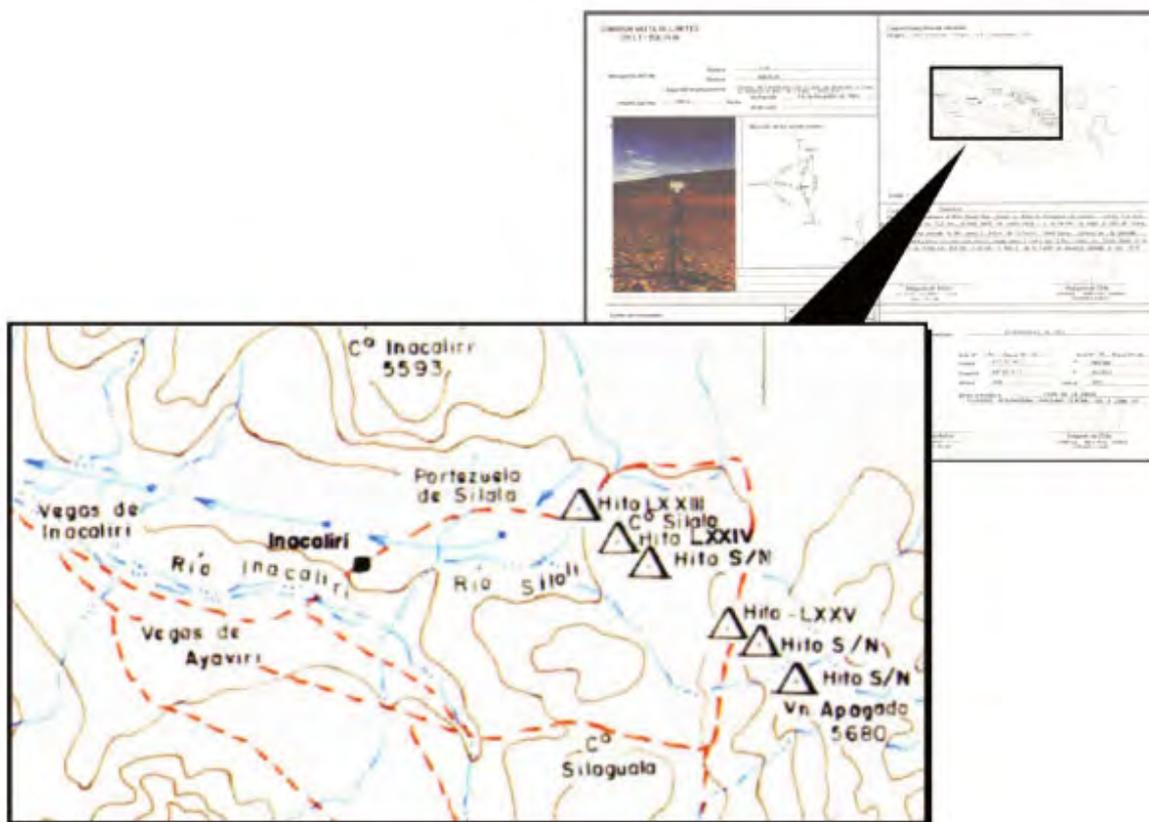


Figure 31
Monographie de la borne frontière S/N Inacaliri, 4 novembre 1993
MC, annexe 15.1

82

4.47. Par conséquent, la commission mixte a installé au total six bornes frontière dans la région du Silala, toutes indiquées à la figure 32.

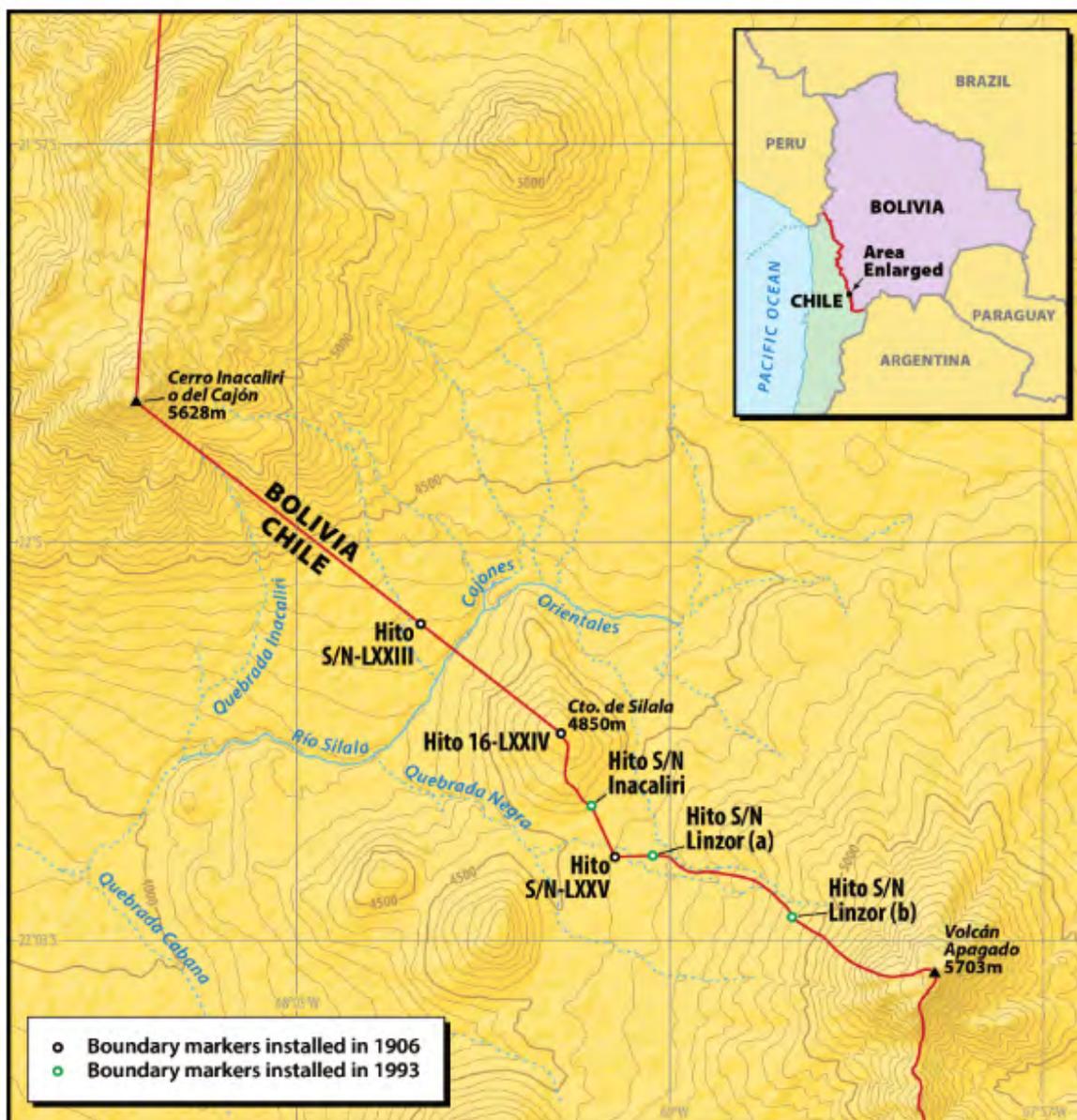


Figure 32
Emplacement des bornes frontière de 1906 et 1993 dans la région du Silala

83

4.48. En outre, le 7 mai 1996, les autorités boliviennes chargées des limites ont publié un communiqué de presse officiel en réponse à des allégations parues dans la presse bolivienne selon lesquelles les eaux du Silala auraient été artificiellement détournées vers le Chili. La Bolivie y rejetait à raison ces allégations, confirmant que le Silala était une rivière internationale :

«Sur instruction du ministre des affaires étrangères de la République, M. Antonio Aranibar Quiroga, [le président] de la commission [bolivienne] sur la souveraineté et les frontières a présenté un rapport technique sur le caractère international du Silala.

Le Silala est une rivière qui prend sa source au pied du mont du même nom, en territoire bolivien, puis franchit la frontière et coule en territoire chilien. En d'autres termes, le cours supérieur du Silala est bolivien et son cours inférieur, chilien.»¹⁴²

4.49. Le ministre bolivien des affaires étrangères, Antonio Aranibar Quiroga, s'est rendu sur les lieux le 18 mai 1996. Il a confirmé de visu que les eaux du Silala n'étaient pas détournées vers le Chili et que leur utilisation ainsi que la construction des ouvrages d'adduction d'eau avaient été autorisées par la Bolivie¹⁴³.

4.50. Comme indiqué plus haut, le caractère transfrontière du Silala a également été affirmé sans ambages par l'ambassadeur bolivien Teodosio Imaña Castro, alors président de la commission bolivienne des limites et de la commission mixte, dans un entretien publié le 31 mai 1996. M. Imaña a souligné que le Silala s'écoulait naturellement de la Bolivie jusqu'au Chili, suivant une pente descendante tout au long de son parcours :

84

«Le Silala coule dans la province de Sud Lípez, dans le département de Potosí, et relève de la juridiction de ce qui s'appelait, au début du siècle, le sous-canton de Quetena.

Il est constitué de deux sources principales mais reçoit également les eaux d'autres sources moins importantes. Le mince écoulement ainsi formé, dénommé le Silala, parcourt le territoire bolivien sur environ deux kilomètres avant de franchir la frontière en un point du versant est-ouest de la vallée située entre le Cerro Inacaliri et le Cerro Silala. La pente est d'environ 30 % [*sic*, plus probablement 3 %], selon les calculs des experts, [le] lit [de la rivière] est étroit et ses eaux cristallines coulent, du fait de la gravité, en direction de l'aval jusqu'en territoire chilien.

La Bolivie a exercé jusqu'en 1879 son autorité et sa juridiction conformément au code civil de Santa Cruz et à la loi du 4 novembre 1874 relative aux ressources hydriques. On trouve des références au calcul du débit, lequel a été effectué à au moins trois reprises : il est de 0,4 mètre cube par seconde. En territoire chilien, le Silala se jette dans le San Pedro et le Loa.»¹⁴⁴

4.51. Quelques mois plus tard, en octobre 1996, il est de nouveau apparu clairement que la Bolivie n'avait jamais cessé de concevoir le Silala comme une rivière transfrontière, quand les délégués boliviens de la commission mixte ont proposé l'installation d'une autre borne frontière intermédiaire «dans le secteur de la rivière Silala» (*en el sector Río Silala*)¹⁴⁵.

¹⁴² Communiqué de presse émanant du ministère des affaires étrangères de la Bolivie, 7 mai 1996, *El Diario*, La Paz (Bolivie). MC, annexe 45.

¹⁴³ «Bolivia Asks Chile for Compensation for Collecting the Waters of the Silala River», *La Época*, La Paz, 21 mai 1996. MC, annexe 70.

¹⁴⁴ Interview donnée par M. Teodosio Imaña Castro, ambassadeur de la Bolivie, le 31 mai 1996, *Presencia*, La Paz (Bolivie). MC, annexe 71.

¹⁴⁵ Commission mixte des frontières Chili-Bolivie, procès-verbal n° 46, 21 avril 1996, p. 27. MC, annexe 16. La proposition d'installer une borne frontière intermédiaire entre les bornes LXXIII et LXXIV avait été annoncée par le ministre bolivien des affaires étrangères, Antonio Aranibar Quiroga, lorsqu'il s'est rendu pour la première fois aux abords du Silala en mai 1996, «pour aider à la détermination du point effectif de la gorge (chenal) où les eaux traversent la frontière pour pénétrer au Chili», voir : «Bolivia Asks Chile for Compensation for Collecting the Waters of the Silala River», *La Época*, La Paz, 21 mai 1996. MC, annexe 70.

85 4.52. Cette proposition a été soumise à une sous-commission mixte, qui a recommandé l'installation de deux bornes frontière intermédiaires dans ce secteur, dont une devait être plantée «dans le fond de gorge de la rivière Silala» (*en el fondo de la quebrada del Río Silala*)¹⁴⁶. L'installation de ces deux bornes frontière intermédiaires était prévue en 1999¹⁴⁷. Toutefois, les travaux de terrain attendus à partir de 1999 n'ont pas été entrepris, pour des raisons administratives selon les allégations de la Bolivie¹⁴⁸.

4.53. En 2011, la commission mixte alors en session a décidé de réintégrer le plan de travail annuel de 1999 dans la planification annuelle de ses activités, ce qui incluait l'installation d'une borne frontière intermédiaire «dans la gorge de la rivière Silala» (*en la Quebrada del Río Silala*)¹⁴⁹. La commission mixte ne s'est plus réunie depuis. A ce jour, l'installation des deux bornes frontière intermédiaires dans la région du Silala demeure en souffrance. Il n'en reste pas moins que la commission mixte a reconnu que le Silala est une rivière et qu'il s'écoule dans la gorge qu'il a lui-même creusée.

86 4.54. Pendant la période comprise entre 1996 et 2011, au cours de laquelle l'installation de ces bornes frontière intermédiaires (dont une «dans la gorge de la rivière Silala»¹⁵⁰) a été envisagée, les délégués boliviens de la commission mixte n'ont jamais remis en cause la nature de rivière ou le caractère de cours d'eau transfrontière du Silala. Bien au contraire, chaque fois qu'ils se sont référés au Silala, ils l'ont considéré comme une rivière s'écoulant dans sa gorge naturelle (*quebrada*)¹⁵¹.

4.55. La pratique constante des autorités techniques boliviennes, qui ont toujours reconnu et confirmé que le Silala était une rivière s'écoulant dans une gorge naturelle et traversant la frontière internationale entre la Bolivie et le Chili, constitue la preuve, plus irréfragable encore, que la négation soudaine par la Bolivie en 1999 de cet état de fait ne se fonde sur aucune preuve scientifique recueillie sur le terrain, mais est bien arbitraire et semble motivée par des considérations politiques.

¹⁴⁶ Commission mixte des frontières Chili-Bolivie, procès-verbal n° 49, 20 novembre 1998, p. 5 et annexe 2. MC, annexes 17.1 et 17.2.

¹⁴⁷ Commission mixte des frontières Chili-Bolivie, procès-verbal n° 50, annexe 5, 2 décembre 1998, p. 3 : «dans le fond de gorge de la rivière Silala et sur la pente septentrionale de Cerro Silala». MC, annexe 18.

¹⁴⁸ Commission mixte des frontières Chili-Bolivie, procès-verbal n° 51, 3 mai 2001, p. 2, et procès-verbal n° 53, 28 octobre 2011, p. 10. MC, annexes 19 et 20.1.

¹⁴⁹ Commission mixte des frontières Chili-Bolivie, procès-verbal n° 53, 28 octobre 2011, p. 6, au point 8.5 : «La commission mixte est convenue d'ajouter en annexe 4 à ce procès-verbal le rapport relatif aux travaux de terrain à envisager dans le cadre de la planification des activités annuelles, lequel figure à l'annexe 5 du procès-verbal n° 50.» MC, annexe 20.1. Voir, pour la planification des activités de l'année 2011, commission mixte des frontières Chili-Bolivie, procès-verbal n° 53, annexe 4, 28 octobre 2011. MC, annexe 20.2.

¹⁵⁰ Commission mixte des frontières Chili-Bolivie, procès-verbal n° 53, annexe 4, 28 octobre 2011, p. 4. MC, annexe 20.2.

¹⁵¹ Commission mixte des frontières Chili-Bolivie, procès-verbal n° 49, 20 novembre 1998, p. 5. MC, annexe 17.1 ; commission mixte des frontières Chili-Bolivie, procès-verbal n° 50, annexe 5, 2 décembre 1998, p. 3. MC, annexe 18 ; commission mixte des frontières Chili-Bolivie, procès-verbal n° 53, annexe 4, 28 octobre 2011, p. 4. MC, annexe 20.2.

3. Le Chili et la Bolivie ont tous deux exercé leur souveraineté sur les eaux du Silala en accordant, en 1906 et en 1908 respectivement, des concessions d'utilisation des eaux sur le territoire chilien

4.56. Le caractère transfrontière du Silala transparaît sans équivoque dans le fait que ses eaux ont été utilisées sur le territoire chilien avant que soit construit un quelconque ouvrage d'adduction d'eau en Bolivie. En fait, le 31 juillet 1906, le Chili a concédé l'utilisation des eaux du Silala sur son territoire à la FCAB pour une période illimitée et dans le but d'accroître l'apport d'eau potable à la ville portuaire chilienne d'Antofagasta¹⁵². A l'époque, aucun ouvrage n'avait été construit en Bolivie ou au Chili en lien avec le cours d'eau.

87

4.57. C'est la FCAB qui a déterminé pour la première fois que les eaux du Silala en territoire chilien étaient une source adéquate d'eau potable, comme en témoigne la correspondance entre le directeur général de la FCAB au Chili et son conseil d'administration à Londres :

«En mon absence, l'information nous est parvenue qu'un important apport provenait d'une rivière (le Ciloli) [*sic*], qui s'écoule dans le marais salant de San Pedro où ses eaux disparaissent. Des échantillons ont été prélevés en un point de cette rivière, appelé «El Cajón», à environ 30 kilomètres des sources Colana (pas au niveau de la source de la rivière, qui se situe bien plus loin), et la qualité de l'eau, ainsi que le montre l'analyse ci-jointe, est excellente. Un large volume d'eau descend la rivière Ciloli [*sic*], qui est probablement le principal apport du San Pedro.»¹⁵³

4.58. Le 18 juin 1906, le Chili a accordé une concession à la FCAB¹⁵⁴, laquelle a par la suite envisagé de déposer une demande similaire en Bolivie¹⁵⁵.

88

4.59. Le 7 septembre 1908, la FCAB a soumis sa demande d'exploitation des eaux du Silala aux autorités boliviennes. Les autorités compétentes, en la personne du vice-préfet de Potosí, ont octroyé la concession le 21 septembre 1908, confirmant que la FCAB avait «qualité de véritable et unique concessionnaire de l'utilisation des eaux dites «Sololi» [*sic*] sans que nul puisse revendiquer un droit plus légitime»¹⁵⁶.

4.60. La FCAB a construit son premier ouvrage de prise d'eau (la prise d'eau n° 1) en territoire bolivien, juste en contrebas de la confluence des gorges Cajones et Orientales. En août 1910, la FCAB a sollicité et obtenu l'autorisation du Gouvernement bolivien d'amener jusqu'en

¹⁵² Acte de concession (n° 1892) par le Chili des eaux du Siloli en faveur de l'Antofagasta (Chili) and Bolivia Railway Company Limited, en date du 31 juillet 1906. MC, annexe 55. La FCAB a obtenu le droit de fournir de l'eau potable à Antofagasta en novembre 1888 de la compagnie minière Compañía Huanchaca de Bolivia (la «Huanchaca»), qui avait acquis son droit du Chili conformément à la loi chilienne du 21 janvier 1888. MC, annexe 54.

¹⁵³ Lettre en date du 15 décembre 1905 adressée au secrétaire du conseil d'administration de la FCAB à Londres par le directeur général de la FCAB au Chili, p. 5. MC, annexe 63.

¹⁵⁴ Acte de concession (n° 1892), par le Chili, des eaux du Siloli en faveur de l'Antofagasta (Chili) and Bolivia Railway Company Limited, en date du 31 juillet 1906. MC, annexe 55. La concession chilienne visant les eaux du Silala a été accordée par l'intendant (*intendente*) d'Antofagasta, selon la FCAB, parce que le Silala est un «cours d'eau» et non une «source» au sens du droit chilien et que la concession de l'exploitation des «cours d'eau» relève de la compétence de l'intendant, voir lettre en date du 28 juin 1906 adressée au secrétaire du conseil d'administration de la FCAB à Londres par le directeur général de la FCAB au Chili, p. 129. MC, annexe 64.

¹⁵⁵ Lettre en date du 28 juin 1906 adressée au secrétaire du conseil d'administration de la FCAB à Londres par le directeur général de la FCAB au Chili, p. 129. MC, annexe 64.

¹⁵⁶ Acte de concession (n° 48), par la Bolivie, des eaux du Siloli en faveur de l'Antofagasta (Chili) and Bolivia Railway Company Limited, en date du 28 octobre 1908, p. 66. MC, annexe 41.

Bolivie les conduites nécessaires, en partant du territoire chilien, car c'était l'itinéraire le plus court¹⁵⁷. Ainsi, la construction de la prise d'eau et de la conduite en territoire bolivien a été expressément approuvée par les autorités compétentes boliviennes.

4.61. Dix-sept ans plus tard, en 1928, il est apparu nécessaire, pour des raisons de santé publique, d'améliorer ces installations et de creuser des chenaux depuis les zones humides Orientales et Cajones jusqu'à la prise d'eau n° 1, afin d'éviter que les eaux ne soient contaminées par les œufs des mouches vertes se reproduisant dans la végétation spontanée aux abords du Silala¹⁵⁸. Ces chantiers étaient, à l'évidence, connus de la Bolivie, qui ne s'y est pas opposée. Les chenaux n'ont pas changé ou «détourné» le cours de la rivière pour la faire entrer au Chili. Il va de soi que la position contraire adoptée par la Bolivie après 1999 n'est pas tenable, puisqu'elle fait fi de la topographie naturelle. Elle est aussi aberrante, notamment à la lumière de l'autorisation expresse donnée dans la concession de 1908 par la Bolivie à la FCAB de construire des ouvrages d'adduction d'eau en territoire bolivien.

89

4. Même après avoir brusquement changé de position en 1999, la Bolivie a continué de reconnaître l'existence du Silala en tant que cours d'eau international

4.62. Malgré sa décision, en 1999, de nier la nature de rivière du Silala, au prétexte que cela serait en quelque sorte incompatible avec sa naissance dans des sources, la Bolivie a continué de reconnaître le caractère de cours d'eau transfrontière du Silala dans des contextes bilatéraux, internationaux et nationaux.

4.63. Comme démontré dans la section 3 ci-dessus, la délégation bolivienne de la commission mixte s'est toujours référée au Silala en tant que rivière transfrontière s'écoulant dans une gorge naturelle, y compris lors de sa toute dernière session, en 2011.

4.64. Dans ses relations internationales, la Bolivie reconnaît à ce jour la nature de *rivière* du Silala dans le contexte de la convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau (1971) (ci-après la «convention de Ramsar»), dont elle est un Etat contractant¹⁵⁹. Même dans ce contexte particulier des zones humides, la Bolivie a, à plusieurs reprises, mentionné le Silala en tant que *rivière* dans sa description du site Ramsar bolivien «Los Lípez», établie en 2009 : «La Réserve borde au nord-est le cours supérieur de la rivière Silala, situé sur les pentes de la colline du même nom, sur la ligne frontière bolivo-chilienne.»¹⁶⁰ «Sont également présents dans la zone des rivières/ruisseaux à caractère saisonnier/intermittent/irrégulier (N), tels que les rivières Silala, Solor, Quetena et Khastor, entre autres.»¹⁶¹

¹⁵⁷ Demande en date du 3 août 1910 soumise par la FCAB au Gouvernement bolivien, MC, annexe 65 ; et communication n° 71 en date du 9 août 2010 adressée à la FCAB par le Gouvernement bolivien. MC, annexe 42.

¹⁵⁸ Lettre en date du 27 janvier 1928 adressée au secrétaire du conseil d'administration de la FCAB à Londres par le directeur général de la FCAB au Chili, p. 3-4. MC, annexe 67.1.

¹⁵⁹ La convention de Ramsar est entrée en vigueur en Bolivie le 27 octobre 1990, voir : convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau (convention de Ramsar), signée à Ramsar le 2 février 1971. Disponible à l'adresse : https://ramsar.org/sites/default/files/documents/library/scan_certified_f.pdf.

¹⁶⁰ Fiche descriptive bolivienne sur les zones humides de Ramsar — version 2009-2012, 4 mai 2009. MC, annexe 51.

¹⁶¹ *Ibid.*

90

4.65. La législation bolivienne reconnaît également la nature de *rivière* du Silala, indépendamment du fait qu'il prend naissance dans des sources. En effet, le site Ramsar de Los Lípez coïncide en grande partie avec la réserve nationale de faune andine Eduardo Abaroa, créée en 1973 par la Bolivie par voie de décret¹⁶². Le périmètre de cette réserve nationale a été modifié en 1981, également par voie de décret, et a été défini par référence aux «sources de la rivière Silala» : «au nord-est, le cours supérieur de la rivière Silala ou Siloli, situé sur les pentes de la colline du même nom, sur la ligne frontière bolivo-chilienne»¹⁶³.

4.66. Le fait que la Bolivie ait reconnu à maintes reprises après 1999 le caractère de cours d'eau international du Silala, dans ses engagements et accords aussi bien bilatéraux et internationaux que nationaux, souligne combien il est futile de nier le simple fait naturel que le Silala est un cours d'eau qui suit naturellement une pente descendante depuis la Bolivie jusqu'au Chili.

¹⁶² Bolivie, décret n° 11.239, 13 décembre 1973. MC, annexe 44.1.

¹⁶³ Bolivie, décret n° 18.313, 14 mai 1981. MC, annexe 44.2. [Traduction du Greffe]

**LES CONSÉQUENCES JURIDIQUES DÉCOULANT DU STATUT DE COURS D'EAU
INTERNATIONAL DU SYSTÈME HYDROGRAPHIQUE DU SILALA**

5.1. Dans ce dernier chapitre, le Chili exposera les conséquences juridiques découlant du statut de cours d'eau international du système hydrographique du Silala. Les sections A et B établiront et confirmeront le droit du Chili à une utilisation équitable et raisonnable des eaux du Silala. La section C établira l'obligation faite à la Bolivie de prendre toutes les mesures appropriées pour ne pas causer de dommage important au Chili. Dans la section C, le Chili examinera le refus persistant de la Bolivie de l'informer des activités qu'elle mène à proximité du Silala et qui sont susceptibles d'avoir une incidence sur ses eaux ou l'utilisation qui en est faite au Chili.

**A. LE CHILI JOUIT D'UN DROIT D'UTILISATION ÉQUITABLE ET RAISONNABLE
DU SILALA EN TANT QUE COURS D'EAU INTERNATIONAL**

5.2. Comme mentionné plus haut, en 1999, la Bolivie a affirmé subitement que le Silala n'était pas un cours d'eau international, revendiquant donc à son égard un droit exclusif d'utilisation¹⁶⁴. Elle n'avait auparavant, faut-il le rappeler, jamais remis en cause le statut international de la rivière ni prétendu que ses eaux fussent exclusivement boliviennes. Aujourd'hui, la Bolivie est même allée jusqu'à prétendre que le Chili avait une «dette historique» à raison de son utilisation passée des eaux du Silala¹⁶⁵. Le Chili a montré au chapitre 4 que le Silala est, en fait et en droit, un cours d'eau international et que, pendant plus d'un siècle, la Bolivie l'a traité systématiquement comme tel dans sa pratique.

5.3. Le statut de cours d'eau international du Silala fait naître certains droits et obligations pour les Etats qui le partagent. Ces droits et obligations procèdent du fait que, comme la Cour et sa devancière l'ont affirmé, il existe une communauté d'intérêts entre les Etats riverains d'un cours d'eau international¹⁶⁶. Conformément au principe de l'utilisation équitable et raisonnable, le Chili a le droit d'utiliser les eaux du Silala et d'être à l'abri de tout dommage important causé par la Bolivie. Le Chili a, en corollaire, des obligations à l'égard de la Bolivie. La Bolivie de son côté a les mêmes droits, et les mêmes obligations correspondantes envers le Chili. La Cour a fait clairement savoir qu'un Etat ne peut «pren[dre] unilatéralement le contrôle d'une ressource partagée, et ... priv[er] ainsi [un autre Etat] de son droit à une part équitable et raisonnable des ressources naturelles [de la ressource partagée]»¹⁶⁷. Or, la Bolivie entend précisément faire valoir un tel droit de contrôle à l'égard du Silala.

5.4. La Cour a déclaré en l'affaire relative au *Projet Gabčíkovo-Nagymaros (Hongrie/Slovaquie)* que les Etats avaient un «droit fondamental à une part équitable et raisonnable des ressources d'un cours d'eau international»¹⁶⁸. Il peut être considéré que, par ces mots, la Cour a reconnu que le droit à une utilisation équitable et raisonnable, de même que l'obligation

¹⁶⁴ Voir le changement soudain de position de la Bolivie, tel qu'affirmé pour la première fois dans la note n° GMI-656/99 en date du 3 septembre 1999 adressée au consulat général du Chili par le ministère des affaires étrangères et des cultes de la République de Bolivie. MC, annexe 27.

¹⁶⁵ Communiqué de presse du ministère des affaires étrangères de la Bolivie en date du 1^{er} octobre 2010. MC, annexe 52. Voir aussi : «Le président Morales donne pour instruction d'explorer les différentes voies juridiques ouvertes au pays pour défendre les eaux du Silala», *Prensa Palacio*, La Paz, 23 mars 2016. MC, annexe 72.1.

¹⁶⁶ *Projet Gabčíkovo-Nagymaros (Hongrie/Slovaquie)*, arrêt, C.I.J. Recueil 1997, p. 56, par. 85.

¹⁶⁷ *Ibid.*, p. 56, par. 85.

¹⁶⁸ *Ibid.*, p. 54, par. 78.

93

correspondante, fait partie du droit international coutumier. Le caractère coutumier du couple droit/obligation provient du fait que le traité de 1977 relatif à la construction et au fonctionnement du système d'écluses de Gabčíkovo-Nagymaros visé dans l'affaire du même nom ne fait aucunement mention de l'utilisation équitable et raisonnable ou du partage des ressources d'un cours d'eau international. La Cour a néanmoins conclu à l'existence de ce couple droit/obligation fondamental, dont la seule source est donc le droit international coutumier. De même la Cour a fait mention de l'utilisation équitable et raisonnable dans l'arrêt rendu en l'affaire relative à des *Usines de pâte à papier sur le fleuve Uruguay (Argentine c. Uruguay)*, nonobstant l'absence de toute référence y relative dans le traité pertinent en l'espèce¹⁶⁹.

5.5. Par conséquent, dès lors qu'il est jugé que le Silala est un cours d'eau international, partagé par la Bolivie et le Chili, chacun de ces Etats dispose de ce «droit fondamental» et est tenu par l'obligation correspondante en matière d'utilisation équitable et raisonnable des eaux en question.

5.6. De plus, l'utilisation et la participation équitables et raisonnables constituent la pierre angulaire de la convention de 1997. La convention, dont la négociation s'est fondée sur les travaux menés vingt années durant par la Commission du droit international, comme indiqué précédemment au chapitre 4, pose pour «principe général»¹⁷⁰ celui de l'utilisation et de la participation équitables et raisonnables.

**B. L'UTILISATION DES EAUX DU SYSTÈME HYDROGRAPHIQUE DU SILALA
PAR LE CHILI EST CONFORME À L'OBLIGATION D'UTILISATION
ÉQUITABLE ET RAISONNABLE**

5.7. Alors que l'utilisation des eaux du Silala par le Chili n'a rencontré aucune objection de la part de la Bolivie pendant plus d'un siècle, cette dernière revendique aujourd'hui un droit exclusif d'utilisation de ces eaux¹⁷¹. Le droit du Chili à une utilisation équitable et raisonnable des eaux du Silala en vertu du droit international coutumier est pourtant évident au regard de la jurisprudence qui a été rappelée à la section A ci-dessus. La présente section démontrera que l'utilisation par le Chili des eaux du Silala a été et demeure équitable et raisonnable.

94

5.8. La situation que doit examiner la Cour est la suivante : entre les deux Etats qui partagent le système hydrographique du Silala, le Chili a été et demeure le seul à en avoir fait une utilisation significative¹⁷². En outre, l'utilisation par le Chili des eaux du Silala a toujours été et demeure sans l'ombre d'un doute équitable et raisonnable vis-à-vis de la Bolivie.

5.9. Il ressort manifestement du libellé des articles 5 et 6 de la convention de 1997 que le critère de l'utilisation équitable et raisonnable est considéré à raison comme un critère souple qui

¹⁶⁹ *Usines de pâte à papier sur le fleuve Uruguay (Argentine c. Uruguay)*, arrêt, C.I.J. Recueil 2010 (I), par. 177 et 266.

¹⁷⁰ Convention de 1997, art. 5, qui est le premier article de la deuxième partie, intitulée «Principes généraux».

¹⁷¹ Note VRE-DGLFAIT-UAIT-Cs-136/2014 en date du 10 avril 2014 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère des affaires étrangères de l'Etat plurinational de Bolivie. MC, annexe 38.2. Voir aussi «Le président Morales donne pour instruction d'explorer les différentes voies juridiques ouvertes au pays pour défendre les eaux du Silala», *Prensa Palacio*, La Paz, 23 mars 2016. MC, annexe 72.1.

¹⁷² Si ce n'est que la Bolivie a récemment construit certains ouvrages à proximité des eaux d'amont du système hydrographique du Silala, comme indiqué plus loin à la section C, lesquels semblent faire usage des eaux du Silala et ont vraisemblablement une certaine incidence sur celles-ci.

doit être adapté en fonction des faits et des circonstances de chaque cas. L'article 5 de la convention de 1997 est libellé comme suit :

«Article 5. Utilisation et participation équitables et raisonnables

1. Les Etats du cours d'eau utilisent sur leurs territoires respectifs le cours d'eau international de manière équitable et raisonnable. En particulier, un cours d'eau international sera utilisé et mis en valeur par les Etats du cours d'eau en vue de parvenir à l'utilisation et aux avantages optimaux et durables — compte tenu des intérêts des Etats du cours d'eau concernés — compatibles avec les exigences d'une protection adéquate du cours d'eau.
2. Les Etats du cours d'eau participent à l'utilisation, à la mise en valeur et à la protection d'un cours d'eau international de manière équitable et raisonnable. Cette participation comporte à la fois le droit d'utiliser le cours d'eau et le devoir de coopérer à sa protection et à sa mise en valeur, comme prévu dans les présents articles.»

95

5.10. L'utilisation équitable et raisonnable doit donc être évaluée à la lumière de toutes les circonstances pertinentes. L'article 6 de la convention de 1997 comprend une liste indicative et non exhaustive de facteurs qu'il convient de prendre en considération pour déterminer si l'utilisation est bien équitable et raisonnable¹⁷³. Si l'on applique ces facteurs en l'espèce, il ne fait aucun doute que l'utilisation que le Chili fait des eaux du Silala est, et a toujours été, équitable et raisonnable.

5.11. S'agissant de cette utilisation, le Chili a été et demeure tributaire des eaux du Silala pour diverses utilisations domestiques, industrielles et minières, qui se sont développées au cours de plus d'un siècle. Entre autres usagers, la ville portuaire chilienne d'Antofagasta et les villages de Sierra Gorda et Baquedano, à différents moments par le passé et encore jusqu'en 2010, ont utilisé

¹⁷³ L'article 6 de la convention de 1997 définit comme suit les facteurs pertinents pour une utilisation équitable et raisonnable :

- «1. L'utilisation de manière équitable et raisonnable d'un cours d'eau international au sens de l'article 5 implique la prise en considération de tous les facteurs et circonstances pertinents, notamment :
 - a) Les facteurs géographiques, hydrographiques, hydrologiques, climatiques, écologiques et autres facteurs de caractère naturel ;
 - b) Les besoins économiques et sociaux des Etats du cours d'eau intéressés ;
 - c) La population tributaire du cours d'eau dans chaque Etat du cours d'eau ;
 - d) Les effets de l'utilisation ou des utilisations du cours d'eau dans un Etat du cours d'eau sur d'autres Etats du cours d'eau ;
 - e) Les utilisations actuelles et potentielles du cours d'eau ;
 - f) La conservation, la protection, la mise en valeur et l'économie dans l'utilisation des ressources en eau du cours d'eau ainsi que les coûts des mesures prises à cet effet ;
 - g) L'existence d'autres options, de valeur comparable, susceptibles de remplacer une utilisation particulière, actuelle ou envisagée.
2. Dans l'application de l'article 5 ou du paragraphe 1 du présent article, les Etats du cours d'eau intéressés engagent, si besoin est, des consultations dans un esprit de coopération.
3. Le poids à accorder à chaque facteur est fonction de l'importance de ce facteur par rapport à celle d'autres facteurs pertinents. Pour déterminer ce qu'est une utilisation raisonnable et équitable, tous les facteurs pertinents doivent être examinés ensemble et une conclusion tirée sur la base de l'ensemble de ces facteurs.»

96

les eaux du Silala prélevées par la FCAB à des fins de consommation par l'homme¹⁷⁴. Une part importante des eaux prélevées par la CODELCO reste à ce jour destinée à la consommation humaine dans les divisions minières de l'entreprise¹⁷⁵. Au nombre des utilisations industrielles passées figure l'exploitation de la voie ferrée Antofagasta-La Paz par la FCAB, tandis que les utilisations minières actuelles sont notamment celles de la CODELCO. L'extrême aridité de la région explique l'importance cruciale que revêtent les eaux du Silala pour toutes ces utilisations.

5.12. L'utilisation faite par la Bolivie, elle, a été quasi inexistante — tout du moins en territoire bolivien. La Bolivie a accordé des concessions d'utilisation des eaux en territoire chilien, une première fois en 1908 à la FCAB et une seconde fois en 1999 à la DUCTEC, cette dernière concession ayant été résiliée en 2003. A la connaissance du Chili, aucune concession n'est encore exploitée aujourd'hui.

5.13. Comme la Bolivie n'exerce nullement son droit équivalent d'utiliser les eaux du Silala, il apparaît inéluctablement que toute l'utilisation que fait le Chili, en sa qualité d'Etat riverain d'aval, du débit d'eau de 170 litres par seconde qui franchit la frontière internationale entre les deux pays ne peut être qu'équitable et raisonnable à l'égard de la Bolivie.

C. LA BOLIVIE A L'OBLIGATION DE PRENDRE TOUTES LES MESURES APPROPRIÉES POUR ÉVITER DE CAUSER UN DOMMAGE IMPORTANT AU CHILI

5.14. Les Etats qui partagent un cours d'eau international ont l'obligation de prendre toutes les mesures appropriées pour ne pas causer de dommage important à d'autres Etats du cours d'eau. Cette règle du droit international est codifiée à l'article 7 de la convention de 1997.

5.15. En les affaires jointes relatives à *Certaines activités menées par le Nicaragua dans la région frontalière* et à la *Construction d'une route au Costa Rica le long du fleuve San Juan*, la Cour a réaffirmé qu'au regard du droit international coutumier «[un] Etat est tenu de mettre en œuvre tous les moyens à sa disposition pour éviter que les activités qui se déroulent sur son territoire, ou sur tout espace relevant de sa juridiction, ne causent un préjudice sensible à l'environnement d'un autre Etat»¹⁷⁶. En l'affaire relative à des *Usines de pâte à papier*, la Cour a fait observer que :

97

«le principe de prévention, en tant que règle coutumière, trouve son origine dans la diligence requise («due diligence») de l'Etat sur son territoire. Il s'agit de «l'obligation, pour tout Etat, de ne pas laisser utiliser son territoire aux fins d'actes

¹⁷⁴ Avis de cessation de l'alimentation en eau en date du 5 octobre 2010 adressés par la FCAB aux villages de Sierra Gorda et Baquedano dans la commune de Sierra Gorda. MC, annexes 69.1 et 69.2.

¹⁷⁵ République du Chili, arrêté n° 5571 en date du 28 novembre 2002, signé par le directeur de la santé d'Antofagasta. MC, annexe 61.

¹⁷⁶ *Certaines activités menées par le Nicaragua dans la région frontalière (Costa Rica c. Nicaragua)* et *Construction d'une route au Costa Rica le long du fleuve San Juan (Nicaragua c. Costa Rica)*, arrêt, C.I.J. Recueil 2015 (II), par. 118. Voir aussi *Usines de pâte à papier sur le fleuve Uruguay (Argentine c. Uruguay)*, arrêt, C.I.J. Recueil 2010 (I), par. 101 ; *Licéité de la menace ou de l'emploi d'armes nucléaires, avis consultatif*, C.I.J. Recueil 1996 (I), par. 29 ; *Responsabilités et obligations des Etats dans le cadre d'activités menées dans la Zone, avis consultatif, 1^{er} février 2011, TIDM Recueil 2011*, par. 110-150 ; *Sentence arbitrale relative au chemin de fer dit Iron Rhine («Izjeren Rijn») entre le Royaume de Belgique et le Royaume des Pays-Bas*, décision du 24 mai 2005, RSA, vol. XXVII, par. 59 ; *Pakistan c. Inde, Cour permanente d'arbitrage, affaire n° 2011-01*, sentence partielle du 18 février 2013, par. 451, et sentence finale du 20 décembre 2013, par. 112.

contraires aux droits d'autres Etats» (*Détroit de Corfou (Royaume-Uni c. Albanie)*, fond, arrêt, C.I.J. Recueil 1949, p. 22).»¹⁷⁷

5.16. Dès lors qu'elle utilise les eaux du Silala avant que celles-ci franchissent la frontière, ou qu'elle mène des activités susceptibles d'avoir une incidence sur leur qualité, la Bolivie est tenue de prendre des dispositions de nature à éviter dans toute la mesure possible que la pollution ou le prélèvement ne risquent de rendre les eaux du Silala impropres à l'utilisation faite par le Chili ou de causer à celui-ci d'autres types de dommages.

5.17. Le Chili ne demande pas à la Cour de préciser exactement les mesures que la Bolivie doit prendre pour donner plein effet à l'article 7 de la convention de 1997. Il la prie en revanche de réaffirmer que la Bolivie est tenue de prendre toutes les mesures appropriées pour prévenir et limiter la pollution et autres formes de préjudice que causent au Chili les activités qu'elle mène à proximité du Silala.

98

**D. LA BOLIVIE A SYSTÉMATIQUEMENT OMIS D'INFORMER LE CHILI DES ACTIVITÉS
MENÉES SUR SON TERRITOIRE QUI SERAIENT SUSCEPTIBLES D'AVOIR
UNE INCIDENCE SUR LES EAUX DU SILALA OU SUR L'UTILISATION
QUI EN EST FAITE PAR LE CHILI**

5.18. Comme il a été dit précédemment au chapitre 3.C, le Chili a, à plusieurs reprises, cherché à obtenir des informations de la Bolivie concernant les activités menées dans la zone adjacente au cours supérieur du Silala.

5.19. Le 7 mai 2012, le Chili a demandé des informations sur plusieurs projets visant la région du Silala qui avaient été annoncés par le gouverneur du département de Potosí, notamment la construction d'une ferme piscicole, d'un barrage et d'une usine d'embouteillage d'eau minérale. Le Chili a émis cette demande dans le but de préserver les droits qui sont les siens, en tant qu'Etat riverain, concernant l'utilisation des eaux du Silala et la prévention des dommages¹⁷⁸. La Bolivie n'a pas répondu à cette demande.

5.20. Le Chili a réitéré sa demande d'informations le 9 octobre 2012¹⁷⁹. Dans sa réponse, datée du 25 octobre 2012, la Bolivie a nié que le Chili puisse avoir un quelconque droit d'utilisation des eaux du Silala, arguant que celui-ci n'était pas considéré comme une rivière internationale¹⁸⁰. Telle est la position que la Bolivie a maintenue au cours d'échanges diplomatiques ultérieurs et qui demeure la sienne à ce jour¹⁸¹. Cette position contraste fortement

¹⁷⁷ *Usines de pâte à papier sur le fleuve Uruguay (Argentine c. Uruguay)*, arrêt, C.I.J. Recueil 2010 (I), par. 101.

¹⁷⁸ Note n° 199/39 en date du 7 mai 2012 adressée au ministère des affaires étrangères de l'Etat plurinational de Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz. MC, annexe 34.

¹⁷⁹ Note n° 389/149 en date du 9 octobre 2012 adressée au ministère des affaires étrangères de l'Etat plurinational de Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz. MC, annexe 35.

¹⁸⁰ Note n° VRE-DGRB-UAM-020663/2012 en date du 25 octobre 2012 adressée au consulat général du Chili par le ministère des affaires étrangères de l'Etat plurinational de Bolivie. MC, annexe 36.

¹⁸¹ Pour les échanges de notes diplomatiques allant jusqu'à avril 2014, voir MC, annexes 37 et 38.

99 avec l'obligation générale de coopération établie en droit international¹⁸² et l'obligation de diligence requise («due diligence») à l'égard de la prévention des dommages transfrontières¹⁸³.

5.21. Plus récemment, le 7 février 2017, le Chili a demandé des informations sur l'utilisation des eaux du Silala et l'installation de systèmes de traitement sanitaire associés à la construction récente de dix habitations à proximité du poste militaire bolivien¹⁸⁴. Etant donné que les activités qu'il mène sur son territoire sont tributaires de la qualité des eaux du Silala, le Chili s'intéresse au premier chef à la question de savoir si les récentes installations situées à proximité du cours supérieur du Silala en Bolivie sont susceptibles de nuire à cette qualité. Le 24 mars 2017, la Bolivie a indiqué en réponse qu'elle informerait le Chili «dès que les informations demandées [seraient] disponibles»¹⁸⁵. Le 26 mai 2017, elle a informé le Chili que les habitations construites étaient inhabitées et que, selon elle, elles ne posaient donc aucun risque. En ce qui concerne le poste militaire, elle a affirmé que les dispositions nécessaires avaient été prises, que l'utilisation des eaux était minimale et que leur évacuation était contrôlée par le biais d'un système d'assainissement de base¹⁸⁶.

5.22. Une telle réponse, fournie sans aucun détail technique et postulant que les logements construits ne seront pas tôt ou tard habités, ne saurait être considérée comme une réponse suffisante aux questions posées légitimement par le Chili. C'est là une nouvelle illustration du refus persistant de la Bolivie d'informer ou de consulter le Chili au sujet des activités qu'elle a entreprises dans la zone bordant le cours supérieur du Silala.

100 5.23. Ce défaut répété d'information et de consultation trouve son origine dans le refus (nouveau) de la Bolivie de reconnaître que le Silala est un cours d'eau international¹⁸⁷, en dépit du fait qu'il prend manifestement sa source en Bolivie et s'écoule naturellement en pente, à travers la frontière et jusqu'au Chili, par gravité. Rien ne saurait justifier le refus de reconnaître l'évidence ni celui de reconnaître son corollaire juridique, à savoir qu'il est dans l'intérêt commun des Parties de veiller à la gestion optimale et durable de la ressource partagée.

5.24. Le paragraphe 1 de l'article 8 de la convention de 1997 dispose que «[l]es Etats du cours d'eau coopèrent sur la base de l'égalité souveraine, de l'intégrité territoriale, de l'avantage mutuel et de la bonne foi en vue de parvenir à l'utilisation optimale et à la protection adéquate du cours d'eau international». Le commentaire de la Commission du droit international relatif à l'article 8 appelle l'attention sur le fait qu'il existe toute une série de traités, déclarations et

¹⁸² Voir, par exemple, la convention de 1997, art. 8.

¹⁸³ Voir, par exemple, *Usines de pâte à papier sur le fleuve Uruguay (Argentine c. Uruguay)*, arrêt, C.I.J. Recueil 2010 (I), p. 14.

¹⁸⁴ Note n° 29/17 en date du 7 février 2017 adressée au ministère bolivien des affaires étrangères par le consulat général du Chili à La Paz. MC, annexe 39.1. [Traduction du Greffe]

¹⁸⁵ Note VRE-Cs-47/2017 en date du 24 mars 2017 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère bolivien des affaires étrangères. MC, annexe 39.2. [Traduction du Greffe]

¹⁸⁶ Note VRE-Cs-117/2017 en date du 25 mai 2017 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère bolivien des affaires étrangères. MC, annexe 39.3.

¹⁸⁷ La Bolivie insiste sur le fait qu'«elle ne partage pas la dénomination «système hydrographique du Silala» utilisée par le Gouvernement chilien lorsqu'il se réfère aux eaux des sources Silala», voir la note VRE-Cs-117/2017 en date du 25 mai 2017 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère bolivien des affaires étrangères. MC, annexe 39.3.

résolutions d'organisations intergouvernementales qui soulignent l'importance de la coopération dans l'utilisation des cours d'eau internationaux¹⁸⁸.

101

5.25. Faisant écho au principe reflété à l'article 8 de la convention de 1997, la Cour a confirmé que la coopération transfrontière constituait le fondement de la gestion des risques de dommages environnementaux et de l'utilisation commune des ressources en eaux partagées dès lors qu'il s'agit d'un cours d'eau international¹⁸⁹. La coopération est aussi prescrite par l'obligation relative à l'utilisation équitable et raisonnable, examinée dans les sections A et B du présent chapitre.

5.26. Néanmoins, comme exposé plus en détail dans le chapitre 3 ci-dessus, la Bolivie a récemment adopté la position selon laquelle le Silala n'est pas un cours d'eau international, si bien qu'elle ne s'estime pas tenue de coopérer avec le Chili pour la gestion et l'utilisation de ses eaux. En particulier, la Bolivie n'a ni notifié ni consulté le Chili au moment d'entreprendre des activités susceptibles de nuire à l'utilisation équitable et à la préservation des eaux du Silala.

5.27. L'obligation de notification et de consultation qui vaut pour toute activité susceptible d'avoir une incidence sur les Etats d'un cours d'eau international ou d'autres cours d'eau est exposée en détail dans les articles 11 à 18 de la convention de 1997. L'article 11 prévoit que «[I]es Etats du cours d'eau échangent des renseignements, se consultent et, si nécessaire, négocient au sujet des effets éventuels des mesures projetées sur l'état d'un cours d'eau international»¹⁹⁰. Dans son commentaire, la Commission du droit international fait observer que l'expression «effets éventuels» «désigne tous les effets, qu'ils soient positifs ou négatifs, que peuvent avoir les mesures projetées»¹⁹¹.

5.28. L'article 12 de la convention de 1997 précise plus avant l'obligation qui s'applique dès lors que sont projetées des mesures susceptibles d'avoir des effets négatifs pour les autres Etats¹⁹². Il dispose qu'il doit être donné notification des mesures en temps utile avant qu'elles soient mises en œuvre ou autorisées. Le commentaire de la Commission du droit international appelle l'attention sur la pratique des Etats, ainsi que sur le grand nombre de dispositions conventionnelles et de

¹⁸⁸ *Annuaire de la Commission du droit international*, 1994, vol. II, deuxième partie, par. 3-5.

¹⁸⁹ *Usines de pâte à papier sur le fleuve Uruguay (Argentine c. Uruguay)*, arrêt, *C.I.J. Recueil 2010 (I)*, par. 77 :

«La Cour estime que c'est en coopérant que les Etats concernés peuvent gérer en commun les risques de dommages à l'environnement qui pourraient être générés par les projets initiés par l'un ou l'autre d'entre eux, de manière à prévenir les dommages en question, à travers la mise en œuvre des obligations tant de nature procédurale que de fond prévues par le statut de 1975.»

Voir aussi *Projet Gabčíkovo-Nagymaros (Hongrie/Slovaquie)*, arrêt, *C.I.J. Recueil 1997*, par. 147.

¹⁹⁰ Convention de 1997, art. 11.

¹⁹¹ *Annuaire de la Commission du droit international*, 1994, vol. II, deuxième partie, commentaire relatif à l'article 11, par. 3.

¹⁹² L'article 12 de la convention de 1997 est libellé comme suit :

«Avant qu'un Etat du cours d'eau mette en œuvre ou permette que soient mises en œuvre des mesures projetées susceptibles d'avoir des effets négatifs significatifs pour les autres Etats du cours d'eau, il en donne notification à ces derniers en temps utile. La notification est accompagnée des données techniques et informations disponibles, y compris, le cas échéant, les résultats de l'étude d'impact sur l'environnement, afin de mettre les Etats auxquels elle est adressée à même d'évaluer les effets éventuels des mesures projetées.»

102 déclarations ou résolutions d'organisations intergouvernementales affirmant la nécessité d'une notification et d'une consultation préalables¹⁹³.

5.29. En l'affaire relative à des *Usines de pâte à papier*, la Cour a indiqué que «[l']obligation de notifier est donc essentielle dans le processus qui doit mener les parties à se concerter pour évaluer les risques du projet et négocier les modifications éventuelles susceptibles de les éliminer ou d'en limiter au minimum les effets»¹⁹⁴. La Cour a considéré que ces règles de procédure faisaient partie de l'obligation de prévention¹⁹⁵. Elle a certes fait cette observation dans le contexte des obligations découlant du statut du fleuve Uruguay de 1975, mais cette même obligation de notification se retrouve à l'article 12 de la convention de 1997 et fait partie du droit international général. En l'affaire relative à des *Usines de pâte à papier*, la Cour a également jugé que, en droit international général, les parties avaient l'obligation de coopérer de bonne foi¹⁹⁶.

103 5.30. Il n'appartient pas à la Bolivie de décider seule si le Chili est exposé à un quelconque risque du fait d'activités susceptibles d'affecter les eaux du Silala. Dans l'affaire du *Lac Lanoux*, le tribunal arbitral a observé que : «L'Etat exposé à subir les répercussions des travaux entrepris par un Etat limitrophe est seul juge de ses intérêts, et si ce dernier n'en a pas pris l'initiative, on ne saurait méconnaître à l'autre le droit d'exiger notification des travaux ou concessions qui sont l'objet d'un projet.»¹⁹⁷

5.31. En manquant à le consulter et à lui donner notification, ou à répondre sur le fond à ses demandes d'information légitimes, la Bolivie a privé le Chili de toute possibilité d'intervenir ou de déterminer des mesures voulues pour prévenir ou atténuer tout risque auquel il pourrait être exposé en conséquence de l'utilisation qu'elle fait des eaux du Silala ou des activités qu'elle mène à proximité de celles-ci. Ce manquement procède du refus actuel de la Bolivie de reconnaître i) le caractère de cours d'eau international du Silala et ii) les obligations correspondantes qui sont les siennes en tant qu'Etat riverain d'un cours d'eau international.

5.32. En s'abstenant de manière répétée de répondre aux demandes d'information du Chili, la Bolivie manque à l'obligation de consultation et de notification qui lui incombe en droit international à l'égard du Chili s'agissant des activités susceptibles d'avoir une incidence sur les eaux du Silala ou sur l'utilisation que cet Etat en fait.

¹⁹³ *Annuaire de la Commission du droit international*, 1994, vol. II, deuxième partie, commentaire relatif à l'article 12, par. 6 à 13. Voir aussi Programme des Nations Unies pour l'environnement, Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, Nations Unies, doc. A/CONF.151/26, 1992, principe 19.

¹⁹⁴ *Usines de pâte à papier sur le fleuve Uruguay (Argentine c. Uruguay)*, arrêt, C.I.J. Recueil 2010 (I), par. 115.

¹⁹⁵ *Ibid.*, par. 101 et 102.

¹⁹⁶ *Ibid.*, par. 101, 145 et 146. Voir aussi par. 81 :

«La Cour considère que les obligations d'informer, de notifier et de négocier constituent un moyen approprié, accepté par les Parties, de parvenir à l'objectif qu'elles se sont fixé à l'article premier du statut de 1975. Ces obligations s'avèrent d'autant plus indispensables lorsqu'il s'agit, comme dans le cas du fleuve Uruguay, d'une ressource partagée qui ne peut être protégée que par le biais d'une coopération étroite et continue entre les riverains.»

¹⁹⁷ *Affaire du lac Lanoux (Espagne c. France)*, sentence en date du 16 novembre 1957, RSA, volume XI, par. 21.

RÉPARATIONS DEMANDÉES

6.1. Comme il ressort de la règle de droit international coutumier reflétée à l'article 35 du projet d'articles sur la responsabilité de l'Etat adopté en 2001 par la Commission du droit international :

«L'Etat responsable du fait internationalement illicite a l'obligation de procéder à la restitution consistant dans le rétablissement de la situation qui existait avant que le fait illicite ne soit commis, dès lors et pour autant qu'une telle restitution :

- a) n'est pas matériellement impossible ;
- b) n'impose pas une charge hors de toute proportion avec l'avantage qui dériverait de la restitution plutôt que de l'indemnisation.»

6.2. Comme indiqué dans le commentaire relatif à l'article 35, une cour ou un tribunal international peut prononcer, en déterminant la position juridique ayant force obligatoire pour les parties, ce qui équivaut à une restitution sous une autre forme¹⁹⁸. En l'état actuel des choses, le Chili considère que les droits qu'il tient de sa qualité de riverain d'aval d'un cours d'eau international, le Silala, seraient convenablement protégés si la Cour prononçait un certain nombre de déclarations, déterminant la position juridique ayant force obligatoire dans les relations entre le Chili et la Bolivie.

6.3. Premièrement, bien entendu, le Chili prie la Cour de déclarer que le Silala est effectivement — à l'évidence — un cours d'eau international. Une telle déclaration est nécessaire au vu du refus actuel de la Bolivie d'accepter ce qu'elle acceptait autrefois sans la moindre difficulté.

6.4. Deuxièmement, le Chili prie la Cour de réaffirmer les importants droits découlant nécessairement du statut de cours d'eau international du Silala, en particulier le droit du Chili à une utilisation équitable et raisonnable et les obligations de la Bolivie de ne pas causer de dommages et de coopérer, y compris pour ce qui est de la notification et de la consultation. Une telle déclaration est nécessaire au vu du refus actuel de la Bolivie de reconnaître l'existence des droits du Chili et de ses propres obligations correspondantes.

6.5. Troisièmement, conformément à ce qui a été exposé précédemment au chapitre 5.B, le Chili demande une déclaration à l'effet de dire que l'utilisation qu'il fait actuellement des eaux du Silala est équitable et raisonnable. A cet égard, le Chili tient à souligner qu'il ne demande pas à la Cour de préjuger de ce que pourrait être une utilisation équitable et raisonnable du Silala à l'avenir, ni, en aucune manière, de figer l'exploitation et l'utilisation futures des eaux du Silala par l'un ou l'autre Etat. Il est admis que ce qui est équitable et raisonnable peut changer avec le temps, et la seule déclaration demandée par le Chili concerne l'utilisation qui est aujourd'hui la sienne.

¹⁹⁸ *Annuaire de la Commission du droit international*, 2001, vol. II, deuxième partie, commentaire relatif de l'article 35, par. 5, faisant référence à *Statut juridique du Groënland oriental, arrêt, 1933, C.P.J.I. série A/B n° 53*, p. 75, et *Zones franches de la Haute-Savoie et du Pays de Gex, arrêt, 1932, C.P.J.I. série A/B n° 46*, p. 172.

6.6. Enfin, conformément à ce qui a été exposé précédemment au chapitre 5.D, le Chili prie la Cour de se prononcer sur le manquement par la Bolivie à ses obligations de notification et de consultation.

6.7. Ainsi, la Cour est priée de dire et juger ce qui est exposé dans les conclusions ci-après.

107

CONCLUSIONS

Par conséquent, le Chili prie la Cour de dire et juger que :

- a) le système hydrographique du Silala, parties souterraines comprises, est un cours d'eau international, dont l'utilisation est régie par le droit international coutumier ;
- b) le Chili est en droit d'utiliser de manière équitable et raisonnable les eaux du système hydrographique du Silala, conformément au droit international coutumier ;
- c) le Chili, selon le critère d'utilisation équitable et raisonnable, est en droit d'utiliser comme il le fait actuellement les eaux du Silala ;
- d) la Bolivie est tenue de prendre toutes les mesures appropriées pour prévenir et limiter la pollution et autres formes de préjudice que causent au Chili les activités qu'elle mène à proximité du Silala ;
- e) la Bolivie est tenue de coopérer et de notifier au Chili en temps utile les mesures projetées qui sont susceptibles d'avoir un effet préjudiciable sur des ressources en eau partagées, de procéder à l'échange de données et d'informations, et de réaliser au besoin une évaluation de l'impact sur l'environnement, afin de permettre au Chili d'apprécier les effets éventuels de telles mesures, toutes obligations auxquelles la Bolivie a manqué. Les obligations non respectées à ce jour sont celle de consulter le Chili et celle de lui donner notification pour ce qui concerne les activités susceptibles d'avoir une incidence sur les eaux du Silala ou l'utilisation qui en est faite par le Chili.

Le 3 juillet 2017.

L'agente de la République du Chili,
(Signé) Ximena FUENTES T.

RAPPORT D'EXPERTS 1

Wheater, H. S. et Peach, D. W.,

Le Silala dans sa forme actuelle — fonctionnement du système fluvial

LE SILALA DANS SA FORME ACTUELLE — FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME FLUVIAL

Howard Wheeler et Denis Peach

Mai 2017

A PROPOS DES AUTEURS

Howard Wheeler

Howard Wheeler est titulaire d'une chaire d'excellence en recherche du Canada sur la sécurité de l'eau, directeur du Global Institute for Water Security à l'Université de la Saskatchewan, ainsi que chargé de recherche de classe exceptionnelle et professeur émérite d'hydrologie à l'Imperial College London. Eminent spécialiste des sciences et de la modélisation hydrologiques, il a publié plus de 200 articles revus par un comité de lecture et 6 livres. Il est membre de la Royal Academy of Engineering et de l'American Geophysical Union et lauréat du prix international du prince Sultan bin Abdulaziz pour l'eau. Il a lancé et dirigé des programmes de recherche nationaux et internationaux au Royaume-Uni et au Canada, et a conseillé des Etats, provinces et gouvernements nationaux sur des questions liées aux crues, aux ressources hydriques et à la qualité de l'eau. Il a représenté la Hongrie et l'Argentine devant la Cour internationale de Justice et a récemment siégé dans un tribunal international d'arbitrage établi conformément au traité sur les eaux de l'Indus. Il était jusqu'en 2014 vice-président du projet intitulé «Expérience mondiale sur les cycles de l'énergie et de l'eau» (GEWEX) du programme mondial de recherche sur le climat et il dirige le réseau d'information de l'UNESCO sur l'eau et le développement dans les zones arides (GWADI). Au Canada, il est à la tête du réseau Changing Cold Regions Network, axé sur l'analyse et la prédiction des changements hydrologiques dans l'ouest du Canada, et du Global Water Futures Program, consacré à la gestion de l'avenir de l'eau au Canada et dans d'autres régions froides, où le réchauffement planétaire modifie les paysages, les écosystèmes et le milieu aquatique. En sa qualité de président du groupe d'experts sur la gestion durable de l'eau dans les paysages agricoles du Canada, rattaché au conseil des académies canadiennes, il a supervisé la publication d'un rapport, paru en février 2013, intitulé «Water and Agriculture in Canada : Towards Sustainable Management of Water Resources».

Denis Peach

Denis Peach a dirigé pendant neuf ans le programme du British Geological Survey (institut britannique d'études géologiques (BGS)) portant sur les eaux souterraines puis a travaillé six ans comme scientifique en chef pour cet institut. Cet hydrogéologue aux nombreux centres d'intérêt scientifiques est fort de 44 années d'expérience professionnelle qu'il a notamment consacrées à travailler pour une administration des eaux au Royaume-Uni, à effectuer des missions à l'étranger pour étudier les milieux hydrogéologiques tropicaux et l'hydrogéologie des petites îles et à collaborer avec des consultants internationaux dans le domaine de l'hydrogéologie des zones arides. Il s'intéresse particulièrement à la modélisation des eaux souterraines, sur laquelle il a travaillé au sein du BGS, ainsi qu'à l'hydrogéologie des zones arides et à l'hydrogéologie karstique. Il a été vice-président de la société géologique de Londres (GSL) et professeur invité à l'Imperial College London et à l'Université de Birmingham ; il a également eu l'honneur de présenter la conférence Ineson à la GSL. Il mène actuellement des travaux de recherche avec le BGS et l'Imperial College London et conseille l'Université de la Saskatchewan ainsi que des consultants en ingénierie britanniques.

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1. INTRODUCTION.....	83
1.1. Cahier des charges de l'expertise	83
1.2. Informations générales.....	83
1.3. Structure du rapport	84
2. RÉSUMÉ DES CONSTATATIONS	84
3. LE SILALA	87
3.1. L'emplacement et la topographie du Silala	87
3.2. Histoire de l'utilisation des eaux du Silala et évolution	94
3.3. L'écoulement du Silala à la frontière internationale.....	98
3.4. Le climat, les précipitations et les températures relevées au niveau du Silala.....	101
3.5. L'évaporation au niveau du Silala	105
3.6. Les processus hydrologiques et le fonctionnement hydrogéologique du Silala	108
3.7. La géomorphologie et les habitats fluviaux du Silala	114
4. CONCLUSIONS	117
5. RÉFÉRENCES.....	118

Liste des figures

Figure	Titre	Page
1	Le système hydrographique du Loa, qui englobe le bassin hydrographique du Silala.....	88
2	Le réseau de drainage du bassin hydrographique du Silala, les zones humides Cajones et Orientales et autres caractéristiques clés du réseau hydrographique (Munoz <i>et al.</i> , 2017).....	90
3	Image 3D illustrant les courbes de niveau du bassin hydrographique du Silala (Alcayaga, 2017).....	91
4	Coupe longitudinale du Silala et de ses principaux affluents, extraite de la carte MNT 5 m (Alcayaga, 2017).....	93
5	Photographies du bassin hydrographique du Silala. A) Le Silala ; B) le débitmètre installé sur le Silala ; C) la frontière internationale chilo-bolivienne à travers laquelle s'écoule le Silala ; D) les zones humides riveraines du Silala ; E) les zones humides Orientales (en territoire bolivien) vues depuis le Chili, à Cerrito de Silala (Muñoz <i>et al.</i> , 2017).....	94
6	L'ancien ouvrage de prise d'eau de la FCAB en Bolivie, la prise d'eau de la FCAB au Chili et les conduites construites et utilisées par la FCAB. L'ancienne prise d'eau en Bolivie et la conduite n° 1 (ligne orange) amenaient l'eau du territoire bolivien jusqu'aux réservoirs de la FCAB situés à la gare de San Pedro (et jusqu'à Antofagasta). La prise d'eau et la conduite n° 2 (ligne verte) amenaient également l'eau du territoire chilien jusqu'aux réservoirs de San Pedro (Muñoz <i>et al.</i> , 2017).....	95

7	Les chenaux et le barrage de retenue probablement construits en 1928 en territoire bolivien. A) Barrage de retenue en Bolivie, avec la vallée en contrebas (vers le Chili) ; B) principal chenal de Cajones, vers l'amont ; C) jonction des chenaux venant des zones humides Cajones et Orientales (photographies fournies par la FCAB, prises en territoire bolivien, sans date).....	96
8	Le système actuel de la FCAB (construit vers 1997) utilisé pour transporter l'eau du Silala jusqu'aux réservoirs de San Pedro. L'eau est collectée à la prise d'eau de la FCAB et transportée dans deux conduites (conduites n ^{os} 1 et 2), qui se rejoignent pour former une conduite unique (conduite n ^o 3) avant de se séparer à nouveau pour reformer les deux conduites préexistantes (conduites n ^{os} 1 et 2) (Muñoz <i>et al.</i> , 2017).....	97
9	Les déversoirs de la FCAB utilisés pour mesurer le débit du bassin hydrographique du Silala (Muñoz <i>et al.</i> , 2017).....	98
10	Emplacement des stations d'observation du bassin hydrographique du Silala	99
11	Débit d'étiage annuel relevé par le débitmètre de la station hydrométrique de la DGA de 2001 à 2015 (Muñoz <i>et al.</i> , 2017).....	100
12	Débit d'étiage mensuel relevé par le débitmètre de la station hydrométrique de la DGA de 2001 à 2016 (Muñoz <i>et al.</i> , 2017).....	100
13	Précipitations régionales en fonction de l'altitude (Muñoz <i>et al.</i> , 2017)	101
14	Hauteur moyenne annuelle des précipitations sur le bassin versant du Silala (Muñoz <i>et al.</i> , 2017).....	102
15	Précipitations journalières relevées par le pluviomètre du Silala (mm) (2001-2016) (Muñoz <i>et al.</i> , 2017).....	103
16	Relation régionale entre la température annuelle moyenne [en ordonnée] et l'altitude [en abscisse] (Muñoz <i>et al.</i> , 2017).....	104
17	Températures horaires données pour certains mois et températures globales maximales et minimales relevées à la station météorologique UC (Muñoz <i>et al.</i> , 2017)	104
18	Exemples d'images NDVI des principales zones humides du bassin hydrographique du Silala. Les zones humides représentées sont les zones Orientales et Cajones situées en territoire bolivien (Alcayaga, 2017)	106
19	Séries temporelles de la surface végétalisée des zones Cajones et Orientales tirées d'images Landsat et produites à l'aide des valeurs NDVI supérieures à 0,1 (Alcayaga, 2017).....	108
20	Modèle conceptuel hydrogéologique — coupe longitudinale du bassin versant (Arcadis, 2017).....	110
21	Modèle théorique hydrogéologique — sources de la gorge et interactions cours d'eau/aquifères (Arcadis, 2017)	111
22	Emplacements des sources en aval de la frontière et distribution des températures. Les valeurs indiquées en rouge représentent les températures les plus élevées relevées et celles en vert les plus froides (Arcadis, 2017).....	112
23	Secteur de la rivière où les échanges entre les eaux souterraines et les eaux de surface ont été étudiés (Suárez <i>et al.</i> , 2017).....	114
24a	Emplacement des secteurs de la rivière étudiés par Mao (2017)	115
24b	Résultats du traçage sédimentaire : secteur A (à droite) et secteur B (à gauche) (Mao, 2017).....	116

25	Rapport longueur-poids des truites arc-en-ciel prélevées dans le Silala et les autres rivières de la région Centre du Chili (Mao, 2017)	116
----	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
1	Intensité moyenne de précipitation mensuelle ; valeurs médianes, maximales et minimales et écarts-types mesurés au pluviomètre du Silala (1978-2016 — données interpolées) (mm) (Muñoz <i>et al.</i> , 2017)	103
2	Température moyenne mensuelle relevée à la station d’Inacaliri (°C) (1969-1992).....	104
3	Superficie moyenne mensuelle des zones humides (km ²) estimée à l’aide d’images NDVI (Alcayaga, 2017)	107
4	ET _r moyenne mensuelle, exprimée en écoulement réel mesuré équivalent (l/s) à l’aide de la méthode de Groeneveld <i>et al.</i> (2007) combinée à cinq autres méthodes différentes d’estimation de l’évaporation potentielle, et pourcentage de l’écoulement total mensuel et annuel correspondant à la moyenne de toutes les méthodes (Suárez, Muñoz <i>et al.</i> , 2017)	107

[Liste des acronymes non traduite]

1

1. INTRODUCTION

1.1. Cahier des charges de l'expertise

Dans le contexte du différend concernant le statut et l'utilisation des eaux du Silala qui oppose la République du Chili à l'Etat plurinational de Bolivie et a été porté devant la Cour internationale de Justice, la République du Chili a sollicité notre opinion d'experts indépendants sur les questions suivantes :

«Questions posées à M. Howard Wheeler, ingénieur hydrologue :

- i) Les eaux du Silala forment-elles un système d'eaux de surface et d'eaux souterraines constituant, du fait de leurs relations physiques, un ensemble unitaire et aboutissant normalement à un point d'arrivée commun, et dont les parties se trouvent dans des Etats différents ? Dans l'affirmative, quelle est, selon vous, la direction naturelle de l'écoulement ?
- ii) Pour autant que vous considérez qu'il existe actuellement un système fluvial actif dans le bassin versant du Silala, quels sont les éléments de preuve qui permettent, selon vous, d'établir ce fait ?
- iii) Quel est l'effet, s'il y en a un, de la chenalisation de l'écoulement en territoire bolivien sur le cours d'eau pénétrant en territoire chilien depuis la Bolivie ?

Questions posées à M. Denis Peach, hydrogéologue :

- i) Les eaux du Silala forment-elles un système d'eaux de surface et d'eaux souterraines constituant, du fait de leurs relations physiques, un ensemble unitaire et aboutissant normalement à un point d'arrivée commun, et dont les parties se trouvent en Bolivie et au Chili ? Dans l'affirmative, quelle est, selon vous, la direction naturelle de l'écoulement ?
- ii) Quels événements géologiques, géomorphologiques et/ou autres ont façonné la gorge du Silala dans sa forme actuelle ?
- iii) Les témoins géologiques, géomorphologiques et autres qui sont présents révèlent-ils l'existence historique d'un système fluvial dans le bassin versant du Silala ?»

2

Dans le présent rapport conjoint, nous examinons les trois questions posées à M. Wheeler, et M. Peach répond à la question commune i). Un second rapport (Peach et Wheeler, 2017) retrace l'évolution historique du Silala, ce qui correspond aux questions ii) et iii) posées à M. Peach (voir ci-dessus).

1.2. Informations générales

En mai 2016, à la demande de la République du Chili, M. Wheeler s'est rendu sur le terrain pour observer le Silala et a indiqué que, selon son opinion professionnelle, celui-ci était sans l'ombre d'un doute un cours d'eau international au sens où il interprétait cette expression¹⁹⁹. Bien que l'examen des cartes, images et données d'écoulement ainsi que la visite sur le terrain soient suffisants pour confirmer cet avis, il a recommandé au Chili de solliciter également l'opinion

¹⁹⁹ Nous notons que les écoulements du Silala sont relativement faibles, si bien que les termes «cours d'eau» et «rivière» pourraient être tous deux considérés comme appropriés en l'espèce.

professionnelle d'un hydrogéologue et de commander des études scientifiques afin de mieux comprendre l'évolution géologique et géomorphologique de la rivière et sa dynamique actuelle, y compris les interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines. M. Peach a par la suite été invité à donner ses opinions et avis, et une équipe chilienne d'experts scientifiques a été constituée, sous la conduite de M. José Muñoz, ingénieur civil et professeur à la faculté de génie civil de l'Université pontificale catholique du Chili. Cette équipe, dirigée par M. Muñoz et placée sous la supervision technique de MM. Wheeler et Peach, a entrepris une série d'études intensives d'observation et de surveillance, qui sont en cours. Les résultats détaillés obtenus à ce jour dans le cadre de ces études sont présentés dans un ensemble de rapports techniques joints dans les annexes I à X. Dans le présent rapport, nous résumons, au bénéfice de la Cour, les principales constatations publiées dans ces rapports techniques et remettons notre opinion conjointe.

3

1.3. Structure du rapport

Nous résumons nos constatations à la section 2 du présent rapport et exposons l'état des connaissances relatives à l'hydrologie de la rivière à la section 3, dont l'économie est la suivante : section 3.1 : emplacement et topographie ; section 3.2 : histoire de l'utilisation des eaux du Silala et évolution ; section 3.3 : débit à la frontière internationale ; section 3.4 : climat, précipitations et températures ; section 3.5 : évaporation ; section 3.6 : processus hydrologiques et dynamique hydrogéologique ; section 3.7 : géomorphologie et habitats fluviaux. Nous présentons nos conclusions générales à la section 4. Si le présent rapport, que nous signons en qualité de coauteurs, reflète notre opinion conjointe, il est à noter que M. Wheeler est l'auteur principal du texte, à l'exclusion de la section 3.6 consacrée à l'hydrogéologie, signée par M. Peach en tant qu'auteur principal.

2. RÉSUMÉ DES CONSTATATIONS

La convention sur le droit relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation, signée à New York le 21 mai 1997 et entrée en vigueur le 17 août 2014 (ci-après la «convention de 1997»), dispose qu'un cours d'eau s'entend d'un «système d'eaux de surface et d'eaux souterraines constituant, du fait de leurs relations physiques, un ensemble unitaire et aboutissant normalement à un point d'arrivée commun» et qu'un cours d'eau international est «un cours d'eau dont les parties se trouvent dans des Etats différents».

Nous démontrons les points ci-après dans le présent rapport :

- La topographie du bassin versant du Silala est telle que l'eau naturellement drainée dans une zone d'environ 69 km² en Bolivie s'écoule à travers la frontière internationale entre la Bolivie et le Chili.
- Dans notre rapport annexe (Peach et Wheeler, 2017), nous présentons des données géologiques et géomorphologiques attestant que la rivière a creusé une gorge, qui traverse la frontière actuelle ; la datation des gisements sédimentaires montre que le Silala s'écoule dans cette gorge, qui prend naissance en territoire bolivien, depuis plus de 8400 ans.
- L'écoulement de la rivière à la frontière est pérenne et son débit est mesuré par le Chili depuis 2001. Le Silala présente les caractéristiques d'une rivière dont les apports sont dominés par les eaux souterraines, à savoir qu'elle a un débit relativement constant et que les apports provenant d'écoulements rapides survenant en cas de tempête sont limités. Le débit moyen calculé sur la période comprise entre 2001 et 2015 est de 170 litres par seconde.

4

- La rivière est active sur les plans géomorphologique et biologique. Les processus géomorphologiques qui ont façonné la gorge transfrontière sont toujours à l'œuvre et la rivière abrite une population en bonne santé de poissons et d'invertébrés.
- Bien que l'écoulement pérenne à la frontière émane de deux grands réseaux de sources souterraines en Bolivie (les sources d'eau des zones humides Orientales et Cajones), la rivière interagit avec les eaux souterraines présentes sur le reste de son parcours. De nombreuses sources l'alimentent, lui assurant des apports supplémentaires ; c'est particulièrement visible dans la gorge transfrontière où des sources émergent de la paroi à des niveaux supérieurs à celui du lit du cours d'eau et se jettent dans la rivière principale. En outre, la rivière en mouvement contribue à un aquifère sous-fluvial peu profond, par infiltration du lit fluvial.
- Il existe au moins trois types de systèmes aquifères : i) les aquifères superficiels alluviaux drainent les versants montagneux en Bolivie et au Chili, donnant naissance aux sources susmentionnées ; ii) sous le lit de la rivière, alimenté par l'eau qui s'y infiltre, se trouve un aquifère peu profond installé dans des sédiments non consolidés déposés par la rivière ; iii) des aquifères sous-jacents plus profonds se situent, selon les données disponibles, à des profondeurs comprises entre 15-20 m et plus de 100 m. Parmi ces systèmes hydrogéologiques, les deux premiers sont interprétés comme étant des aquifères transfrontières²⁰⁰. Les systèmes profonds sont susceptibles de constituer une importante ressource hydrique, dont l'étendue spatiale demeure toutefois inconnue à ce jour.
- La rivière se situe dans une région aride, où la hauteur moyenne annuelle des précipitations est d'environ 165 mm. Les précipitations rechargent les aquifères souterrains et, par voie de conséquence, les sources qui alimentent la rivière ; comme indiqué ci-dessus, la rivière reçoit relativement peu d'apports provenant du ruissellement rapide des eaux en cas de tempête. Notre estimation du bilan hydrique annuel montre que, sur les 165 mm de précipitations reçues, 87 mm sont perdus par évaporation et 78 mm sont déchargés dans l'écoulement de la rivière (170 litres par seconde) à la frontière. En raison de contraintes topographiques, le seul trajet que l'eau peut emprunter est le chenal d'écoulement actuel de la rivière, qui traverse la frontière.
- L'évaporation est généralement limitée par les précipitations disponibles ; toutefois, dans les zones humides boliviennes où l'écoulement pérenne prend naissance, les sources souterraines fournissent une eau capable d'alimenter une évaporation fortement accélérée, dont la vitesse sera déterminée par les variables atmosphériques et l'état de la végétation. Dans le meilleur des cas, le résultat de notre estimation de l'évaporation annuelle des zones humides boliviennes équivaut à un débit moyen de 1,3 litre par seconde, soit 0,7 % de l'écoulement à la frontière ; si l'on opte pour une estimation plus prudente (donc supérieure), on obtient 3,4 litres par seconde, soit 2 % de l'écoulement à la frontière.
- Nous croyons savoir que l'eau du Silala a été utilisée par le passé, des concessions ayant été accordées à la compagnie britannique Antofagasta (Chili) and Bolivia Railway Company Ltd. (FCAB) par le Gouvernement chilien en 1906 et par le Gouvernement bolivien en 1908. La FCAB a ensuite construit deux petits ouvrages de dérivation permettant d'amener une partie de l'écoulement dans une conduite, l'un en Bolivie (entre 1909 et 1910) et l'autre au Chili (en 1942). En 1928, d'après ce que nous savons, des travaux d'aménagement ont été faits dans le chenal de la rivière, en raison de préoccupations concernant la qualité de l'eau et le fait que la

²⁰⁰ Les données sur la composition chimique et les isotopes de l'eau indiquent que la recharge des sources peut être différenciée. Les sources alimentant les secteurs supérieurs de la rivière, juste en aval de la frontière, sont rechargées par les précipitations de haute altitude stockées dans les réservoirs aquifères, où les eaux souterraines peuvent résider pendant plusieurs décennies avant d'émerger des sources où elles se mélangent avec des eaux de recharge plus récentes. Les sources situées sur le flanc nord de la gorge en aval de Quebrada Negra semblent recevoir des recharges plus localisées et ont un temps de résidence plus court au sein de l'aquifère.

végétation hygrophile servait de gîte de reproduction à une population d'insectes. Des chenaux en terre mesurant 0,6 sur 0,6 m en coupe transversale ont été construits, puis revêtus de pierres. Ils font office de canaux de drainage et sont à même de recevoir les eaux des sols dans les zones humides (et de restituer ces eaux dans les sols riverains). Ces chenaux artificiels épousaient le canal de drainage naturel et la déclivité naturelle de la rivière et n'ont pas eu d'incidence sur le trajet du cours d'eau et son point de franchissement de la frontière. En 1997, la Bolivie a révoqué la concession qui autorisait la FCAB à effectuer des prélèvements en territoire bolivien ; nous croyons savoir que l'entretien des chenaux artificiels y a été interrompue, jusqu'à une période récente.

- En période d'activité, les ouvrages de chenalisation ont probablement réduit l'étendue des eaux de surface dans les zones humides et donc diminué les pertes directes par évaporation, même si les effets sur la végétation hygrophile ont sans doute été minimes²⁰¹. Toute réduction de l'évaporation ainsi causée pourrait se traduire par une augmentation des apports en eau alimentant le débit d'écoulement en surface, y compris pour ce qui concerne les écoulements transfrontières. D'après les données disponibles, les travaux de chenalisation n'ont eu aucune incidence sur l'étendue des zones humides²⁰² et toute variation de l'évaporation ne représenterait tout au plus qu'une petite fraction de l'évaporation totale des zones humides, dont l'effet maximum, comme indiqué ci-dessus, est estimé à l'équivalent de 2 % en moyenne de l'écoulement transfrontière.

7

Nous examinons de manière synthétique les trois questions qui nous ont été posées par le Chili. De plus amples détails sont fournis dans le rapport complet qui suit :

i) Les eaux du Silala forment-elles un système d'eaux de surface et d'eaux souterraines constituant, du fait de leurs relations physiques, un ensemble unitaire et aboutissant normalement à un point d'arrivée commun, et dont les parties se trouvent dans des Etats différents ? Dans l'affirmative, quelle est, selon vous, la direction naturelle de l'écoulement ?

Le Silala présente les caractéristiques typiques d'une rivière à apports souterrains²⁰³. Si ses écoulements pérennes prennent naissance dans des sources souterraines en Bolivie à plus de 4323 mètres au-dessus du niveau de la mer, la rivière interagit néanmoins avec les eaux souterraines tout au long de son parcours. Elle reçoit d'importants apports de sources souterraines émergeant de la paroi d'une gorge qui traverse la frontière internationale (à environ 4277 mètres au-dessus du niveau de la mer) et perd de l'eau au profit d'un aquifère sous-fluvial au niveau de son chenal d'écoulement. Des systèmes hydrogéologiques plus profonds ont également été repérés, dont l'un contribue actuellement au débit de la rivière au Chili via un écoulement artésien. La topographie du bassin hydrographique est telle que les eaux d'écoulement drainées naturellement coulent de la Bolivie au Chili. Le dénivelé entre les sources donnant naissance à la rivière en Bolivie et le lit de la rivière à la frontière est de plus de 45 mètres et la pente du lit naturel de la rivière est relativement abrupte (environ 4 à 5 %). Aux abords de la frontière, le lit se poursuit dans une gorge qui a été creusée par les processus fluviaux. Les marques relevées dans la gorge montrent qu'une rivière coule et traverse un point qui est aujourd'hui la frontière internationale depuis plus de 8350 ans. Nous concluons que la rivière est effectivement un système unifié d'eaux de surface et d'eaux souterraines et que la direction naturelle de l'écoulement l'amène à franchir la

²⁰¹ Compte tenu de la faible profondeur des chenaux, les eaux des sols demeureraient directement disponibles pour la végétation.

²⁰² Pour la période comprise entre 1987 et 2016, nous n'observons aucune tendance à long terme concernant l'étendue des zones humides, même si nous comprenons que les travaux d'entretien y ont été variables. La principale réponse montre une forte variabilité saisonnière et interannuelle.

²⁰³ Nombre de rivières importantes prennent naissance dans des sources souterraines pérennes ou épisodiques. La Tamise (Royaume-Uni) en est un exemple notable (British Geological Survey, 1996).

8 frontière internationale de la Bolivie au Chili. Le critère du «point d'arrivée commun» est aussi rempli par le fait que les eaux du Silala se jettent dans le San Pedro et enfin dans l'océan Pacifique après avoir alimenté le fleuve Loa.

ii) Pour autant que vous considérez qu'il existe actuellement un système fluvial actif dans le bassin versant du Silala, quels sont les éléments de preuve qui permettent, selon vous, d'établir ce fait ?

La datation des dépôts fluviaux, effectuée à partir de plusieurs séquences de la gorge située de part et d'autre de la frontière, atteste clairement que cette gorge a été creusée par les processus fluviaux au cours d'une période qui s'étale sur plus de 8350 ans et se poursuit à ce jour. Le réseau fluvial actuel demeure actif sur le plan géomorphologique ; nous avons observé le transport différencié de particules fines et grossières, caractérisé par un phénomène de tri granulométrique et de pavage, et la morphologie actuelle du lit en marche d'escalier est conforme à celle requise pour transporter le flux d'eau actuel et les charges sédimentaires. La rivière abrite également des populations florissantes de poissons et d'invertébrés, indicateur de la santé de l'écosystème aquatique.

iii) Quel est l'effet, s'il y en a un, de la chenalisation de l'écoulement en territoire bolivien sur le cours d'eau pénétrant en territoire chilien depuis la Bolivie ?

9 La chenalisation de l'écoulement en territoire bolivien n'a pas d'influence sur la direction d'écoulement de la rivière, qui épouse les pentes topographiques naturelles. L'écoulement transfrontière dans la gorge telle qu'elle se présente aujourd'hui dure depuis au moins 8350 ans et est très antérieur aux concessions accordées à la FCAB et à la construction ultérieure d'un réseau de petits chenaux. Les chenaux sont susceptibles d'avoir eu un effet mineur sur les zones humides, dont ils peuvent avoir réduit l'étendue et l'occurrence des eaux de surface. Toutefois, nos calculs montrent que, même en partant des hypothèses les plus prudentes, l'évaporation des zones humides représente une faible fraction du bilan hydrique (équivalant à 2 % en moyenne du débit de la rivière à la frontière). Par conséquent, les variations mineures pouvant se produire sur un terme secondaire du bilan hydrique du bassin versant ne pourraient avoir, à notre avis, aucun effet notable sur les écoulements à la frontière. De plus, à notre connaissance, les chenaux n'étaient plus entretenus depuis 1997 (et jusqu'à très récemment) et aucune donnée probante n'indique une modification du régime d'écoulement à la frontière. En fait, les données satellite montrent que l'étendue des zones humides est essentiellement fonction de la forte variabilité saisonnière et interannuelle naturelle.

Nous en concluons, d'un point de vue d'experts, que le Silala est sans l'ombre d'un doute «un système d'eaux de surface et d'eaux souterraines constituant, du fait de leurs relations physiques, un ensemble unitaire et aboutissant normalement à un point d'arrivée commun» et qu'il est «un cours d'eau dont les parties se trouvent dans des Etats différents».

3. LE SILALA

3.1. L'emplacement et la topographie du Silala

Dans la présente section, nous présentons l'emplacement et la topographie du bassin hydrographique, montrant que toutes les eaux d'amont susceptibles d'être naturellement drainées en Bolivie s'écoulent nécessairement jusqu'au Chili, empruntant une gorge naturelle qui traverse la frontière.

Le Silala prend sa source en Bolivie et s'écoule jusqu'à la région d'Antofagasta au Chili (figure 1). C'est l'un des principaux affluents du San Pedro. Celui-ci rejoint ensuite le Loa, plus

grand fleuve du Chili (440 km de long) et principal cours d'eau du désert d'Atacama qui se jette dans l'océan Pacifique.

10



Figure 1

Le système hydrographique du Loa, qui englobe le bassin hydrographique du Silala

11

Une rivière est généralement définie par son bassin versant topographique, à savoir l'espace où les eaux sont collectées et drainées vers un point donné du lit de la rivière²⁰⁴. Dans le cas du Silala, différents plans et produits de données permettent de définir avec plus ou moins de détails le bassin versant topographique (voir Alcayaga, 2017, pour une analyse complète) ; pour illustrer la

²⁰⁴ Les précipitations reçues par le bassin versant topographique et drainées par gravité, sous forme de ruissellement ou d'écoulement hypodermique, suivent les pentes topographiques de la rivière. Toutefois, lorsque les eaux souterraines fournissent des apports à une rivière, la zone de recharge de l'aquifère peut différer du bassin versant topographique.

topographie, nous utilisons une carte numérique récente (modèle numérique de terrain, MNT) à haute résolution (5 m) produite à l'aide de données satellite. La figure 2 représente le bassin versant et les principales caractéristiques du réseau hydrographique. Les écoulements pérennes alimentant la rivière proviennent de sources multiples, qui forment deux importantes zones humides en Bolivie, à savoir les zones humides Cajones et Orientales.

Pour définir le bassin versant, nous partons d'un point de la rivière situé à 4,9 km en aval de la frontière chilo-bolivienne²⁰⁵, ce qui donne une superficie totale de 95,5 km², dont 69 km² sont situés en territoire bolivien. Le point culminant du bassin se trouve à 5703 mètres au-dessus du niveau de la mer (volcan Apagado), tandis que son exutoire est observé à 3948 mètres au-dessus du niveau de la mer ; le bassin est, sur la plus grande partie de sa superficie, situé au-dessus de 4000 mètres au-dessus du niveau de la mer.

La figure 3 illustre les courbes de niveau caractérisant la topographie du bassin versant (Alcayaga, 2017). Elle montre que les écoulements naturels sont drainés vers le réseau hydrographique et à travers la frontière internationale.

²⁰⁵ Coordonnées UTM : 596,453 E ; 7,563,039 N, datum WGS 84-19S.

12

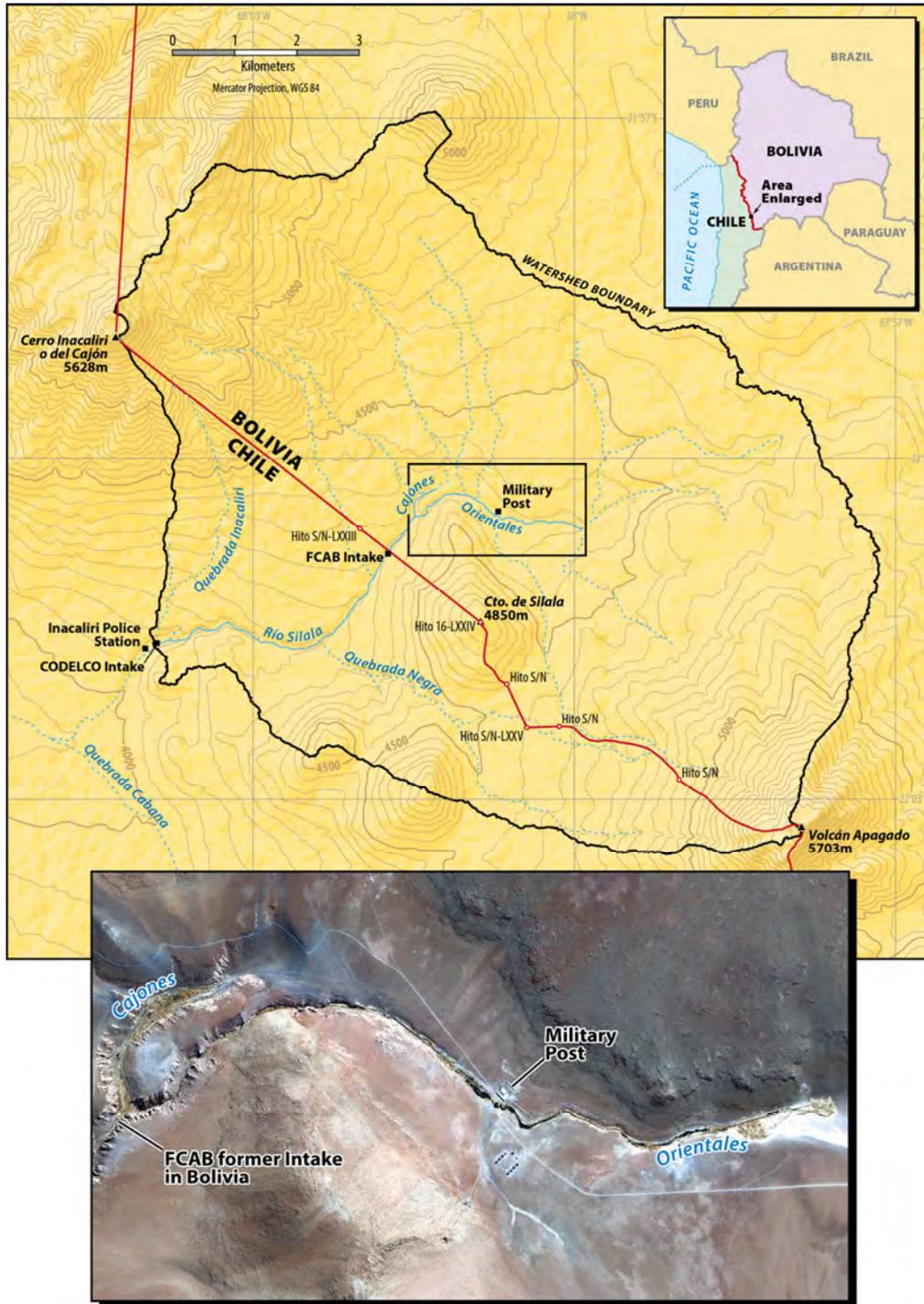


Figure 2

Le réseau de drainage du bassin hydrographique du Silala, les zones humides Cajones et Orientales et autres caractéristiques clés du réseau hydrographique (Munoz *et al.*, 2017)

Légende :

- | | | |
|-------------------------------|---|-----------------------------------------------------|
| FCAB Intake | = | Prise d'eau de la FCAB |
| Military Post | = | Poste militaire |
| Inacaliri Police Station | = | Poste de police d'Inacaliri |
| CODELCO Intake | = | Prise d'eau de la CODELCO |
| FCAB former Intake in Bolivia | = | Ancien ouvrage de prise d'eau de la FCAB en Bolivie |
| Watershed boundary | = | Ligne de partage des eaux |

13

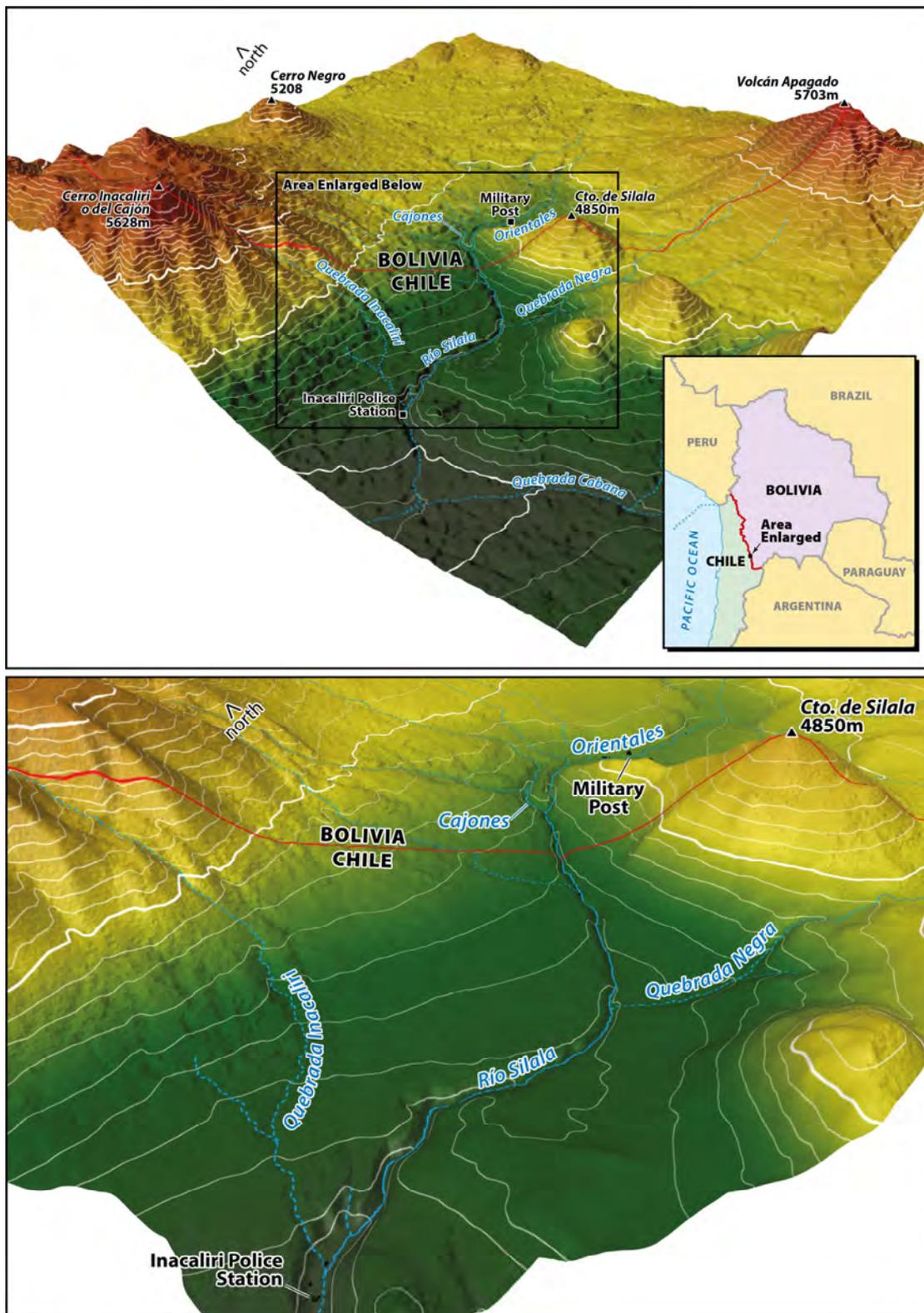


Figure 3
Image 3D illustrant les courbes de niveau du bassin hydrographique
du Silala (Alcayaga, 2017)

14

La figure 4 montre la pente du lit de la rivière, depuis les sources de l'écoulement pérenne dans les zones humides Orientales et Cajones en Bolivie jusqu'à l'exutoire du bassin versant, en passant par la frontière internationale. Si ce profil est dérivé de la carte MNT 5 m, il est aussi compatible avec les relevés au sol effectués par le Chili dans le cadre d'un programme conjoint de terrain mené avec des techniciens boliviens en 2000 (voir Alcayaga, 2017, pour une comparaison). On peut voir que le canal de drainage naturel du système hydrographique suit son cours de la Bolivie vers le Chili et que les pentes de la rivière, en aval des zones humides, sont relativement abruptes (environ 4 à 5 %).

Le bassin hydrographique est représenté à la figure 5. Le réseau de drainage se distingue par une caractéristique importante, à savoir qu'en aval des sources pérennes en Bolivie, la rivière coule dans une gorge naturelle (figure 5A), qui peut également être observée sur la carte topographique reproduite à la figure 3. Peach et Wheeler (2017) montrent que cette gorge a été creusée par la rivière pendant au moins huit millénaires ; nous notons ici que la gorge contraint la rivière à franchir la frontière et nous indiquons ci-après que la rivière demeure active sur le plan géomorphologique.

15

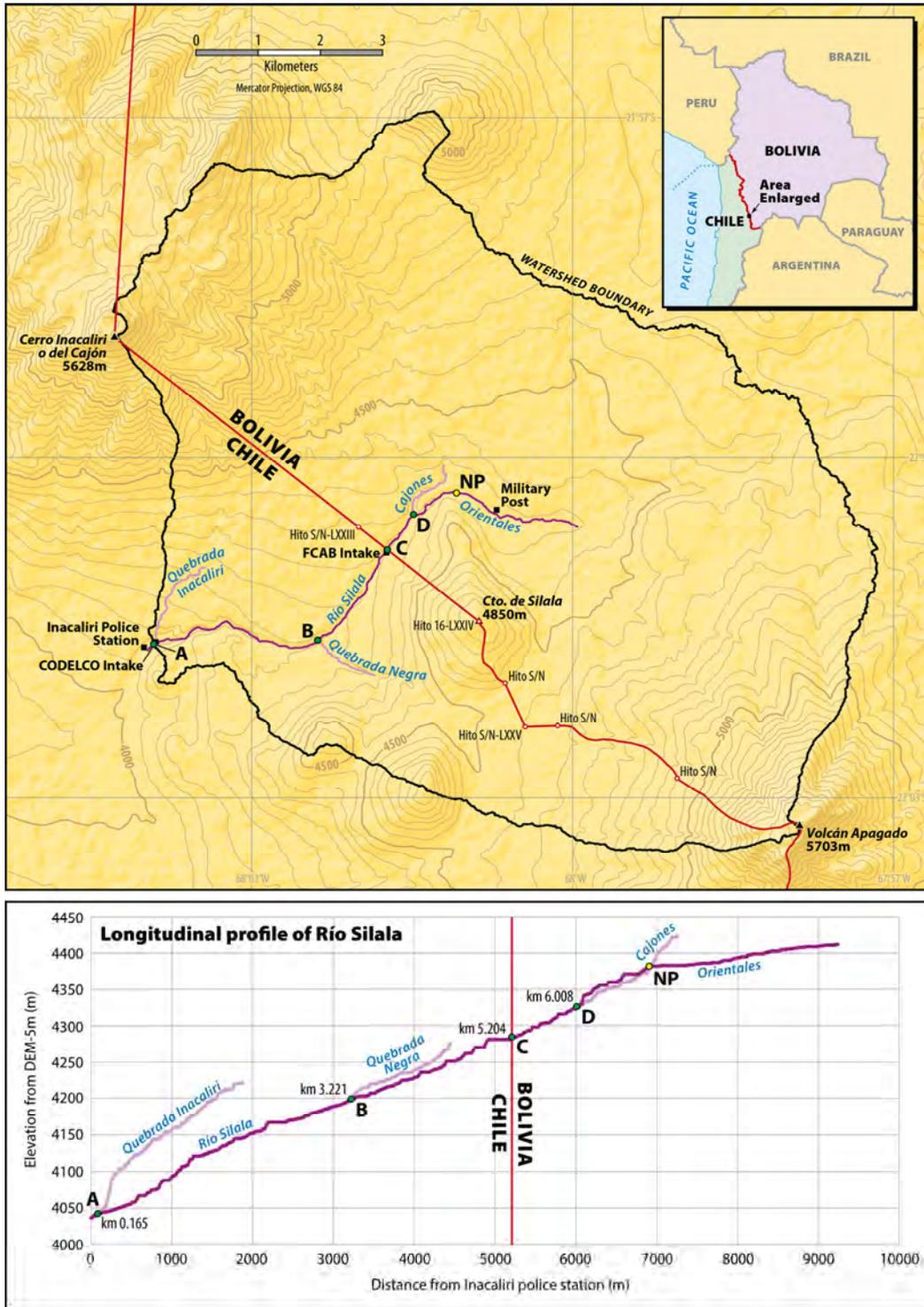


Figure 4
Coupe longitudinale du Silala et de ses principaux affluents,
extraite de la carte MNT 5 m (Alcayaga, 2017)

Légende :

- | | | |
|--------------------------------------------|---|---------------------------------------------------------|
| Elevation from DEM-5m (m) | = | Altitudes relevées sur la carte MNT 5 m (m) |
| Distance from Inacaliri police station (m) | = | Distance par rapport au poste de police d’Inacaliri (m) |

16

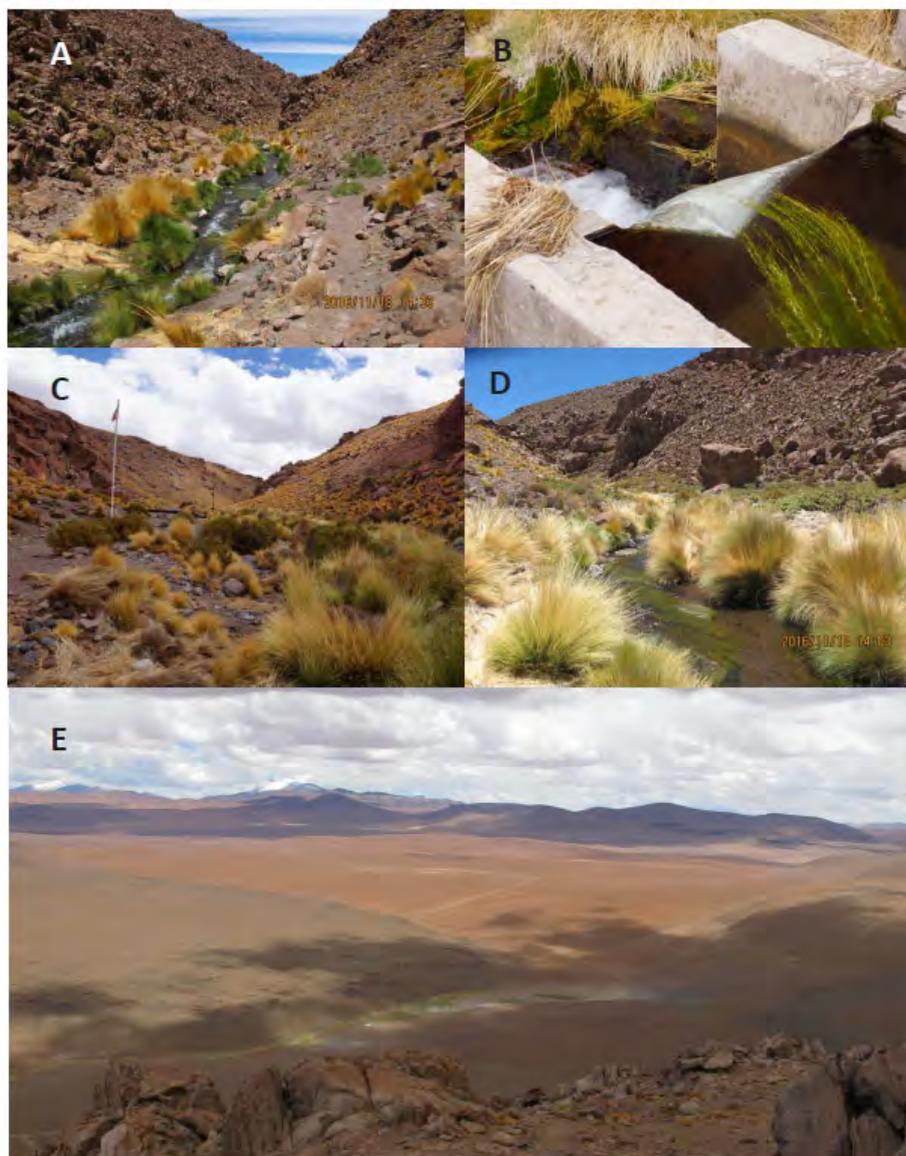


Figure 5
Photographies du bassin hydrographique du Silala. A) Le Silala ; B) le débitmètre installé sur le Silala ; C) la frontière internationale chilo-bolivienne à travers laquelle s'écoule le Silala ; D) les zones humides riveraines du Silala ; E) les zones humides Orientales (en territoire bolivien) vues depuis le Chili, à Cerrito de Silala (Muñoz et al., 2017)

17

3.2. Histoire de l'utilisation des eaux du Silala et évolution

Comme il ressort de Muñoz et al. (2017), des concessions d'utilisation de l'eau ont été accordées à une entreprise britannique (la FCAB) par le Chili en 1906 et par la Bolivie en 1908, tandis que des ouvrages mineurs ont été construits en 1909 et 1910 afin de permettre la dérivation de l'eau de la rivière en Bolivie vers une conduite qui alimente la ville d'Antofagasta. En 1928, de petits chenaux en terre ont été aménagés en Bolivie pour protéger la qualité des eaux et limiter au maximum la présence d'insectes nuisibles. En 1942, un second ouvrage de dérivation et la conduite annexe ont été construits au Chili. En 1997, la Bolivie a révoqué la concession et l'entretien des chenaux a été interrompu jusqu'à très récemment. La FCAB continue d'extraire de l'eau du Silala

en territoire chilien. Depuis 1954, des prélèvements d'eau supplémentaires sont effectués par la compagnie minière CODELCO en aval des sites de la FCAB.

Dans la région extrêmement aride du désert d'Atacama, le Silala constitue une précieuse ressource en eau. A notre connaissance, l'intérêt que suscite l'utilisation de l'eau du Silala au profit des populations locales et de leur développement économique n'est donc pas nouveau. Muñoz *et al.* (2017) retracent de manière synthétique l'octroi des concessions d'utilisation de l'eau dans le bassin hydrographique. Ils relatent qu'en 1906 le Chili a accordé une concession à une compagnie britannique, la FCAB, qu'il a autorisée à utiliser l'eau du Silala pour une période illimitée afin d'approvisionner Antofagasta en eau de boisson. Deux ans plus tard, en 1908, la FCAB a également obtenu du Gouvernement bolivien des droits d'utilisation de l'eau du Silala.

Pendant la période comprise entre 1909 et 1910, les premiers travaux de génie civil ont été entrepris en Bolivie et au Chili en vue de capter et de transporter l'eau du Silala. La figure 6 montre l'emplacement de l'ancienne prise d'eau de la FCAB en Bolivie, construite en 1910 pour élever le niveau de l'eau et ainsi faciliter la dérivation du flux d'eau dans une conduite, tout en laissant aussi la rivière s'écouler en aval. La FCAB a construit une deuxième prise d'eau et la conduite requise en territoire chilien en 1942 et continue à l'exploiter à ce jour.

18

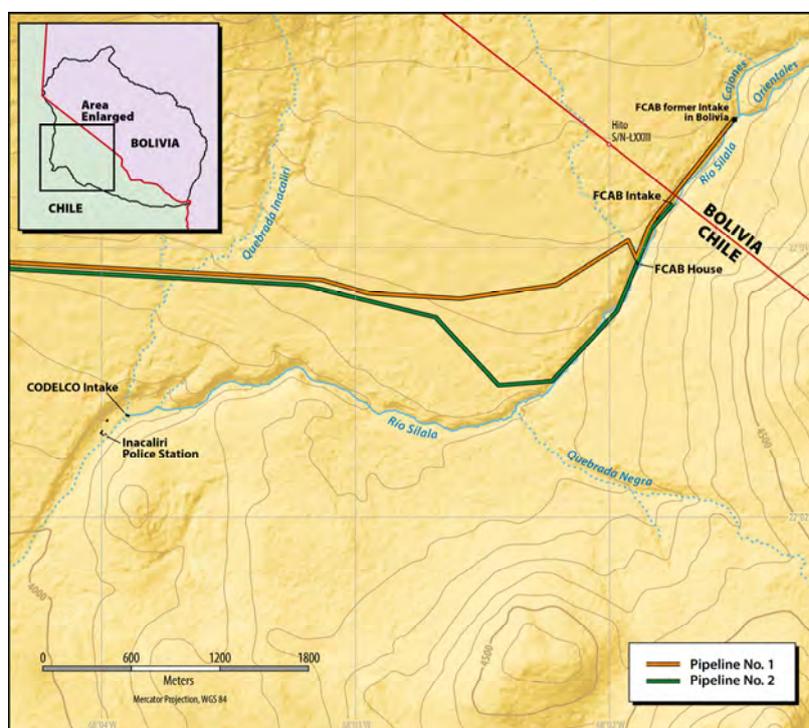


Figure 6

L'ancien ouvrage de prise d'eau de la FCAB en Bolivie, la prise d'eau de la FCAB au Chili et les conduites construites et utilisées par la FCAB. L'ancienne prise d'eau en Bolivie et la conduite n° 1 (ligne orange) amenaient l'eau du territoire bolivien jusqu'aux réservoirs de la FCAB situés à la gare de San Pedro (et jusqu'à Antofagasta).

La prise d'eau et la conduite n° 2 (ligne verte) amenaient également l'eau du territoire chilien jusqu'aux réservoirs de San Pedro

(Muñoz *et al.*, 2017)

Légende :

- | | | |
|-------------------------------|---|-----------------------------------------------------|
| FCAB Intake | = | Prise d'eau de la FCAB |
| Inacaliri Police Station | = | Poste de police d'Inacaliri |
| CODELCO Intake | = | Prise d'eau de la CODELCO |
| FCAB former Intake in Bolivia | = | Ancien ouvrage de prise d'eau de la FCAB en Bolivie |
| FCAB House | = | Bâtiment de la FCAB |

La figure 6 indique également l'emplacement d'un autre point de prélèvement, en aval des prises d'eau de la FCAB, qui a été mis en service en 1956 par la compagnie minière CODELCO pour fournir une eau à usage domestique aux quelque 12 000 travailleurs de la mine de cuivre de Chuquicamata.

19

Près de deux décennies après la mise en exploitation du système initial de prise d'eau de la FCAB, en 1928, des inquiétudes ont été exprimées au sujet de la qualité de l'eau (vraisemblablement en raison des sédiments présents dans la rivière) et du fait que la végétation des zones humides riveraines servait de gîte de reproduction aux insectes. Par conséquent, la FCAB a conçu un système de petits chenaux (0,6 m × 0,6 m) pour les zones humides boliviennes Orientales et Cajones, construits en terre et revêtus de pierres (figure 7).

L'objectif, semble-t-il, était de fixer le chenal naturel afin de limiter au maximum l'érosion et de drainer les eaux stagnantes. Nous notons que les chenaux ont dû faire office de canaux de drainage, permettant l'infiltration et la perte d'eau au profit des sols adjacents, et que, compte tenu de leur faible profondeur, les chenaux artificiels n'ont pu avoir qu'un effet mineur concernant la réduction des niveaux piézométriques et, donc, l'état de la végétation des zones humides.

En 1997, la Bolivie a révoqué la concession d'utilisation de l'eau du Silala de la FCAB en territoire bolivien et la compagnie a continué d'extraire de l'eau au niveau de son ouvrage de prise d'eau en territoire chilien, à environ 40 à 50 m de la frontière. Le système artificiel actuel est illustré à la figure 8. Environ 126 litres par seconde sont actuellement prélevés par la FCAB (voir Suárez *et al.*, 2017, figure 5-3). La CODELCO détient aujourd'hui des droits d'utilisation à concurrence de 160 litres par seconde.

La FCAB a installé une série de petits déversoirs dans le chenal, en aval de la frontière, vraisemblablement pour mesurer le débit. L'emplacement de ces déversoirs est indiqué à la figure 9, où l'on trouve également une photographie de l'un des dispositifs posés.

20

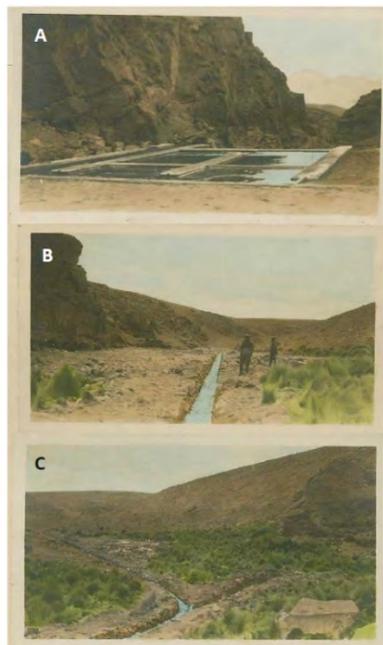


Figure 7

Les chenaux et le barrage de retenue probablement construits en 1928 en territoire bolivien.

A) Barrage de retenue en Bolivie, avec la vallée en contrebas (vers le Chili) ; B) principal chenal de Cajones, vers l'amont ; C) jonction des chenaux venant des zones humides Cajones et Orientales (photographies fournies par la FCAB, prises en territoire bolivien, sans date)

21

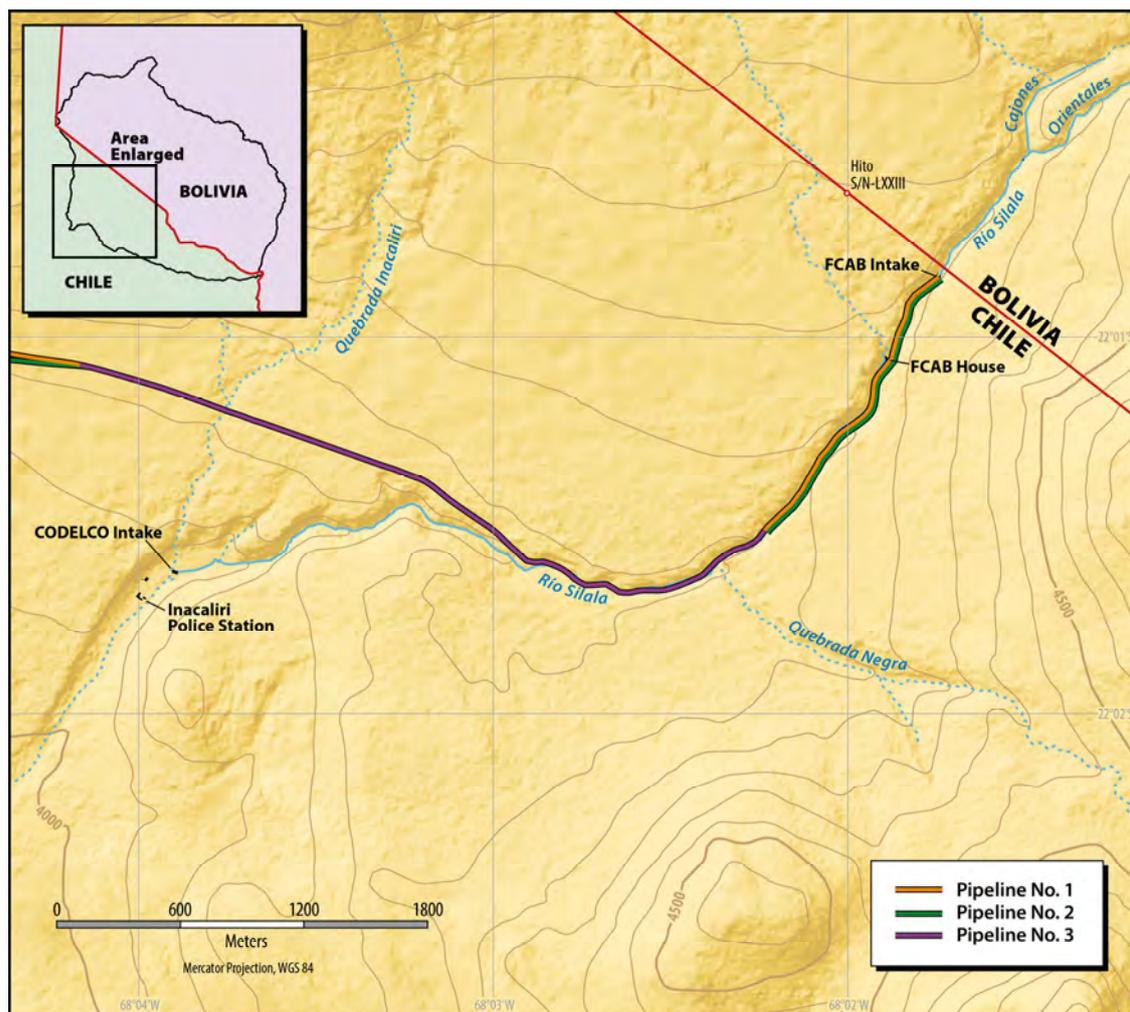


Figure 8

**Le système actuel de la FCAB (construit vers 1997) utilisé pour transporter l'eau du Silala jusqu'aux réservoirs de San Pedro. L'eau est collectée à la prise d'eau de la FCAB et transportée dans deux conduites (conduites n^{os} 1 et 2), qui se rejoignent pour former une conduite unique (conduite n^o 3) avant de se séparer à nouveau pour reformer les deux conduites préexistantes (conduites n^{os} 1 et 2)
(Muñoz *et al.*, 2017)**

22

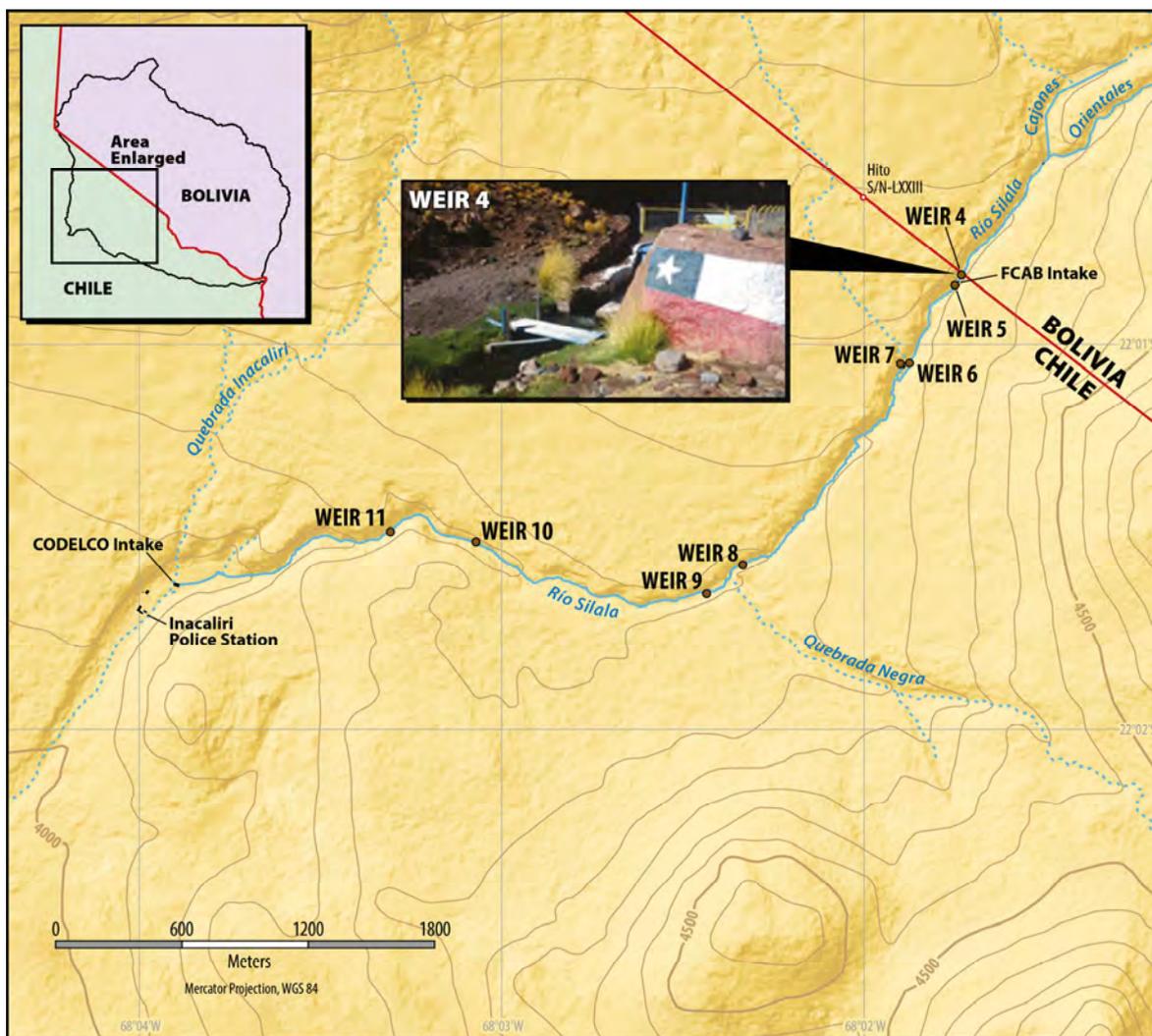


Figure 9
Les déversoirs de la FCAB utilisés pour mesurer le débit du bassin hydrographique du Silala (Muñoz et al., 2017)

Légende :

Weir = Déversoir

23

3.3. L'écoulement du Silala à la frontière internationale

Dans la présente section, nous produisons les mesures chiliennes du débit transfrontière de la rivière, lesquelles montrent que le Silala est alimenté par un écoulement pérenne dont le débit à la frontière est de 170 litres par seconde (0,17 mètre cube par seconde). Les chroniques de débits sont relativement constantes, ce qui est le signe d'une faible réponse aux événements individuels, caractéristique d'une rivière dont les apports dominants sont les eaux souterraines.

Un débitmètre (connu sous le nom de Río Silala antes de Bocatoma FCAB et ci-après appelé «station hydrométrique de la DGA») situé sur le Silala en aval direct de la frontière internationale (figure 10) a été installé et est entretenu par la dirección general de aguas (direction générale de l'eau du Chili, ci-après la «DGA»). Les données sont publiées dans les archives nationales, sur le

site web de la DGA²⁰⁶, et sont disponibles pour la période comprise entre 2001 et aujourd'hui, avec quelques séries manquantes (par exemple pour les périodes 2008-2009 et 2012-2015).

Les figures 11 et 12 représentent respectivement la chronique de débits annuels et les données mensuelles d'écoulement (Muñoz *et al.*, 2017). Le débit annuel moyen au cours de cette période s'élève à 170 litres par seconde (0,17 mètre cube par seconde), la valeur maximale étant de 200 l/s et la minimale de 150 l/s. La variabilité relativement faible observée dans les données de débit à ces échelles temporelles est caractéristique d'une rivière dont l'écoulement est dominé par des apports souterrains²⁰⁷. Le calcul du «débit de base» porte à croire que 92 % de l'écoulement de la rivière est d'origine souterraine.

24

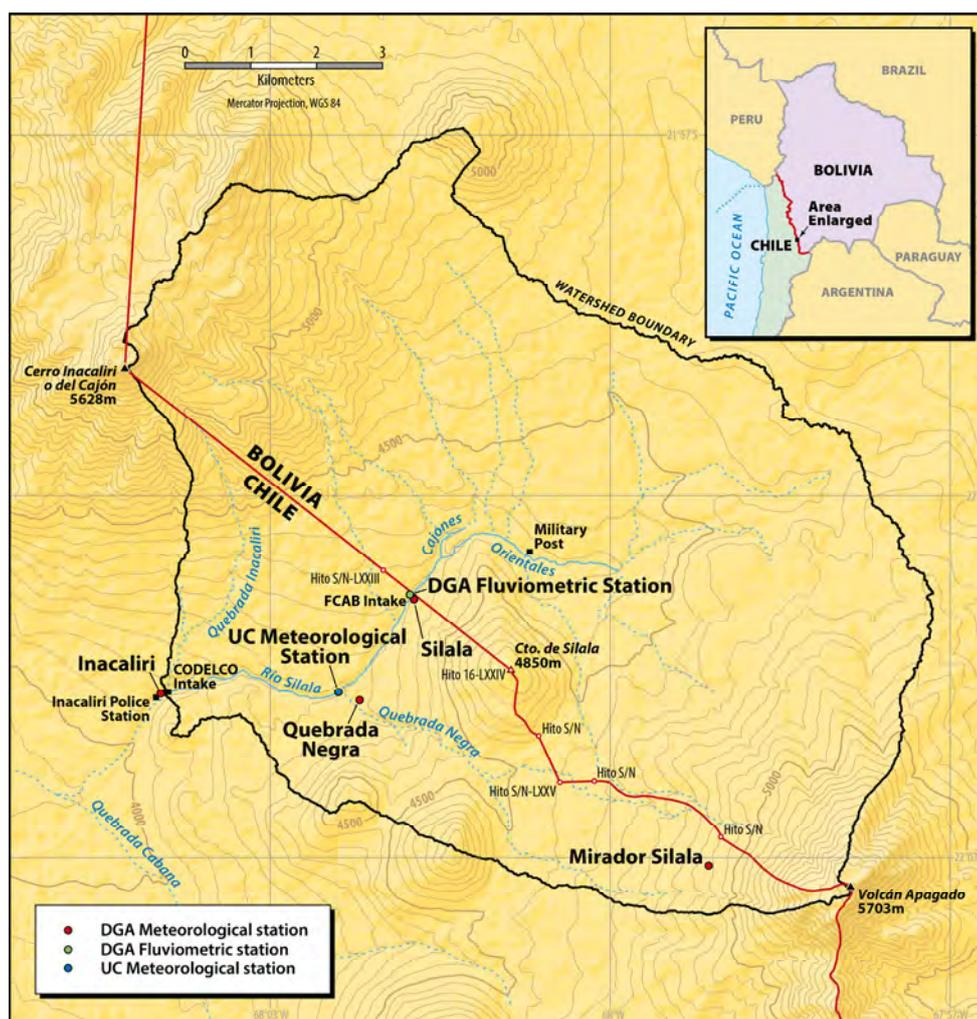


Figure 10
Emplacement des stations d'observation du bassin hydrographique du Silala

Légende :

- | | | |
|----------|---|-------------------------------------|
| En rouge | = | La station météorologique de la DGA |
| En vert | = | La station hydrométrique de la DGA |
| En bleu | = | La station météorologique UC |

²⁰⁶ <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>.

²⁰⁷ Dans les bassins versants où les réponses rapides aux ruissellements et aux écoulements hypodermiques latéraux sont prédominantes, l'hydrographie est beaucoup plus dynamique, caractérisée par une réponse franche aux événements individuels et par une forte variabilité saisonnière.

25

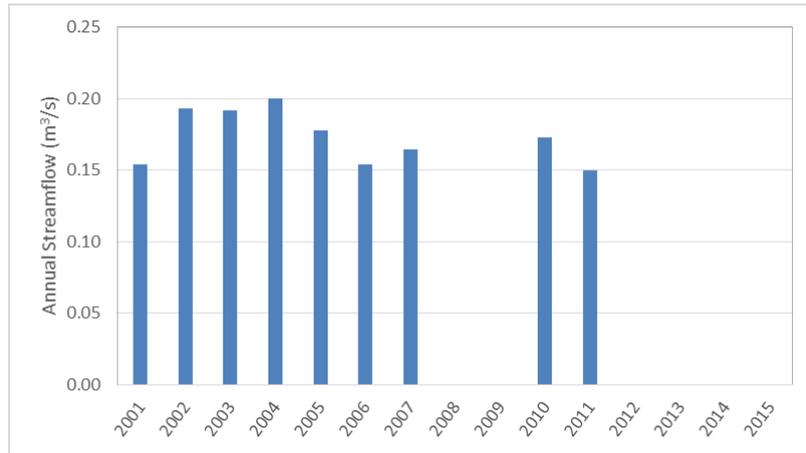


Figure 11

Débit d'été annuel relevé par le débitmètre de la station hydrométrique de la DGA de 2001 à 2015 (Muñoz *et al.*, 2017)

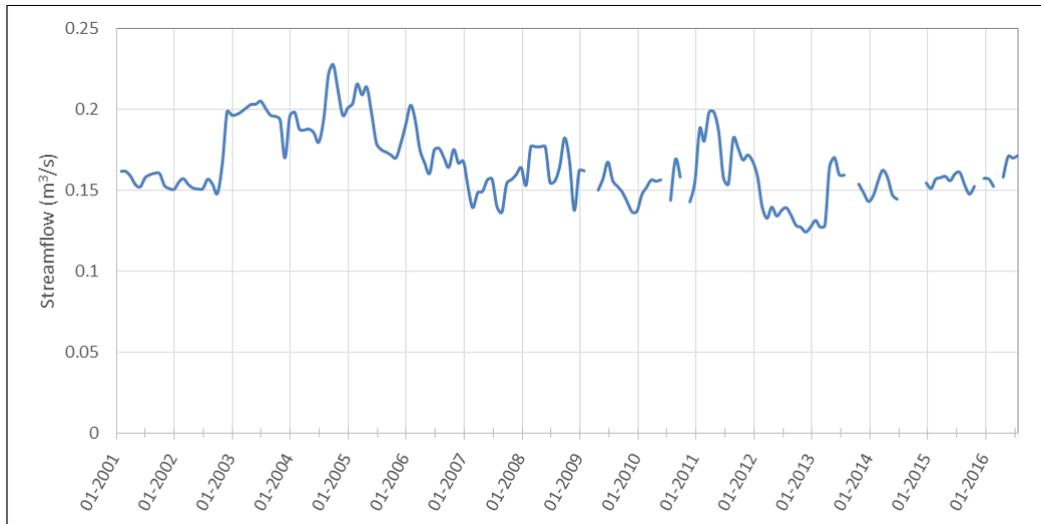


Figure 12

Débit d'été mensuel relevé par le débitmètre de la station hydrométrique de la DGA de 2001 à 2016 (Muñoz *et al.*, 2017)

26

Il faut savoir que la mesure du débit n'est pas sans difficulté, compte tenu des conditions climatiques extrêmes existant dans la région et de l'isolement du bassin hydrographique. L'instrumentation peut être endommagée par le gel, ce qui impose un entretien régulier, difficile à assurer dans ce lieu isolé. Le gel influence également la précision des données. Dans une installation classique, on utilise un puits de mesurage (tube vertical en communication avec la rivière) pour mesurer la hauteur d'eau et atténuer les fluctuations rapides du niveau des eaux de la rivière, mais un tel dispositif souffrirait du gel dans le site qui nous intéresse ici. Le gel partiel du lit, occasionné par la formation de glace sur les rives, aura une incidence sur la relation entre la hauteur d'eau et le débit (courbe de tarage) qui est utilisée pour calculer les débits d'écoulement. Compte tenu des limitations inhérentes au site, les données peuvent être considérées comme un indicateur fiable de l'écoulement pérenne de cette rivière à apports souterrains dominants, mais les valeurs absolues de débit comportent nécessairement une marge d'erreur supérieure à celle constatée dans les situations où les mesures sont réalisées de façon plus classique.

3.4. Le climat, les précipitations et les températures relevées au niveau du Silala

Dans cette section, nous proposons une description synthétique du climat du bassin hydrographique. Les précipitations se concentrent en été et la pluviométrie annuelle augmente fortement avec l'altitude. Partant de mesures pluviométriques locales et d'une relation régionale avec l'altitude, nous estimons que la hauteur moyenne annuelle des précipitations sur le bassin hydrographique est de 165 mm. Ces précipitations expliquent le fonctionnement hydrologique du système hydrographique, assurant la recharge des systèmes hydrogéologiques ainsi que les écoulements rapides se formant en réponse aux épisodes pluvieux. Nous notons que les températures peuvent descendre au-dessous de zéro, même en été.

27

Un examen détaillé de la climatologie de la région et des sources de précipitation est présenté dans Muñoz *et al.* (2017). Nous notons que les précipitations tombent essentiellement pendant les mois d'été, en association avec l'activité convective, et qu'elles connaissent une forte variabilité interannuelle, influencée par les effets d'El Niño sur la circulation atmosphérique à grande échelle. La région est caractérisée par la relation forte qui existe entre précipitations et altitude, comme le montre la figure 13. Au sein du bassin hydrographique du Silala, il existe deux pluviomètres pour lesquels on dispose de données historiques, Inacaliri (altitude de 4040 m, 29 années de relevés quotidiens) et Silala (altitude de 4305 m, 9 années de relevés quotidiens) (voir la figure 10 pour connaître leur emplacement). Ces instruments sont situés à proximité de l'exutoire du bassin hydrographique, c'est-à-dire à des altitudes relativement basses. La corrélation entre ces données pluviométriques et celles relevées à l'aide d'autres instruments similaires dans la région a servi à estimer la hauteur moyenne annuelle des précipitations pour ces sites, établie à 119 mm (sur 34 ans, 1969-2016) et à 99 mm (sur 28 ans, 1977-2016) respectivement (voir les détails dans Muñoz *et al.*, 2017).

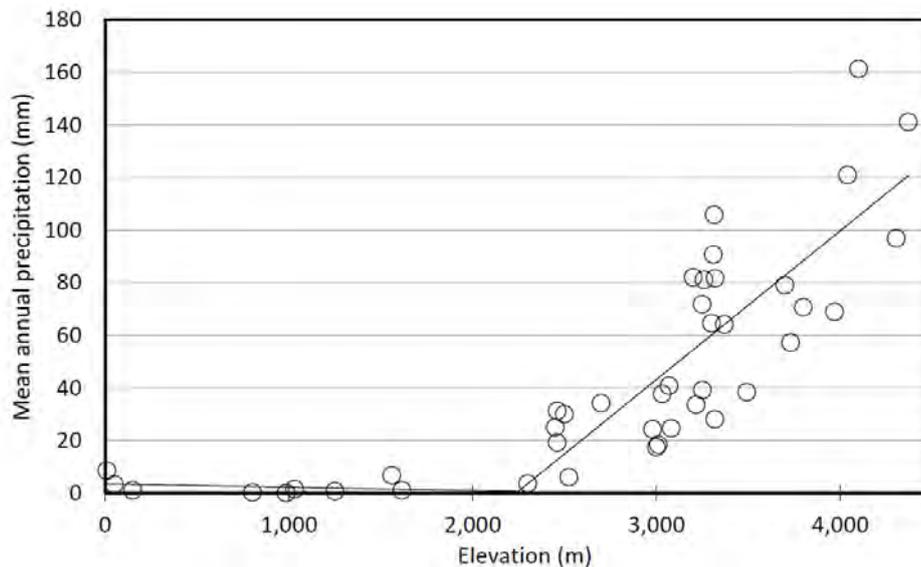


Figure 13
Précipitations régionales en fonction de l'altitude (Muñoz *et al.*, 2017)

Légende :

Mean annual precipitation (mm)

= Hauteur moyenne annuelle des précipitations (mm)

Ces données locales obtenues à plus faible altitude peuvent être combinées à la relation régionale à l'altitude, représentée à la figure 13, pour produire des estimations de la répartition spatiale des précipitations sur l'ensemble du bassin hydrographique, que l'on voit dans les courbes de précipitations annuelles (isohyètes) tracées à la figure 14. La hauteur moyenne annuelle sur le bassin versant du Silala ainsi obtenue est de 165 mm.

28

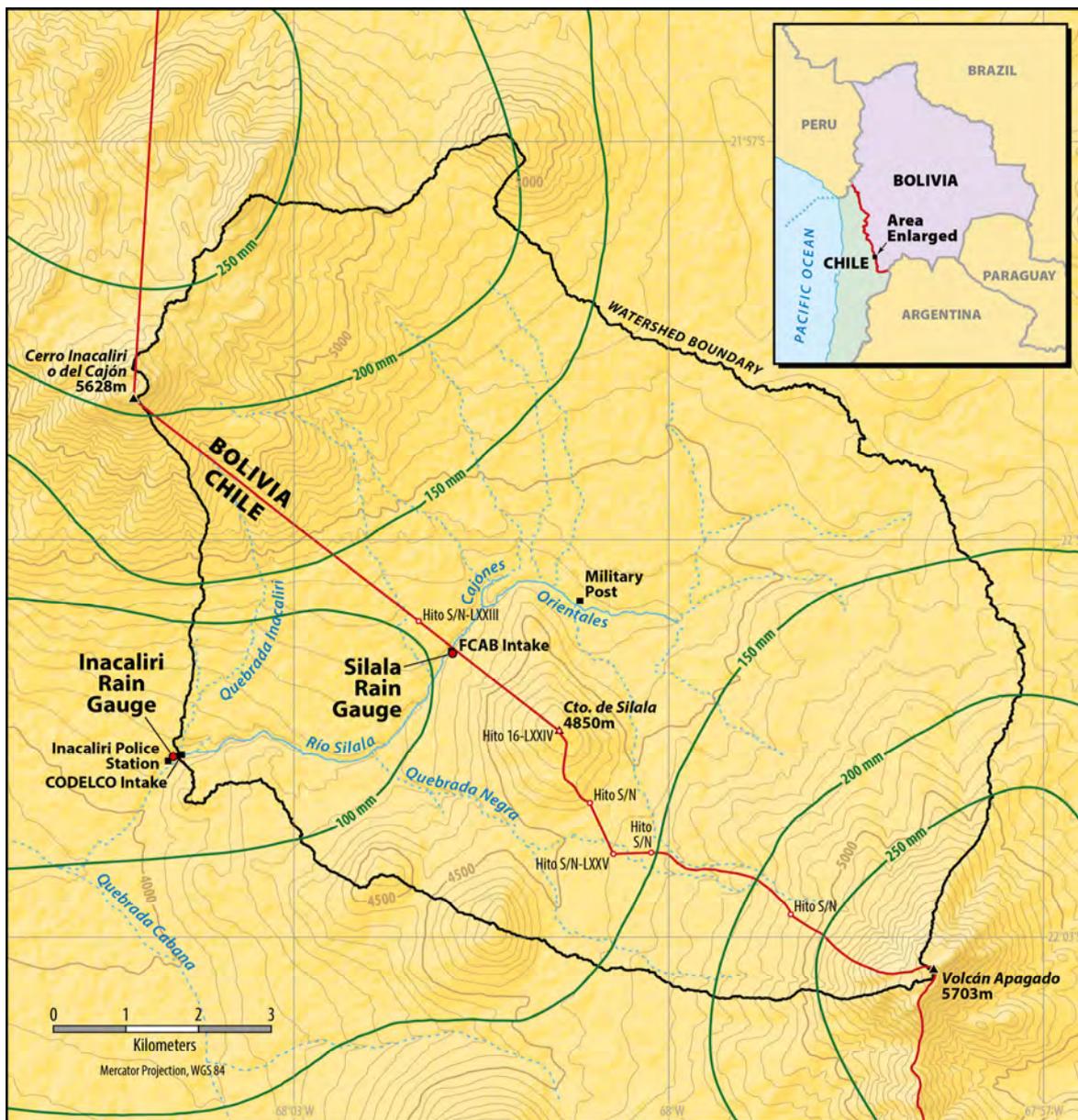


Figure 14
Hauteur moyenne annuelle des précipitations sur le bassin versant du Silala
 (Muñoz et al., 2017)

Légende :

- | | | |
|--------------------------|---|-----------------------------|
| Inacaliri Rain Gauge | = | Pluviomètre d’Inacaliri |
| Silala Rain Gauge | = | Pluviomètre du Silala |
| FCAB Intake | = | Prise d’eau de la FCAB |
| Inacaliri Police Station | = | Poste de police d’Inacaliri |
| CODELCO Intake | = | Prise d’eau de la CODELCO |

La répartition des précipitations mensuelles est exposée dans le tableau 1, qui montre que les précipitations se concentrent pendant les mois d'été, de janvier à mars. Ces précipitations sont causées principalement par l'activité convective et les cumuls quotidiens peuvent donc être assez élevés, par exemple 15 à 20 mm.

29

Intensité relevée	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Annuel
Médiane	0,2	0,5	6,1	32,1	36,0	17,0	1,3	0,9	1,1	0,7	1,5	1,3	99
Max.	5,4	14,9	47,1	121,2	217,1	83,2	14,3	13,8	13,5	9,8	16,3	14,4	
Min.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
E-T	0,9	2,5	10,3	36,0	47,6	21,5	3,3	2,6	2,9	2,3	4,0	3,3	

Tableau 1
Intensité moyenne de précipitation mensuelle ; valeurs médianes, maximales et minimales et écarts-types mesurés au pluviomètre du Silala (1978-2016 — données interpolées) (mm)
 (Muñoz *et al.*, 2017)

Les précipitations journalières enregistrées par le pluviomètre du Silala sont représentées à la figure 15.

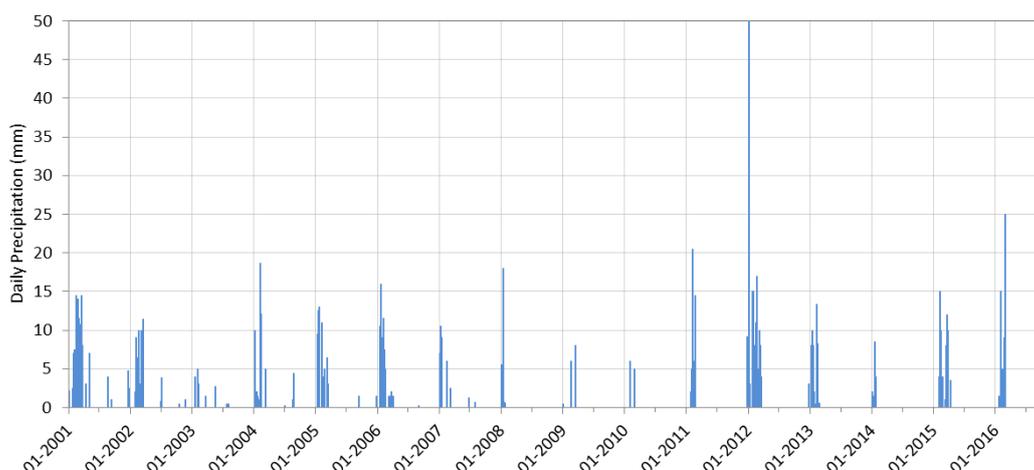


Figure 15
Précipitations journalières relevées par le pluviomètre du Silala (mm) (2001-2016)
 (Muñoz *et al.*, 2017)

Des relevés historiques de température sont disponibles pour la station d'Inacaliri (figure 10), qui donne une température moyenne annuelle de 5,3 °C. Toutefois, il existe une relation régionale forte, la température diminuant avec l'altitude (4,6 °C/km), comme il est montré à la figure 16. Les températures varient également suivant un cycle saisonnier marqué, illustré pour Inacaliri dans le tableau 2. Pour obtenir des données locales à résolution temporelle plus fine, nous avons installé une station météorologique (station météorologique UC, figure 10) en novembre 2016. La figure 17 fournit quelques exemples de la variabilité diurne enregistrée pour la période comprise entre novembre 2016 et janvier 2017. Il importe de noter que, même en été, les températures nocturnes tombent au-dessous de zéro sur ce site de haute altitude. Si l'on se rappelle que la température baisse avec l'altitude et varie selon un cycle saisonnier, on peut conclure que les conditions de glace sont fréquentes dans le bassin hydrographique. Si à faible altitude les

30

précipitations estivales se présentent principalement sous forme de pluie, elles peuvent aussi, à plus haute altitude, se manifester par des chutes de neige.

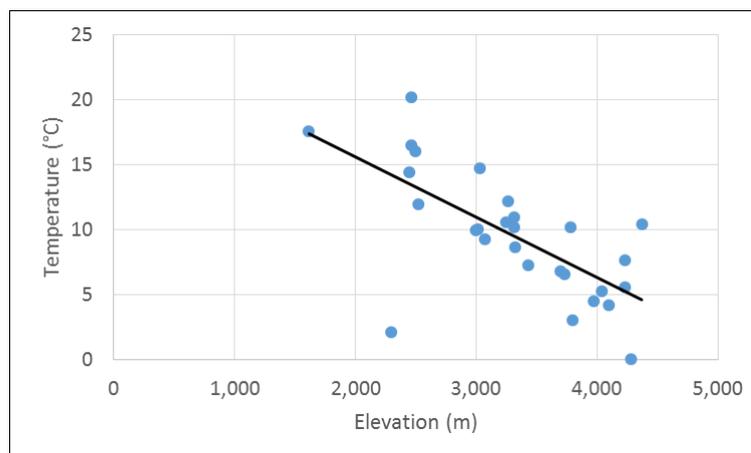


Figure 16
Relation régionale entre la température annuelle moyenne [en ordonnée] et l'altitude [en abscisse] (Muñoz *et al.*, 2017)

Température relevée	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.
Médiane	5,3	6,6	7,9	8,3	8,4	8,6	6,4	3,9	2,1	1,8	2,7	3,7
Max.	10,3	9,1	9,7	9,8	10,5	12,2	8,6	7,7	5,8	4,8	5,6	6,3
Min.	2,5	4,8	6,2	5,6	6,3	6,3	4,2	1,7	-0,7	-0,8	1,0	1,4
E-T	1,8	1,2	0,9	1,0	1,1	1,5	1,1	1,5	1,7	1,3	1,1	1,3

Tableau 2
Température moyenne mensuelle relevée à la station d'Inacaliri (°C) (1969-1992)

31

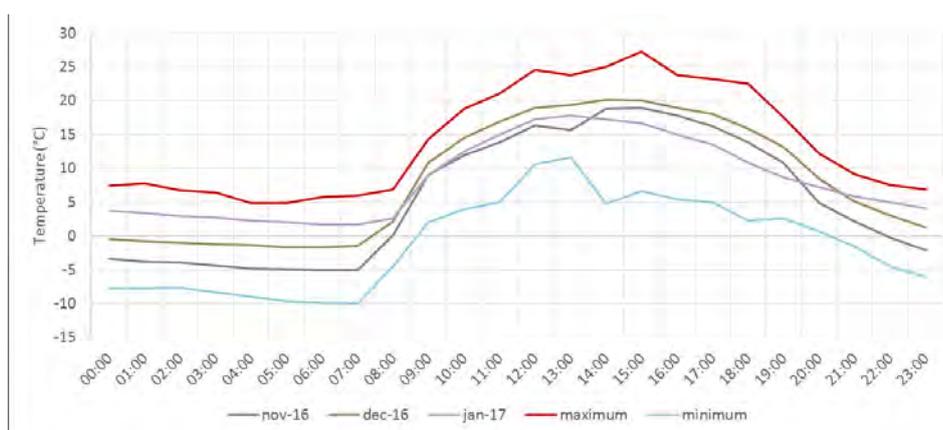


Figure 17
Températures horaires données pour certains mois et températures globales maximales et minimales relevées à la station météorologique UC (Muñoz *et al.*, 2017)

3.5. L'évaporation au niveau du Silala

Dans la plus grande partie du bassin hydrographique, l'évaporation est limitée par les précipitations. Le bilan hydrique annuel moyen que nous avons calculé montre que, sur les 165 mm de précipitations reçues, 87 mm sont perdus par évaporation et 78 mm sont déchargés dans l'écoulement de la rivière (170 litres par seconde) à la frontière. Toutefois, dans les zones humides, où les sources fournissent des apports en eau alimentant l'évaporation en surface, les taux d'évaporation peuvent être plus élevés. A l'aide de données de télédétection, nous calculons la superficie des zones humides et estimons que l'évaporation associée équivaut à 0,7 % de l'écoulement moyen à la frontière. Si l'on prend une estimation haute, on obtient une évaporation équivalant à 2 % de l'écoulement moyen à la frontière. Il est peu probable que les effets anthropiques observés dans les zones humides, causés par les petits chenaux décrits plus haut, aient une incidence notable sur l'évaporation des zones humides, mais ils pourraient réduire l'étendue des eaux superficielles. Néanmoins, étant donné que l'effet total de l'évaporation des zones humides est faible, toute réduction devrait avoir une incidence négligeable sur les écoulements du Silala depuis la Bolivie jusqu'au Chili.

32

Les précipitations enregistrées dans le bassin versant topographique constituent le principal apport d'eau au Silala²⁰⁸. La lame d'eau peut être en partie restituée à l'atmosphère par évaporation, y compris par sublimation de la neige. La différence entre les précipitations et l'évaporation donne l'eau qui se déplace à travers le bassin hydrographique à différentes échelles de temps et qui finit par être déchargée sous forme d'écoulement superficiel ou souterrain. Le bilan hydrique du bassin peut être défini pour une période donnée (normalement un an) comme suit :

Equation 1²⁰⁹ : précipitation – évaporation = écoulement + variation de l'eau en réserve dans le sol

L'apport moyen des précipitations au bassin hydrographique du Silala étant estimé à 165 mm/an et le débit moyen mesuré à la frontière étant de 170 litres par seconde (équivalent à 78 mm/an pour le bassin versant correspondant), les pertes par évaporation dans le bassin hydrographique en Bolivie peuvent être estimées à 87 mm/an. Cette estimation s'appuie sur l'hypothèse selon laquelle les variations interannuelles du stockage de l'eau dans le bassin hydrographique, par exemple l'eau en transit dans les aquifères souterrains, sont faibles.

33

Dans les zones où des eaux disponibles en surface permettent le phénomène d'évaporation — ici, les zones humides Orientales et Cajones en Bolivie, qui se renouvellent grâce à l'écoulement provenant des sources souterraines — et dans les zones humides similaires et les zones riveraines d'aval, les vitesses d'évaporation peuvent être plus importantes, mais ce phénomène se concentre sur des surfaces relativement limitées. Suárez, Muñoz *et al.* (2017) ont utilisé des images satellite NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, indice de végétation normalisé) de séries historiques tirées d'Alcayaga (2017) (voir les exemples à la figure 18) afin de cerner l'étendue des zones humides dans l'espace, y compris les zones humides Cajones et Orientales en Bolivie. Ces images dénotent une forte variabilité saisonnière, sans doute due à la saisonnalité des précipitations et de l'activité de la végétation, les zones humides atteignant leur superficie maximale (environ

²⁰⁸ Les précipitations tombant à l'extérieur du bassin versant topographique peuvent contribuer à la recharge des eaux souterraines si un aquifère s'étend par-delà la limite topographique.

²⁰⁹ Les précipitations et l'évaporation sont généralement exprimées en hauteur d'eau (mm) pour une période de temps donnée (la lame d'eau), dont on considère qu'elle s'applique à toute la surface du bassin hydrographique. Le débit désigne généralement la vitesse d'écoulement d'un volume d'eau à l'exutoire du bassin hydrographique (par exemple, un volume en litres par seconde ou mètres cubes par seconde). Dans l'équation 1, nous avons besoin d'unités constantes. Nous pouvons diviser le débit par la superficie du bassin hydrographique pour obtenir l'écoulement en mm au cours d'une période donnée. Nous pouvons également considérer que l'évaporation et les précipitations (en mm) s'appliquent à une surface donnée et pour une période donnée, puis calculer ces termes de l'équation dans les unités choisies pour le débit.

0,16 km²) entre janvier et mars et leur superficie minimale (environ 0,011 km²) en hiver (tableau 3).

Après avoir estimé les pertes par évaporation provenant de la végétation ripicole à l'aide de données NDVI, en utilisant une méthode conçue pour les zones arides et semi-arides, nous avons estimé les pertes par évaporation des zones humides. C'est en février que les vitesses moyennes d'évaporation (ET_r) étaient les plus élevées (tableau 4), s'établissant à 3,9 mm/jour. Si l'on multiplie cette valeur par la surface de la zone humide pour calculer le volume d'eau perdu par jour et qu'on la convertit en unités d'écoulement équivalentes, on obtient une vitesse de 5,9 litres par seconde (l/s), soit 3,3 % de l'écoulement mensuel à la frontière. Sur la durée d'une année entière, l'évaporation moyenne est de 1,4 mm/jour, ce qui correspond à 1,3 l/s, ou 0,7 % de l'écoulement moyen. Par conséquent, si les pertes par évaporation des zones humides étaient nulles, on pourrait peut-être voir apparaître un petit écoulement supplémentaire, dont le débit mensuel maximum serait de 5,9 l/s et le débit moyen annuel serait de 1,3 l/s, ou 0,7 % du débit du Silala à la frontière.

34

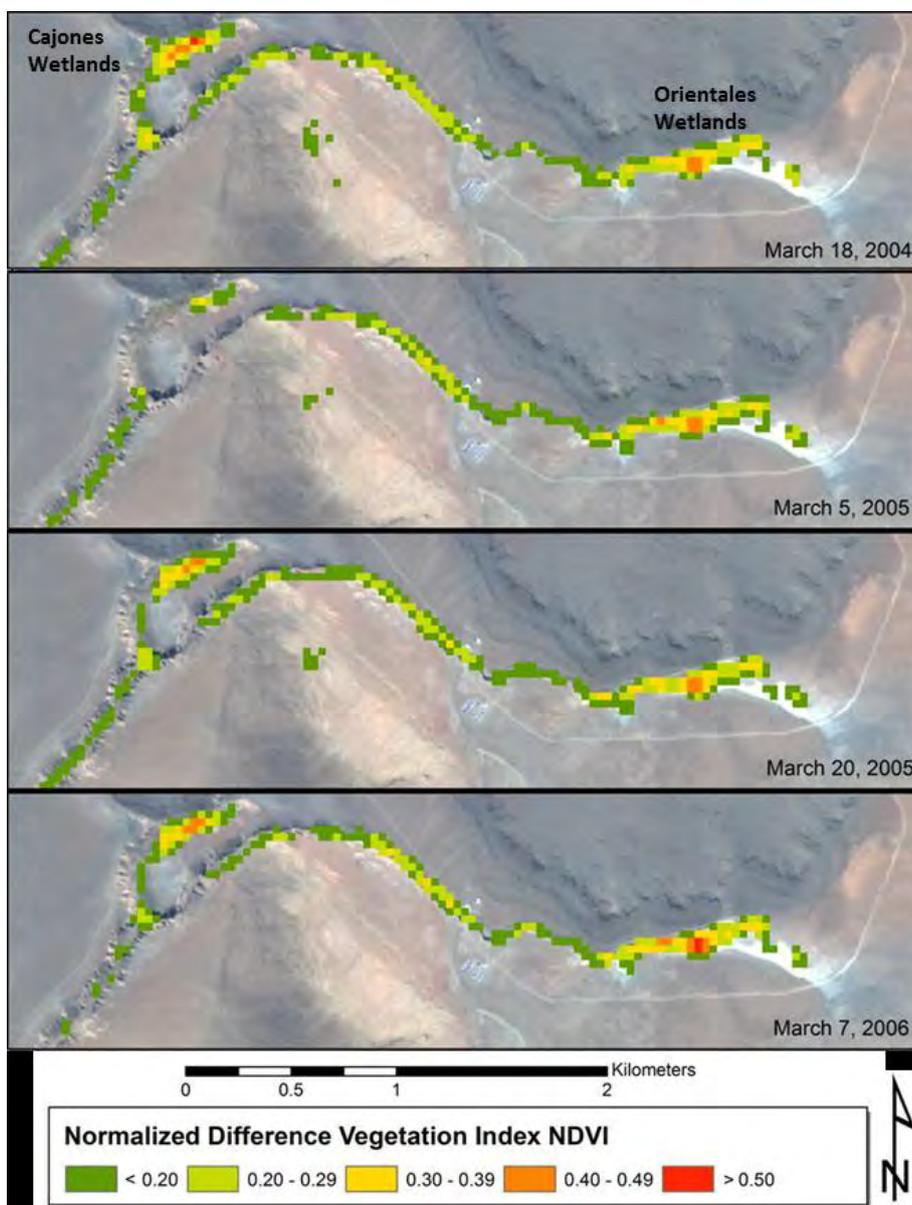


Figure 18
Exemples d'images NDVI des principales zones humides du bassin hydrographique du Silala.
Les zones humides représentées sont les zones Orientales et Cajones situées en territoire bolivien (Alcayaga, 2017)

35

Surface (km ²) par intervalle NDVI								
Mois	≤ 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	> 0,6	Total
Janvier	0,781	0,102	0,042	0,014	0,006	0,001	0,000	0,165
Février	0,799	0,068	0,051	0,022	0,006	0,003	0,000	0,147
Mars	0,793	0,090	0,041	0,016	0,005	0,001	0,000	0,153
Avril	0,891	0,039	0,013	0,004	0,000	0,000	0,000	0,055
Mai	0,920	0,025	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027
Juin	0,932	0,013	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014
Juillet	0,936	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010
Août	0,938	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008
Septembre	0,932	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014
Octobre	0,923	0,023	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023
Novembre	0,932	0,011	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015
Décembre	0,909	0,027	0,011	0,001	0,000	0,000	0,000	0,038
Moyenne	0,890	0,036	0,014	0,005	0,001	0,000	0,000	0,056
Maximum	0,938	0,102	0,051	0,022	0,006	0,003	0,000	0,165
Minimum	0,781	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008
Ecart-type	0,062	0,033	0,019	0,008	0,003	0,001	0,000	0,062

Tableau 3
Superficie moyenne mensuelle des zones humides (km²) estimée à l'aide d'images NDVI (Alcayaga, 2017)

36

Mois	MÉTHODE					Moyenne	Pourcentage du débit
	Penman-Monteith	Turc	Priestley-Taylor	Taylor-de Bruin	Jensen-Haise		
	ET _r (l/s)						
Janv.	4,1	3,1	3,6	4,4	3,3	3,7	2,1
Févr.	5,8	5,3	6,0	6,8	5,7	5,9	3,3
Mars	3,1	2,2	2,3	2,9	2,3	2,6	1,5
Avril	0,8	0,6	0,6	0,8	0,6	0,7	0,4
Mai	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Juin	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Juillet	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
Août	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Sept.	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
Oct.	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2
Nov.	0,5	0,4	0,4	0,5	0,3	0,4	0,2
Déc.	1,0	0,7	0,7	0,9	0,7	0,8	0,5
Annuel	1,4	1,1	1,2	1,4	1,1	1,2	0,7

Tableau 4
ET_r moyenne mensuelle, exprimée en écoulement réel mesuré équivalent (l/s) à l'aide de la méthode de Groeneveld *et al.* (2007) combinée à cinq autres méthodes différentes d'estimation de l'évaporation potentielle, et pourcentage de l'écoulement total mensuel et annuel correspondant à la moyenne de toutes les méthodes (Suárez, Muñoz *et al.*, 2017)

Conscients du fort degré d'incertitude que présentent ces calculs, Suárez, Muñoz *et al.* (2017) sont partis de l'hypothèse que l'évaporation des zones humides se produisait à la vitesse d'évapotranspiration potentielle pour parvenir à une estimation haute. Il s'agit d'une estimation idéalisée de l'évaporation susceptible de se produire sur une surface couverte de végétation, se développant activement et où l'eau est disponible. Dans ce cas de figure, la vitesse maximale de perte en janvier équivaut à un débit de 11,5 l/s, soit 6,5 % de l'écoulement à la frontière. Le taux moyen annuel de perte correspond à 3,4 l/s, ou 2 % de l'écoulement moyen. Par conséquent, même en retenant cette hypothèse, la conclusion demeure que l'évaporation des zones humides est un terme relativement mineur du bilan hydrique du bassin hydrographique du Silala.

37

Comme on le verra à la section 3.7 ci-dessous et comme il est indiqué plus haut, certains travaux de chenalisation ont été réalisés en 1928 dans le lit naturel de la rivière, apparemment pour protéger la qualité de l'eau et empêcher la reproduction des insectes. On pourrait raisonnablement s'attendre à ce que cette chenalisation ait eu un effet, quoique très limité, sur l'étendue des eaux de surface dans les zones humides, même s'il est par ailleurs probable que les effets sur la végétation hygrophile aient été mineurs, compte tenu de la faible profondeur des chenaux artificiels²¹⁰. Nous croyons savoir que l'entretien a cessé en 1997 et n'a repris que très récemment. L'étendue réelle mesurée des zones humides affiche une forte variabilité saisonnière et interannuelle (figure 19) et les données récentes n'ont pas permis de déceler un quelconque effet des activités anthropiques en question. En tout état de cause, étant donné que l'ampleur des pertes par évaporation dans les zones humides est relativement faible, comme il est indiqué ci-dessus, il est clair que les aménagements artificiels n'ont probablement eu aucun effet notable sur les écoulements du Silala à la frontière internationale.

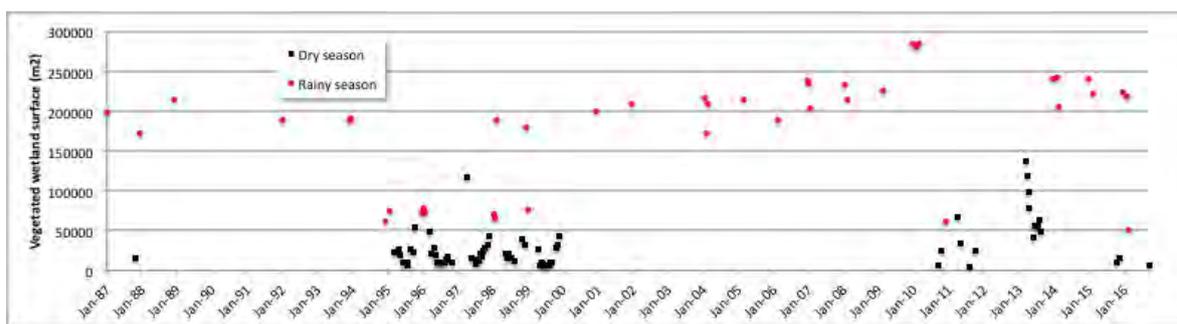


Figure 19

Séries temporelles de la surface végétalisée des zones Cajones et Orientales tirées d'images Landsat et produites à l'aide des valeurs NDVI supérieures à 0,1 (Alcayaga, 2017)

Légende :

En noir = En saison sèche
En rouge = En saison humide

3.6. Les processus hydrologiques et le fonctionnement hydrogéologique du Silala

La géologie de surface du bassin hydrographique est pour l'essentiel caractérisée par des formations perméables ; les précipitations peuvent donc s'infiltrer dans le sol et recharger les eaux souterraines. Les ruissellements rapides occasionnés par les tempêtes sont limités et auront le plus tendance à se produire en présence de zones saturées, par exemple dans les zones humides alimentées par des sources ou les zones humides riveraines. Les émergences d'eaux souterraines formant les sources en Bolivie assurent un écoulement pérenne au Silala, mais d'importants apports souterrains sont également observés en aval, en particulier au niveau de sources multiples

38

²¹⁰ Les nappes ont été réduites de 0,5 m au maximum dans la zone adjacente aux chenaux, effet qui diminue avec la distance. Ainsi, les niveaux d'humidité des sols peuvent être aisément maintenus par capillarité, fournissant une eau abondante pour entretenir le phénomène de transpiration végétale.

qui émergent des parois de la gorge transfrontière. On compte au moins trois types de systèmes aquifères dans la zone : des aquifères perchés superficiels qui se vidangent par des sources, un aquifère sous-fluvial qui se recharge grâce aux eaux infiltrées dans le lit de la rivière, et des aquifères plus profonds qui ont été interceptés par plusieurs forages, dont un communique avec des eaux souterraines captives et se décharge dans la rivière au Chili.

On trouvera une description synthétique de la géologie du bassin versant du Silala dans Peach et Wheeler (2017), ainsi que les résultats détaillés de leur programme de cartographie géologique dans SERNAGEOMIN (2017).

Les expériences d'infiltration décrites par Arcadis (2017) montrent que, en général, la capacité d'infiltration des formations de surface est élevée, habituellement de l'ordre de 1 m/jour, ce qui excède de loin les intensités de précipitation normales (15-20 mm par jour). Nous pouvons en conclure que l'infiltration est le processus hydrologique dominant en surface, les apports des ruissellements rapides en cas de forte tempête étant très limités, ce qui est conforme aux observations du débit de la rivière. Les processus de subsurface sont prédominants, mais nous notons toutefois que les écoulements des sources alimentent les zones humides, ce qui peut générer une réponse rapide en cas de pluie sur des surfaces saturées.

L'intégration des données de cartographie géologique et des preuves tirées des investigations hydrogéologiques (Arcadis, 2017), ainsi que des études détaillées des interactions entre le cours d'eau et les aquifères par l'analyse thermique (Suárez *et al.*, 2017), amène à conclure qu'il existe trois grands types d'aquifères actifs dans le bassin versant du Silala. On en trouvera la représentation dans la coupe longitudinale et la coupe transversale du bassin établies aux figures 20 et 21.

39

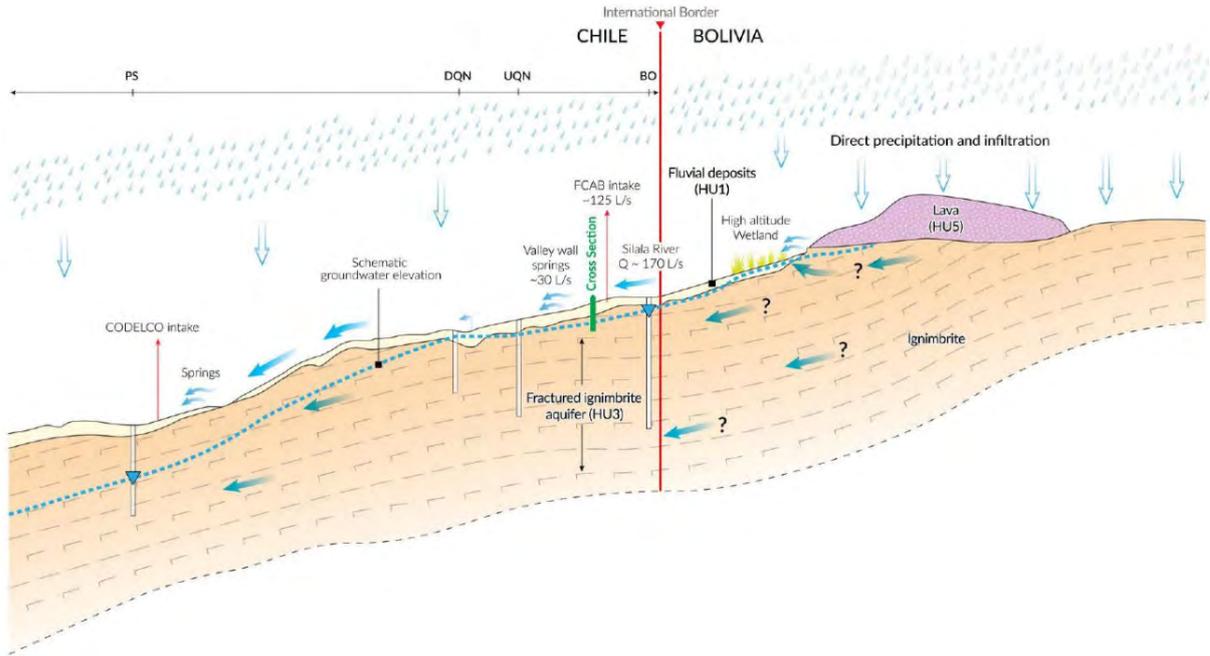


Figure 20
Modèle conceptuel hydrogéologique — coupe longitudinale du bassin versant
 (Arcadis, 2017)

Légende :

International Border	=	Frontière internationale
CODELCO intake	=	Prise d'eau de la CODELCO
Springs	=	Sources
Schematic groundwater elevation	=	Niveau piézométrique schématisé
Valley wall springs ~ 30 L/s	=	Sources émergeant des parois de la vallée ~ 30 l/s
Cross Section	=	Coupe transversale
Fractured ignimbrite aquifer (HU3)	=	Aquifère formé dans l'ignimbrite fracturée (HU3)
FCAB intake ~ 125 L/s	=	Prise d'eau de la FCAB ~ 125 l/s
Silala River Q ~ 170 L/s	=	Silala Q ~ 170 l/s
Fluvial deposits (HU1)	=	Dépôts fluviatiles (HU1)
High altitude Wetland	=	Zone humide d'altitude
Direct precipitation and infiltration	=	Précipitation et infiltration directes
Lava (HU5)	=	Lave (HU5)
Ignimbrite	=	Ignimbrite

40

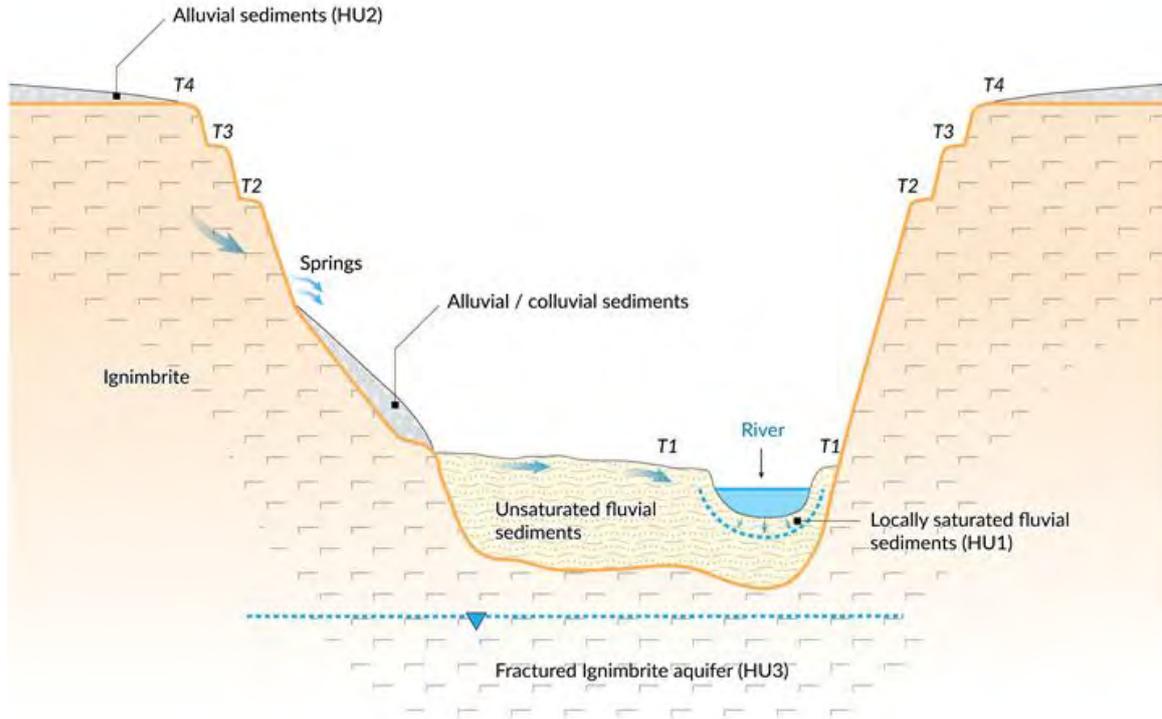


Figure 21
Modèle théorique hydrogéologique — sources de la gorge et interactions cours d'eau/aquifères
 (Arcadis, 2017)

Légende :

Alluvial sediments (HU2)	=	Sédiments alluviaux (HU2)
Springs	=	Sources
Ignimbrite	=	Ignimbrite
Alluvial/colluvial sediments	=	Sédiments alluviaux/colluviaux
Unsaturated fluvial sediments	=	Sédiments fluviaux non saturés
River	=	Rivière
Locally saturated fluvial sediments (HU1)	=	Sédiments fluviaux localement saturés (HU1)
Fractured Ignimbrite aquifer (HU3)	=	Aquifère formé dans l'ignimbrite fracturée (HU3)

Sur une grande partie du Silala en aval de la frontière internationale, le lit de la rivière repose sur plusieurs mètres de sédiments, qui forment un aquifère alluvial. Suárez *et al.* (2017) ont montré que, sur cinq points du profil qu'ils ont étudié, la rivière perd de l'eau au profit des sédiments sous-jacents par infiltration du lit. Dans d'autres endroits, l'installation de forages a permis de montrer que le niveau d'eau dans les sédiments fluviaux se situe bien en dessous du lit de la rivière (Arcadis, 2017), si bien que la perméabilité des dépôts fluviaux apparaît très variable sur le plan vertical et latéral, conduisant à des niveaux variables de saturation et à l'apparition de nappes libres perchées²¹¹ (figures 20 et 21).

41

On aperçoit de nombreuses sources émerger à travers les parois de la gorge (Arcadis, 2017) en particulier dans la région située entre la frontière internationale et la jonction de la rivière avec Quebrada Negra (figure 22). Ces sources émergent souvent des hauteurs, sur les deux versants de la gorge, ou des alluvions reposant sur la formation solide des flancs des versants montagneux situés de part et d'autre de la gorge. Les eaux des sources ont une température nettement plus élevée que celle des eaux du Silala (Suárez *et al.*, 2017). Un câble à fibre optique, posé le long de la rivière, a

²¹¹ Surfaces libres des nappes, situées à différents niveaux, soutenues par des zones de faible perméabilité.

montré l'afflux d'eaux plus chaudes provenant des sources à la base de la gorge (Suárez *et al.*, 2017) (figures 20 et 21). Une zone de faible résistivité surplombant le substratum et située dans les alluvions a été détectée au cours des études géophysiques (Arcadis, 2017), ce qui traduirait la présence d'eaux souterraines perchées, s'écoulant d'amont en aval vers la gorge du Silala et émergeant des sources. Ces eaux de source sont probablement un mélange d'eaux de recharge anciennes et d'eaux de recharge nouvelles provenant des aquifères.

42

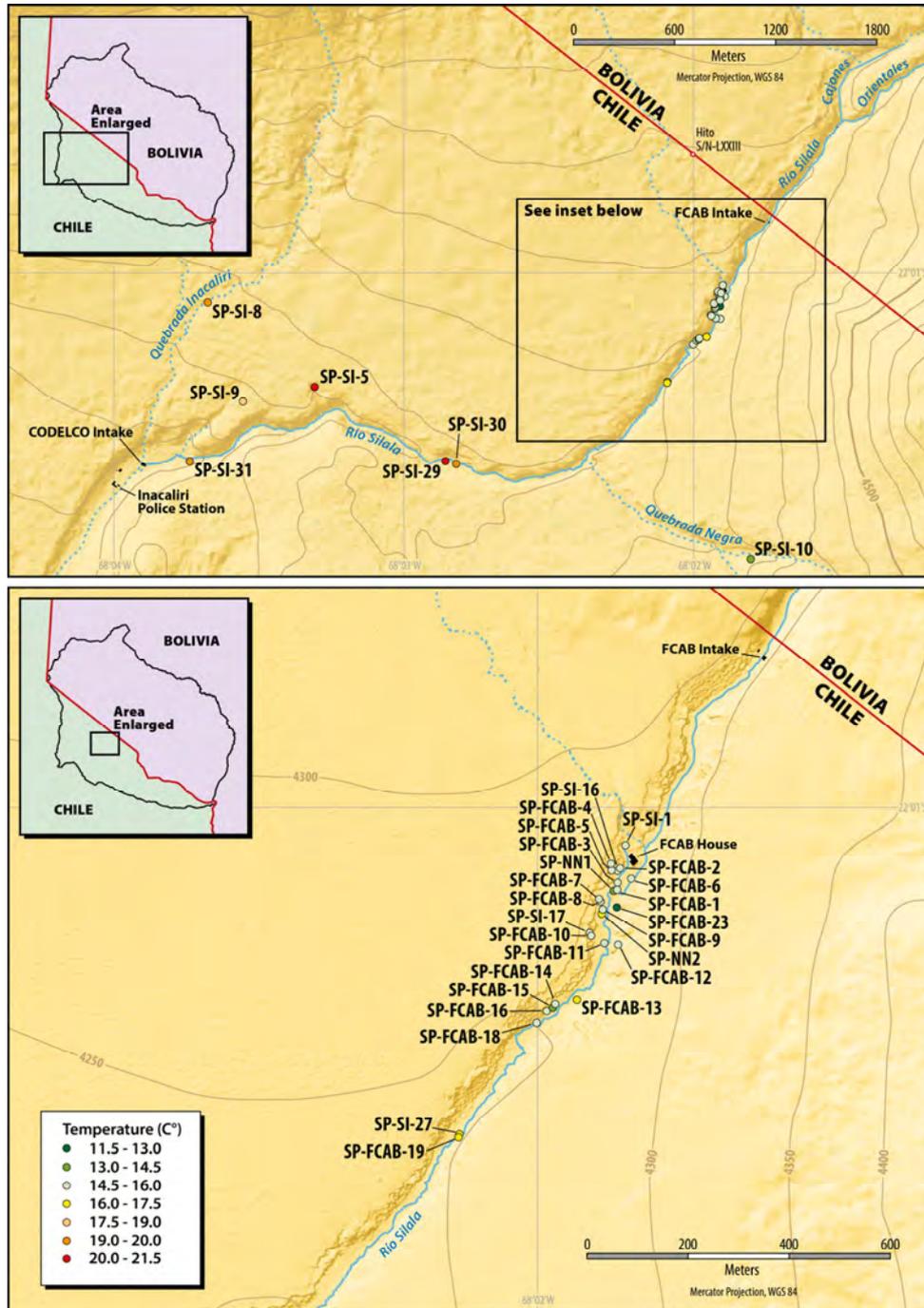


Figure 22
Emplacements des sources en aval de la frontière et distribution des températures.
Les valeurs indiquées en rouge représentent les températures les plus élevées relevées et celles en vert les plus froides (Arcadis, 2017)

43

Dans une zone profonde située sous le Silala au Chili, on trouve un aquifère captif²¹². Cet aquifère, qui a fait l'objet de forages et de pompages d'essai (Arcadis, 2017), se situe au sein des ignimbrites Cabana et Silala (Peach et Wheeler, 2017 ; Arcadis, 2017 ; SERNAGEOMIN, 2017). Celles-ci, sur lesquelles s'étend la gorge du Silala, sont des roches basales mises en place par des éruptions volcaniques explosives émettant des coulées de fragments de roche, de gouttelettes de roches fondues et de gaz chauds qui ont emprunté la pente topographique actuelle à grande vitesse. L'aquifère profond apporte une eau de qualité chimique différente (Herrera et Aravena, 2017) et dont la température est bien plus élevée (Suárez *et al.*, 2017) que celle des eaux des sources mentionnées plus haut, mais la recharge ne s'en produit pas moins à haute altitude. Les analyses de la composition chimique et du radiocarbone indiquent que son temps de résidence dans l'aquifère est bien supérieur à celui des eaux des sources décrites plus haut. Il semble qu'un aquifère profond a été intercepté par un puits de recherche foré en 1995, lequel continue, en raison de la pression artésienne, de décharger une quantité importante d'eau dans le cours d'eau et a réchauffé l'eau de la rivière dont la température a gagné jusqu'à 9 °C (Suárez *et al.*, 2017). D'après les résultats des essais de forage et de pompage (Arcadis, 2017), les ignimbrites Silala et Cabana forment ensemble un aquifère hétérogène latéralement comme verticalement qui est captif en profondeur sous le Silala et qui, d'après les connaissances actuelles, n'interagit pas avec la rivière en aval de la frontière internationale, hormis par l'intermédiaire du forage artésien susmentionné. Selon le degré d'hétérogénéité, la connectivité hydraulique latérale et verticale peut être très faible au sein du système, si bien que les réponses hydrologiques constatées sur un site peuvent être ou non ressenties sur un autre site. Il semble probable que cet aquifère s'étende sous une grande partie du bassin versant du Silala.

44

Dans le cours supérieur du Silala, de nombreuses sources alimentent les zones humides Cajones et Orientales. L'ignimbrite Silala affleure en surface le long de la gorge de la rivière et dans les zones humides Orientales en Bolivie. L'ignimbrite Cabana, plus ancienne et inférieure, affleure plus au nord-est en Bolivie. L'origine précise des sources pérennes en Bolivie reste incertaine, en l'absence de données géologiques et hydrogéologiques et de données sur la qualité de l'eau. Toutefois, il semble probable que ces sources émanent des alluvions situées sur les versants montagneux environnants, ce qui est conforme à l'analyse topographique d'Alcayaga (2017), qui a montré que ces sources coïncidaient avec des zones de forte convergence topographique. Une autre influence importante est probablement à rechercher dans la vaste coulée de lave andésitique qui tronque l'ancien réseau de drainage, comme examiné dans Peach et Wheeler (2017).

Les données détaillées issues de la surveillance par câble à fibre optique et des relevés de température par point sous le lit de la rivière, combinées au suivi du débit dans les déversoirs (Suárez *et al.*, 2017), ont permis de quantifier les apports nets provenant des eaux souterraines sur le secteur étudié (figure 23). Ces apports ont été définis comme suit : 35,9 l/s émanant des sources jaillissant des parois de la gorge, 3,3 l/s s'infiltrant dans le lit de la rivière au profit d'un aquifère sous-fluvial et 91,6 l/s provenant de la source artésienne en profondeur.

²¹² On dit qu'un aquifère est captif quand il contient des eaux souterraines soumises à une pression supérieure à la pression atmosphérique. L'aire d'alimentation d'un aquifère captif, qui se trouve à une certaine distance et est formée d'eau libre, se situe à plus haute altitude que cet aquifère.

45

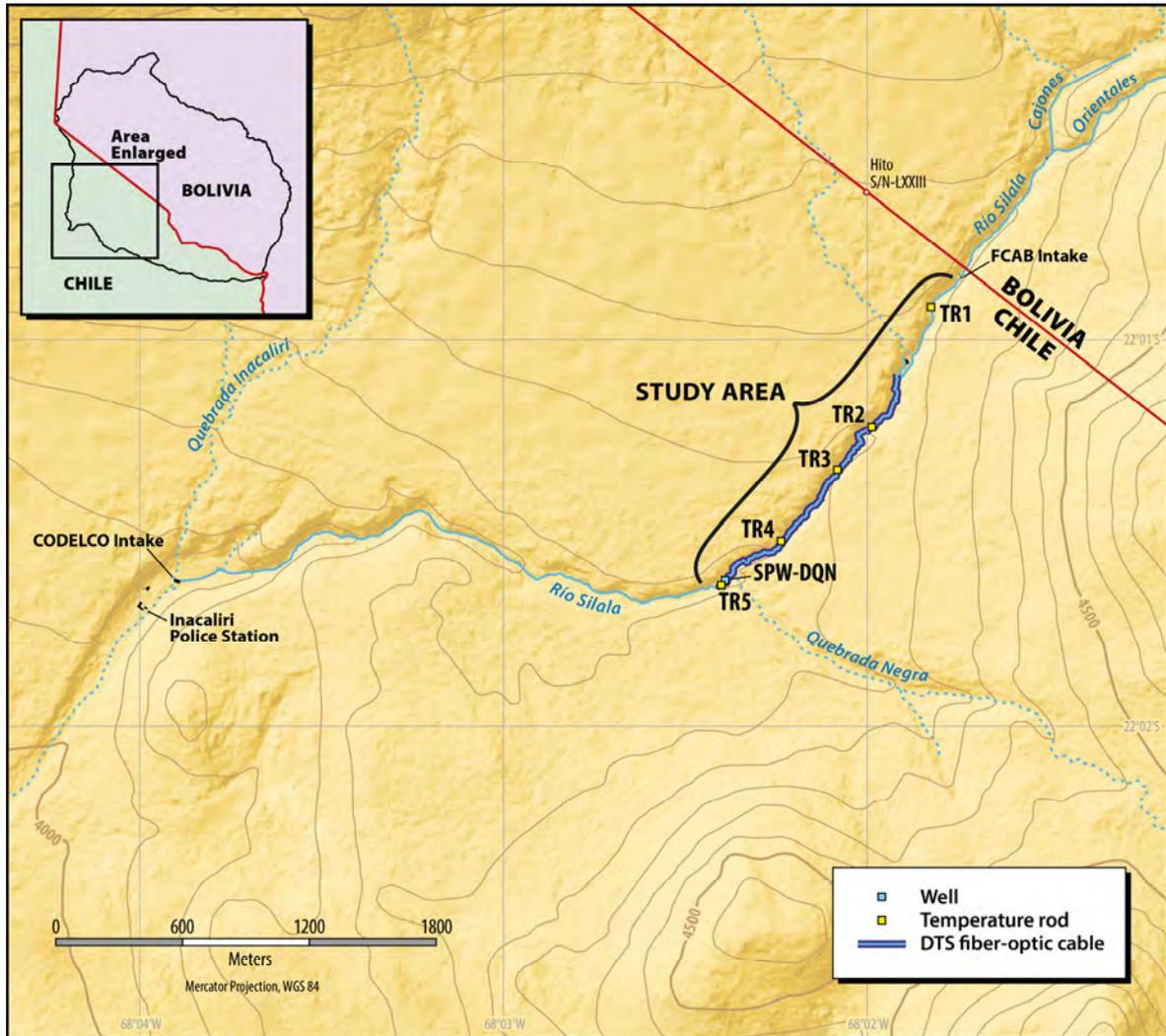


Figure 23

Secteur de la rivière où les échanges entre les eaux souterraines et les eaux de surface ont été étudiés (Suárez et al., 2017)

Légende :

- | | | |
|------------------|---|---------------------------------------|
| Point bleu clair | = | Puits |
| Points jaunes | = | Emplacements des barres de dilatation |
| Ligne bleue | = | Câble à fibre optique |

En résumé, il apparaît clairement que la rivière est alimentée en grande partie par des eaux souterraines. Le Silala interagit sur une grande partie de son cours avec au moins deux systèmes hydrogéologiques distincts et reçoit en un point des eaux issues d'un troisième aquifère profond.

3.7. La géomorphologie et les habitats fluviaux du Silala

Nos études ont montré que la rivière est encore active sur le plan géomorphologique, comme en témoignent le transport différencié de sédiments fins et grossiers et le pavage du lit. La rivière, comme son lit fluvial, a les caractéristiques morphologiques attendues d'une rivière à écoulement pérenne présentant ce régime d'écoulement et de sédimentation ; son état est jugé bon au regard d'un indice de qualité morphologique international et elle abrite une population en bonne santé de poissons.

46

Si la définition de l'expression «cours d'eau» donnée dans la convention de 1997 fait référence à un système d'eaux de surface et d'eaux souterraines, le géomorphologue, lui, accordera une attention particulière à la question de savoir si la rivière, en sus de conduire l'eau, est bien active sur le plan géomorphologique. Peach et Wheeler (2017) retracent l'héritage fluvial du Silala, démontrant que sa gorge actuelle a été façonnée par des processus fluviaux à l'œuvre depuis au moins 8000 ans. Mao (2017) fait état d'une série d'expériences menées pour étudier l'état actuel de l'activité géomorphologique. Des études *in situ* du transport sédimentaire ont été réalisées dans deux secteurs de la rivière, à l'aide de sédiments marqués (marques colorées et transpondeurs passifs (pit-tags)) et de pièges à sédiments. Les figures 24a et b montrent que les sédiments fins et grossiers sont transportés de manière différenciée par le cours d'eau, selon le principe du tri granulométrique, et Mao conclut que les caractéristiques des sédiments du lit correspondent à un phénomène de pavage typique des rivières à écoulement pérenne. La morphologie en marche d'escalier du lit est celle attendue d'une rivière alluviale dont les pentes, la charge solide et le confinement latéral sont ceux observés dans le Silala. Selon un indice de qualité morphologique accepté sur le plan international, l'état de la rivière est jugé «bon». La présence d'une population en bonne santé de truites arc-en-ciel, présentant des fréquences de taille et de poids très variées, démontre que l'état général de la rivière, au regard des écoulements pérennes, de la quantité d'eau et de sa qualité ainsi que de la disponibilité alimentaire, est suffisant pour qu'y prospère une population de poissons en bonne santé (figure 25).

47

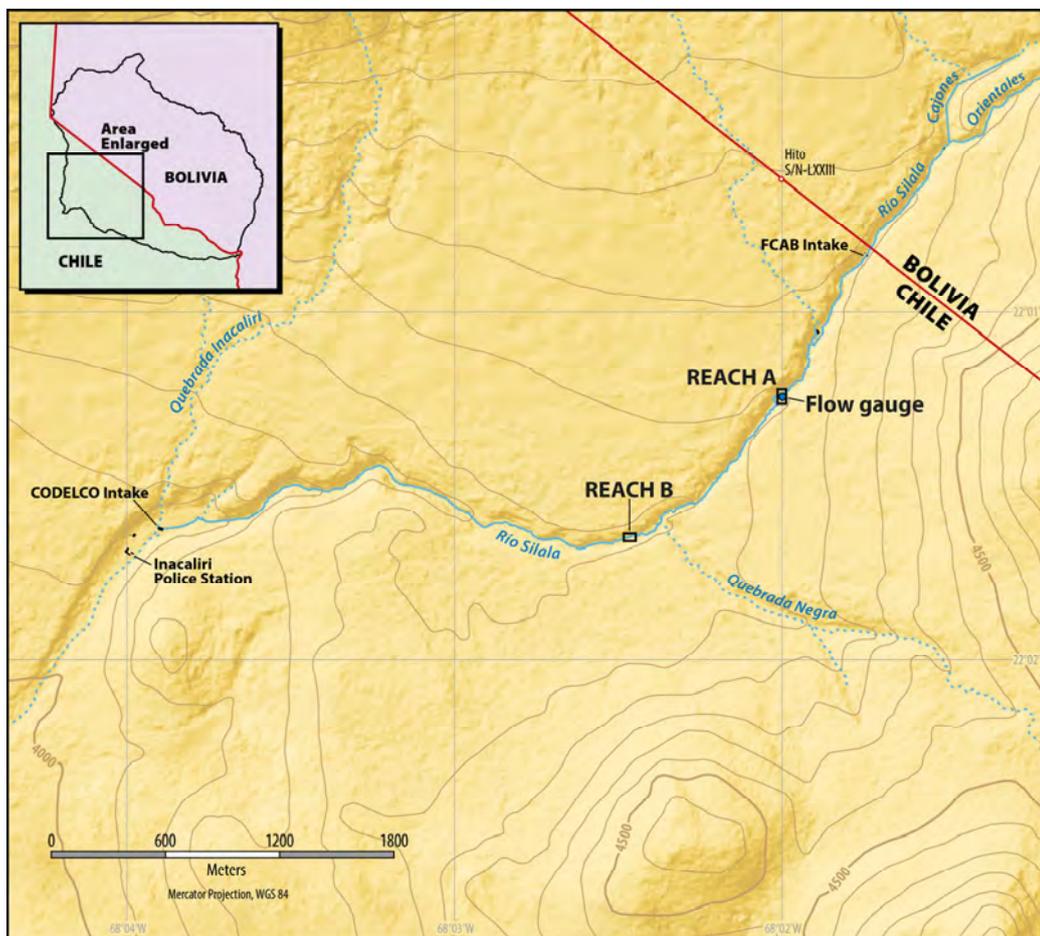


Figure 24a
Emplacement des secteurs de la rivière étudiés par Mao (2017)

Légende :

Reach

= Secteur

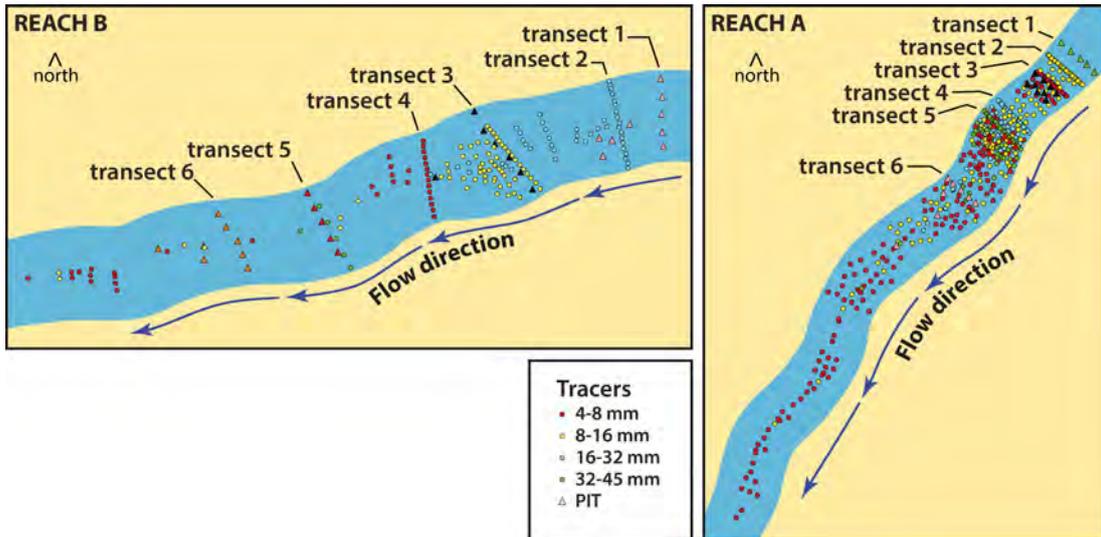


Figure 24b

Résultats du traçage sédimentaire : secteur A (à droite) et secteur B (à gauche) (Mao, 2017)

Légende :

- Reach B = Secteur B
- Transect = Transect
- Flow direction = Direction d'écoulement
- Tracers = Marqueurs

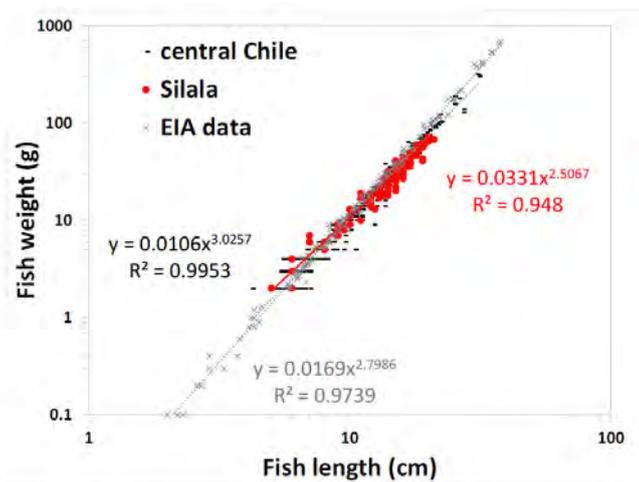


Figure 25

Rapport longueur-poids des truites arc-en-ciel prélevées dans le Silala et les autres rivières de la région Centre du Chili (Mao, 2017)

Légende :

- Fish weight (g) = Poids des poissons (g)
- Fish length (cm) = Taille des poissons (cm)
- Central Chili = Centre Chili
- EIA data = Données EIE [évaluation de l'impact sur l'environnement]

4. CONCLUSIONS

Le statut des eaux du Silala peut être déterminé à partir des quatre faits élémentaires suivants :

- Premièrement, la topographie du bassin versant du Silala est telle que les eaux naturellement drainées dans une zone d'environ 69 km² en Bolivie empruntent un trajet qui les amène à traverser la frontière internationale entre la Bolivie et le Chili.
- Deuxièmement, le débit de la rivière à la frontière, calculé actuellement à environ 170 litres par seconde, correspond à un écoulement pérenne qui épouse le canal de drainage naturel.
- Troisièmement, dans notre rapport annexe (Peach et Wheeler, 2017), nous montrons que le Silala s'écoule dans une gorge, qui traverse la frontière actuelle, depuis plus de 8400 ans.
- Quatrièmement, bien que l'écoulement pérenne à la frontière émane de deux grands réseaux de sources souterraines en Bolivie (les sources d'eau des zones humides Orientales et Cajones), la rivière interagit avec les eaux souterraines présentes sur le reste de son parcours.

Il s'agit, de notre point de vue d'experts, d'«un système d'eaux de surface et d'eaux souterraines constituant, du fait de leurs relations physiques, un ensemble unitaire et aboutissant normalement à un point d'arrivée commun».

Nous montrons également que la rivière est active sur les plans géomorphologique et biologique. Les processus géomorphologiques qui ont façonné la gorge transfrontière sont toujours à l'œuvre et la rivière abrite une population en bonne santé de poissons et d'invertébrés.

Autre facteur qu'il convient de noter si l'on reprend l'historique de l'utilisation des eaux du Silala, des concessions ont été accordées à la FCAB par le Gouvernement chilien en 1906 et par le Gouvernement bolivien en 1908. La FCAB a ensuite construit de petits ouvrages afin de dériver une partie de l'écoulement de la rivière dans une conduite (en Bolivie en 1909-1910, et au Chili en 1942). Près de deux décennies après les premiers prélèvements, en 1928, des travaux de chenalisation à petite échelle ont été faits, en raison de préoccupations au sujet de la qualité de l'eau et du fait que la végétation hygrophile servait de gîte de reproduction à une population d'insectes.

Nous avons démontré, dans Peach et Wheeler (2017), que les écoulements transfrontières sont très anciens, remontant à plus de 8400 ans pour la rivière coulant dans la gorge actuelle, et nous notons en outre que les concessions d'utilisation de l'eau octroyées à la FCAB sont antérieures de près de deux décennies aux travaux de chenalisation. Néanmoins, nous croyons savoir que des préoccupations ont été exprimées quant à l'effet des chenaux artificiels. Notre analyse montre que ceux-ci épousent le canal de drainage naturel et la déclivité naturelle de la rivière et n'ont pas eu d'incidence notable sur le trajet du cours d'eau et son point de franchissement de la frontière. Nous estimons que l'évaporation des zones humides boliviennes équivaut tout au plus à 2 % de l'écoulement moyen à la frontière (et, dans le meilleur des cas, à 0,7 %). Les données de télédétection disponibles ne permettent pas de déceler si les travaux de canalisation ont eu un quelconque effet sur l'étendue des zones humides, mais un tel effet, s'il existait, ne pourrait représenter, au maximum, qu'une petite fraction de ce pourcentage.

5. RÉFÉRENCES

- Alcayaga, H., 2017. Characterization of the Drainage Patterns and River Network of the Silala River and Preliminary Assessment of Vegetation Dynamics Using Remote Sensing. (Vol. 4, annexe I)
- Arcadis, 2017. Detailed Hydrogeological Study of the Silala River. (Vol. 4, annexe II)
- British Geological Survey, 1996. British Regional Geology, London and the Thames Valley, 4th ed., 173 pp.
- Herrera, C. et Aravena, R., 2017. Chemical and Isotopic Characterization of the Surface Water and Groundwater of the Silala River Transboundary Basin, Second Region, Chile. (Vol. 4, annexe II)
- Mao, L., 2017. Fluvial Geomorphology of the Silala River, Second Region, Chile. (Vol. 5, annexe V)
- Muñoz, J. F., Suárez, F., Fernández, B., Maass, T., 2017. Hydrology of the Silala River Basin. (Vol. 5, annexe VII)
- Nations Unies, 1997. Convention sur le droit relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation, Nations Unies, doc. A/RES/51/869, 21 mai 1997.
- Peach, D. W. et Wheeler, H. S., 2017. L'évolution du Silala, de son bassin versant et de sa gorge. (Vol. 1, rapport d'experts 2)
- SERNAGEOMIN, 2017. Geology of the Silala River Basin. (Vol. 5, annexe VIII)
- Suárez, F., Muñoz, J. F., Mendoza, M., Maass, T., 2017. Evapotranspiration Estimation in the Silala River Basin, Methods Review and Estimation of Wetland Evaporation. (Vol. 5, annexe IX)
- Suárez, F., Sandoval, V., Sarabia, A., 2017. River-Aquifer Interactions Using Heat as a Tracer in the Transboundary Basin of the Silala River. (Vol. 5, annexe X)
-

RAPPORT D'EXPERTS 2

Peach, D. W. et Wheeler, H. S.,

L'évolution du Silala, de son bassin versant et de sa gorge

L'ÉVOLUTION DU SILALA, DE SON BASSIN VERSANT ET DE SA GORGE

Denis Peach et Howard Wheeler

Mai 2017

A PROPOS DES AUTEURS

Denis Peach

Denis Peach a dirigé pendant neuf ans le programme du British Geological Survey (institut britannique d'études géologiques (BGS)) portant sur les eaux souterraines puis a travaillé six ans comme scientifique en chef pour cet institut. Cet hydrogéologue aux nombreux centres d'intérêts scientifiques est fort de 44 années d'expérience professionnelle qu'il a notamment consacrées à travailler pour une administration des eaux au Royaume-Uni, à effectuer des missions à l'étranger pour étudier les milieux hydrogéologiques tropicaux et l'hydrogéologie des petites îles et à collaborer avec des consultants internationaux dans le domaine de l'hydrogéologie des zones arides. Il s'intéresse particulièrement à la modélisation des eaux souterraines, sur laquelle il a travaillé au sein du BGS, ainsi qu'à l'hydrogéologie des zones arides et à l'hydrogéologie karstique. Il a été vice-président de la société géologique de Londres (GSL) et professeur invité à l'Imperial College London et à l'Université de Birmingham ; il a eu l'honneur de présenter la conférence Ineson à la GSL. Il mène actuellement des travaux de recherche avec le BGS et l'Imperial College London et conseille l'Université de la Saskatchewan ainsi que des consultants en ingénierie britanniques.

Howard Wheeler

Howard Wheeler est titulaire d'une chaire d'excellence en recherche du Canada sur la sécurité de l'eau, directeur du Global Institute for Water Security à l'Université de la Saskatchewan, ainsi que chargé de recherche de classe exceptionnelle et professeur émérite d'hydrologie à l'Imperial College London. Eminent spécialiste des sciences et de la modélisation hydrologiques, il a publié plus de 200 articles revus par un comité de lecture et 6 livres. Il est membre de la Royal Academy of Engineering et de l'American Geophysical Union et lauréat du prix international du prince Sultan bin Abdulaziz pour l'eau. Il a lancé et dirigé des programmes de recherche nationaux et internationaux au Royaume-Uni et au Canada, et a conseillé des Etats, provinces et gouvernements nationaux sur des questions liées aux crues, aux ressources hydriques et à la qualité de l'eau. Il a représenté la Hongrie et l'Argentine devant la Cour internationale de Justice et a récemment siégé dans un tribunal international d'arbitrage établi conformément au traité sur les eaux de l'Indus. Il était jusqu'en 2014 vice-président du projet intitulé «Expérience mondiale sur les cycles de l'énergie et de l'eau» (GEWEX) du programme mondial de recherche sur le climat et dirige le réseau d'information de l'UNESCO sur l'eau et le développement dans les zones arides (GWADI). Au Canada, il est à la tête du réseau Changing Cold Regions Network, axé sur l'analyse et la prédiction des changements hydrologiques dans l'ouest du Canada, et du Global Water Futures Program, consacré à la gestion de l'avenir de l'eau au Canada et dans d'autres régions froides, où le réchauffement planétaire modifie les paysages, les écosystèmes et le milieu aquatique. En sa qualité de président du groupe d'experts sur la gestion durable de l'eau dans les paysages agricoles du Canada, rattaché au conseil des académies canadiennes, il a supervisé la publication d'un rapport, paru en février 2013, intitulé «Water and Agriculture in Canada : Towards Sustainable Management of Water Resources».

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1. INTRODUCTION.....	122
1.1. Cahier des charges de l'expertise	122
1.2. Informations générales.....	122
1.3. Structure du rapport	123
1.4. L'emplacement du Silala	123
2. RÉSUMÉ DES CONSTATATIONS	127
3. L'ÉVOLUTION DU SILALA, DE SA GORGE ET DE SON BASSIN VERSANT À L'ÉCHELLE DES TEMPS GÉOLOGIQUES	129
4. LA GÉOLOGIE DU SILALA, DE SA GORGE ET DE SON BASSIN VERSANT JUSQU'À LA FIN DU PLÉISTOCÈNE (12 000-11 000 ANS BP).....	134
5. LA FORMATION DU SILALA ET DE SA GORGE AU COURS DES 11 000 À 12 000 DERNIÈRES ANNÉES (LATORRE ET FRUGONE, 2017).....	142
6. LES TÉMOINS DE L'ACTIVITÉ HUMAINE DANS LES ENVIRONS DU SILALA ET DE SA GORGE (McROSTIE, 2017)	146
7. LES PROCESSUS D'ÉROSION ET DE SÉDIMENTATION FLUVIATILES, GLACIAIRES ET ÉOLIENS À L'ŒUVRE DANS LA GORGE DU SILALA	148
8. CONCLUSIONS	151
9. RÉFÉRENCES	156

Liste des figures

Figure	Titre	Page
1-1	Le Loa et ses principaux affluents.....	126
1-2	Le Silala (drainage pérenne en bleu et cours d'eau épisodiques en pointillé bleu), la surface du bassin versant (délimitée en noir) et quelques-unes des principales entités physiographiques situées à l'intérieur et autour du bassin versant	127
1-3	Coupes diverses du Silala et de sa gorge. A) Gorge du Silala (cachée par la végétation), vue vers l'amont depuis une position surplombant sa jonction avec Quebrada Negra qui l'alimente ; B) Silala à la station hydrométrique de la DGA à proximité de la frontière internationale, vue vers l'amont ; C) vue vers l'amont à la jonction avec Quebrada Negra	128
3-1	Représentation schématique de l'évolution géologique et géomorphologique du Silala, de sa gorge et de son bassin versant (SERNAGEOMIN, 2017)	132
3-2	Remplissage sédimentaire de la gorge actuelle du Silala en quatre unités et terrasses associées. Sont indiquées les terrasses T1, T2 et T3 (Latorre et Frugone, 2017). La terrasse T4 se situe plus haut et n'apparaît pas sur la figure. Les dates sont exprimées en années avant le présent, sauf mention EC qui indique les dates de notre ère (Latorre et Frugone, 2017)	135

4-1	Géologie du bassin hydrographique du Silala. A) Carte géologique et coupes ; B) légendes des unités géologiques (SERNAGEOMIN, 2017)	139
4-2	Stratigraphie du bassin versant du Silala (SERNAGEOMIN, 2017, et Arcadis, 2017)	140
4-3	Edifices volcaniques et coulées de lave du Pléistocène inférieur. A) Construction du cône volcanique andésitique du Cerro Inacaliri (Pliv(a)) sur les vestiges des dômes dacitiques du Miocène supérieur-Pliocène (MsPvd) (vue vers le nord-ouest) ; B) coulée de lave andésitique qui remplit partiellement la dépression où se situent les sources donnant naissance au Silala (zone humide Orientales) et s'est épanchée sur l'ignimbrite Silala (Pliis) en territoire bolivien (vue vers le nord-est) (SERNAGEOMIN, 2017).....	141
4-4	La coulée de lave Pliv(a) âgée de 1,48 Ma tronque un paléo-réseau de drainage, l'écoulement se faisant vers l'ouest, et converge vers le cours supérieur de l'actuel Silala, ce qui révèle l'existence d'une paléo-vallée du Silala pendant le Pléistocène inférieur (SERNAGEOMIN, 2017)	142
4-5	Dépôts glaciaires sur le versant nord du bassin hydrographique du Silala. Deux grandes phases de stabilisation des glaces, représentées par deux crêtes morainiques terminales (lignes vertes), sont situées dans le Pléistocène supérieur (environ 40-12 ka BP). La photographie montre la surface plane des alluvions (Pls(a)), le secteur des glaciers et leur relation non génétique avec la gorge du Silala. La lettre B indique l'emplacement de la zone représentée sur la carte (SERNAGEOMIN, 2017)	143
5-1	Diagramme schématique des dépôts fluviaux des unités 1, 2 et 3 (Latorre et Frugone, 2017)	145
5-2	Erosion des unités 3 et 2 (coupe 4.1) et dépôt de l'unité 4 (coupe 4.2), suivi de l'érosion de l'unité 4 (coupe 4.3) (Latorre et Frugone, 2017).....	147
5-3	Identification des terrasses sur le versant est de la gorge du Silala, à 50 m au sud-ouest de la frontière internationale (Arcadis, 2017)	148
6-1	Les sites archéologiques répertoriés dans la gorge du Silala et les terrasses du Silala, y compris le site 17, pour lequel est reproduite une photographie de la pointe de flèche qui y a été découverte (McRostie, 2017)	149
7-1	Vue de la gorge du Silala (A), présentant un profil mixte, en V ou dissymétrique, caractérisé par des versants en pente, correspondant à la rive intérieure de la rivière, et par un versant subvertical, qui marque la rive externe de la rivière (vue vers l'est) ; B) modèle théorique d'écoulement de l'eau dans une rivière sinueuse (SERNAGEOMIN, 2017)	150
7-2	Les marmites d'érosion creusées dans la terrasse supérieure de la gorge du Silala. A) Création de marmites latérales fermées (flèches orange), de marmites latérales coalescentes (flèche bleue) et de marmites ouvertes dans le lit d'un paléo-chenal (flèches rouges) ; B) vue rapprochée d'une marmite située au bas d'un ancien chenal ; C) vue rapprochée d'une marmite latérale fermée creusée dans les parois de l'escarpement ; on observe l'érosion circulaire différenciée vers le fond de la cavité, causée par un fragment lithique de plus petite taille dans l'ignimbrite Silala (échelle centimétrique) (SERNAGEOMIN, 2017)	151
7-3	Formations perchées concaves ou <i>cavettos</i> creusés par l'action érosive de la rivière. A) Cours moyen du Silala (entre le poste de police d'Inacaliri et la frontière internationale), où l'on distingue la formation de <i>cavettos</i> ou alcôves (lignes bleues) à l'aplomb de la surface actuelle du lit de la rivière, associés à des concrétions calcaires de caliche (calcrete) visibles sur la pente nord de la gorge ;	152

B) à quelques centaines de mètres en amont du poste de police d’Inacaliri, sur la pente sud de la gorge, on distingue la formation d’au moins deux *cavettos* bien conservés (lignes bleues), associés à des marmites latérales fermées et à des marmites de fond ouvertes (flèches orange) ; C) exemple actuel de formation de *cavettos* dans la rivière des Fairy Pool en Ecosse (SERNAGEOMIN, 2017).....

7-4 Les effets mineurs de l’érosion éolienne sur les parois ignimbritiques de la gorge du Silala. A) Piliers et niches présentant également des dépôts sableux éoliens accumulés à la base de la paroi ; B) surface abrasée par des grains de sable, indiquant la direction préférentielle du vent ; C) formes d’usure en relief et creux sur les surfaces ayant une exposition frontale à oblique au vent ; D) vue rapprochée d’une niche ovale contenant encore du sable (SERNAGEOMIN, 2017) 153

8-1 Topographie 3D et courbes de niveau caractérisant le bassin hydrographique du Silala (Alcayaga, 2017) 156

8-2 Profil longitudinal du Silala et de ses principaux affluents, extrait de la carte MNT 5 m (Alcayaga, 2017) 157

[Liste des acronymes non traduite]

1

1. INTRODUCTION

1.1. Cahier des charges de l'expertise

Dans le contexte du différend concernant le statut et l'utilisation des eaux du Silala qui oppose la République du Chili à l'Etat plurinational de Bolivie et a été porté devant la Cour internationale de Justice, la République du Chili a sollicité notre opinion d'experts indépendants sur les questions suivantes :

«Questions posées à M. Howard Wheeler, ingénieur hydrologue :

- i) Les eaux du Silala forment-elles un système d'eaux de surface et d'eaux souterraines constituant, du fait de leurs relations physiques, un ensemble unitaire et aboutissant normalement à un point d'arrivée commun, et dont les parties se trouvent dans des Etats différents ? Dans l'affirmative, quelle est, selon vous, la direction naturelle de l'écoulement ?
- ii) Pour autant que vous considérez qu'il existe actuellement un système fluvial actif dans le bassin versant du Silala, quels sont les éléments de preuve qui permettent, selon vous, d'établir ce fait ?
- iii) Quel est l'effet, s'il y en a un, de la chenalisation de l'écoulement en territoire bolivien sur le cours d'eau pénétrant en territoire chilien depuis la Bolivie ?

Questions posées à M. Denis Peach, hydrogéologue :

- i) Les eaux du Silala forment-elles un système d'eaux de surface et d'eaux souterraines constituant, du fait de leurs relations physiques, un ensemble unitaire et aboutissant normalement à un point d'arrivée commun, et dont les parties se trouvent en Bolivie et au Chili ? Dans l'affirmative, quelle est, selon vous, la direction naturelle de l'écoulement ?
- ii) Quels événements géologiques, géomorphologiques et/ou autres ont façonné la gorge du Silala dans sa forme actuelle ?
- iii) Les témoins géologiques, géomorphologiques et autres qui sont présents révèlent-ils l'existence historique d'un système fluvial dans le bassin versant du Silala ?»

2

Dans le présent rapport, nous examinons les questions ii) et iii) posées à M. Peach.

1.2. Informations générales

En mai 2016, à la demande de la République du Chili, M. Wheeler s'est rendu sur le terrain pour observer le Silala et a indiqué que, selon son opinion professionnelle, celui-ci était sans l'ombre d'un doute un cours d'eau international au sens où il interprétait cette expression¹. Bien que l'examen des cartes, images et données d'écoulement et la visite sur le terrain soient suffisants pour confirmer cet avis, il a recommandé au Chili de solliciter également l'opinion professionnelle d'un hydrogéologue et de commander des études scientifiques afin de mieux comprendre l'évolution géologique et géomorphologique de la rivière et sa dynamique actuelle, y compris les interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines. M. Peach a par la suite été invité à

¹ Nous notons que les écoulements du Silala sont relativement faibles, si bien que les termes «cours d'eau» et «rivière» pourraient être tous deux considérés comme appropriés en l'espèce.

donner ses opinion et avis professionnels et, après avoir étudié les cartes, images et données d'écoulement ainsi que les données et rapports hydrogéologiques et géologiques, il a rendu son avis sur le déroulement du programme de surveillance et d'investigation. Une équipe chilienne d'experts scientifiques a été constituée, sous la conduite de M. José Muñoz, ingénieur civil et professeur à la faculté de génie civil de l'Université pontificale catholique du Chili. Cette équipe, dirigée par M. Muñoz et placée sous la supervision technique de MM. Wheeler et Peach, a entrepris une série d'études intensives d'observation et de surveillance, qui sont en cours. Après une visite sur le terrain et des investigations continues en octobre 2016, M. Peach a confirmé l'avis selon lequel le Silala est effectivement un cours d'eau international. Les résultats détaillés obtenus à ce jour dans le cadre de ces études sont présentés dans un ensemble de rapports techniques, joints dans les annexes I à X. Dans le présent rapport, nous résumons, au bénéfice de la Cour, les principales constatations publiées dans ces rapports techniques et remettons notre opinion conjointe.

3

1.3. Structure du rapport

La section 1 du présent rapport donne des informations sur le contexte du rapport, décrit l'économie de celui-ci et précise l'emplacement du Silala, de sa gorge et de son bassin versant. La section 2 résume les principales constatations dressées dans le rapport. La section 3 propose une description de l'évolution géologique du Silala, de sa gorge et de son bassin versant, tandis que la section 4 dépeint succinctement la géologie du bassin versant, laquelle offre la base nécessaire pour retracer son évolution. La section 5 porte sur la formation de la gorge actuelle et les sédiments qui y ont été déposés pendant environ 8000 à 12 000 ans. La section 6 expose dans les grandes lignes les preuves archéologiques de l'occupation humaine aux abords du Silala. On trouvera ensuite à la section 7 l'appréciation des preuves, de la pertinence et de l'importance des processus d'érosion et de sédimentation fluviales, glaciaires et éoliens qui se sont produits dans le bassin versant du Silala. La section 8 livre quelques conclusions, ainsi que des éléments de réponse aux questions suivantes :

- a) Quels événements géologiques, géomorphologiques et/ou autres ont façonné la gorge du Silala dans sa forme actuelle ?
- b) Les témoins géologiques, géomorphologiques et autres qui sont présents révèlent-ils l'existence historique d'un système fluvial dans le bassin versant du Silala ?

Le rapport donne à voir *a)* comment le Silala, son bassin versant et sa gorge ont évolué à l'échelle des temps géologiques, et *b)* leur histoire plus récente et la formation de l'entité paysagère qu'ils constituent aujourd'hui.

Si le présent rapport reflète l'opinion conjointe des experts, c'est M. Peach qui est l'auteur principal de toutes les sections de l'ouvrage.

1.4. L'emplacement du Silala

Le Silala prend sa source en Bolivie et s'écoule jusqu'à la région d'Antofagasta au Chili. C'est l'un des principaux affluents du San Pedro. Ce dernier rejoint ensuite le Loa, plus grand fleuve du Chili (440 km de long) et principal cours d'eau de la région du désert d'Atacama qui se jette dans l'océan Pacifique (figure 1-1).

4



Figure 1-1
Le Loa et ses principaux affluents

5 Une rivière est généralement définie par son bassin versant topographique, c'est-à-dire l'espace où les eaux sont collectées et drainées vers un point donné du lit de la rivière². Pour déterminer le bassin versant, nous partons d'un point de la rivière situé à 4,9 km en aval de la frontière

² Les précipitations reçues par le bassin versant topographique et drainées par gravité, sous forme de ruissellement ou d'écoulement hypodermique, suivent les pentes topographiques de la rivière. Toutefois, lorsque les eaux souterraines fournissent des apports à une rivière, la zone de recharge de l'aquifère peut différer du bassin versant topographique et les directions d'écoulement des eaux souterraines ne sont pas nécessairement conformes aux pentes topographiques.

chilo-bolivienne³, ce qui nous donne une superficie totale de 95,5 km². La figure 1-2 représente le bassin versant et les principales caractéristiques du réseau hydrographique. Les courbes de niveau et le réseau hydrographique montrent clairement que les eaux sont drainées en direction du sud-ouest de la Bolivie jusqu'au Chili en traversant la frontière internationale (Alcayaga, 2017) — voir aussi la section 8 ci-dessous. Nous notons que la rivière prend naissance dans des sources souterraines, situées dans les zones humides Cajones et Orientales en Bolivie, qui assurent son écoulement pérenne à la frontière internationale. A courte distance des sources des zones humides Orientales, la rivière pénètre dans une gorge avant d'être rejointe par les écoulements provenant des sources Cajones. A partir de cette jonction, elle coule dans la gorge et traverse la frontière internationale (figure 1-3). Le présent rapport retrace l'héritage géologique du bassin versant et sa contribution au façonnement du paysage et de la géologie observés aujourd'hui. Les auteurs s'intéressent ensuite aux origines et à l'évolution de la gorge, examinant notamment des vestiges d'habitat humain.

6

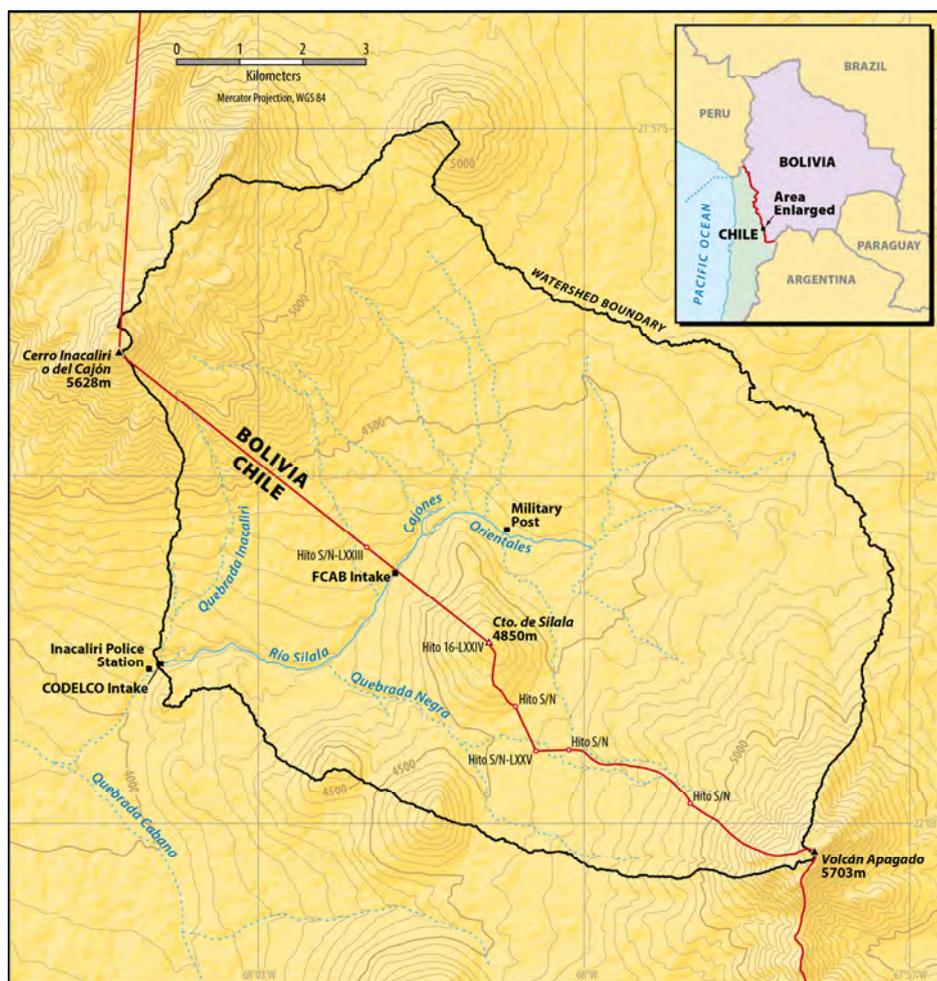


Figure 1-2

Le Silala (drainage pérenne en bleu et cours d'eau épisodiques en pointillé bleu), la surface du bassin versant (délimitée en noir) et quelques-unes des principales entités physiographiques situées à l'intérieur et autour du bassin versant

Légende :

- | | | |
|------------------------------------|---|-----------------------------|
| Inacaliri Police Station | = | Poste de police d'Inacaliri |
| CODELCO Intake | = | Prise d'eau de la CODELCO |
| FCAB Intake | = | Prise d'eau de la FCAB |
| Vertical canal banks Military Post | = | Poste militaire |

³ Coordonnées UTM : 596,453 E ; 7,563,039 N, datum WGS 84-19S.

7



Figure 1-3

Coupes diverses du Silala et de sa gorge. A) Gorge du Silala (cachée par la végétation), vue vers l'amont depuis une position surplombant sa jonction avec Quebrada Negra qui l'alimente ; B) Silala à la station hydrométrique de la DGA à proximité de la frontière internationale, vue vers l'amont ; C) vue vers l'amont à la jonction avec Quebrada Negra

8

2. RÉSUMÉ DES CONSTATATIONS

La cartographie détaillée de la géologie du bassin versant du Silala et de ses environs, l'étude des sédiments déposés dans la gorge du Silala, la mise au jour de sites archéologiques le long de la gorge et l'observation de marques de différents types de processus géologiques de dépôt et d'érosion sédimentaires ont permis de comprendre l'évolution du paysage et de la morphologie du bassin versant du Silala et de sa gorge sur environ six millions d'années.

Nous montrons que :

- 1) une activité fluviale existait dans une vallée antérieure plus ou moins alignée sur le cours actuel du Silala il y a 1 à 2 millions d'années. Cet intervalle de temps a été déterminé par datation radiométrique des roches volcaniques reposant sur et sous les premiers sédiments fluviaux. Ces sédiments ont été déposés dans une vallée, qui a été plus tard remplie par des dépôts volcaniques.
- 2) l'incision de la gorge actuelle du Silala a démarré avant environ 8400 ans BP (Before Present, avant le présent) et probablement dès 11 000 à 12 000 ans BP. La gorge où s'écoule aujourd'hui le Silala se forme le long du trajet actuel de la rivière depuis plus de 8400 ans environ. Au cours de cette période, la rivière a déposé des sédiments (et alimenté une végétation), puis les a érodés au moins quatre fois. Cette alternance a généré quatre terrasses bien visibles et quatre séquences différentes d'accumulation sédimentaire.
- 3) les périodes de dépôt et d'érosion ont été causées par des variations des régimes climatiques qui ont induit des changements dans le niveau piézométrique des eaux souterraines. Il est considéré que l'abaissement des niveaux piézométriques a modifié le régime d'écoulement de la rivière et causé la mort de la végétation des zones humides, tandis que les importants écoulements ultérieurs ont provoqué l'érosion et l'incision de la gorge ; l'élévation de ces mêmes niveaux a favorisé la croissance de la végétation hygrophile et le piégeage des sédiments lors de l'écoulement des eaux vers l'aval.
- 9 4) une somme considérable de preuves de l'érosion fluviale et du dépôt de sédiments a été recueillie et consignée pour la gorge du Silala. Des marques de l'érosion éolienne et d'accumulations mineures de sables transportés par le vent y ont été mises au jour, mais l'incidence de cette forme d'érosion sur la formation de la gorge est minime.
- 5) si l'action glaciaire a joué un rôle dans la formation du paysage à haute altitude, aucune marque de l'action ou de dépôts glaciaires n'a été découverte en dessous de 4400 mètres au-dessus du niveau de la mer. La formation de la gorge (à environ 4000-4300 m d'altitude) n'a pas été causée par l'érosion glaciaire.
- 6) des vestiges archéologiques montrent que le Silala et sa gorge sont fréquentés par l'homme depuis au moins 1500 ans, et sans doute davantage. Cette présence s'explique très probablement par la présence fiable de ressources en eau et de ressources alimentaires associées.

Nous examinons de manière synthétique les deux questions qui nous ont été posées par le Chili, telles que rappelées ci-dessus. De plus amples détails sont fournis dans le rapport complet qui suit :

ii) Quels événements géologiques, géomorphologiques et/ou autres ont façonné la gorge du Silala dans sa forme actuelle ?

10

Pendant la période comprise environ entre 6 millions et 1,5 million d'années, la surface aujourd'hui occupée par le bassin versant du Silala a été le théâtre d'épisodes volcaniques associés à la collision entre la plaque tectonique océanique à l'ouest (sous l'océan Pacifique) et la plaque continentale sud-américaine. L'activité volcanique qui en a résulté a façonné le paysage, provoquant notamment la formation du Cerro Inacaliri o del Cajón (ci-après «Cerro Inacaliri»), du Cerrito de Silala et du volcan Apagado, qui sont autant d'éléments dominants de la morphologie du bassin versant (figure 1-2). Les roches basales observées sous la gorge du Silala, appelées ignimbrites, ont été mises en place par des éruptions volcaniques explosives émettant des coulées de fragments de roche, de gouttelettes de roches fondues et de gaz chauds qui ont emprunté la pente topographique actuelle à grande vitesse. La première de ces formations (ignimbrite Cabana) est le fruit d'un événement très vaste et intense qui a touché une grande partie de l'Altiplano et auquel a succédé une première période d'activité fluviale, qui a érodé une vallée dans l'ignimbrite et laissé des dépôts sédimentaires fluviaux. Au-dessus de ces premiers dépôts fluviaux (datant d'environ 2,6 à 1,5 million d'années), une seconde ignimbrite (ignimbrite Silala) s'est déposée, remplissant probablement la vallée. L'activité volcanique ultérieure a donné naissance à une coulée de lave massive (il y a 1,48 million d'années) émise par le volcan Inacaliri, aujourd'hui appelé Cerro Inacaliri, qui s'est épanchée dans la zone occupée par le cours supérieur du Silala. Cette coulée de lave a tronqué ce qui était alors le réseau de drainage du Silala. L'activité volcanique dans le bassin versant semble s'être interrompue après 1,48 million d'années, et les événements majeurs ultérieurs qui ont eu une incidence sur la morphologie du bassin versant sont associés à l'englaciation des sommets, au-dessus de 4400 mètres au-dessus du niveau de la mer. Il n'existe aucune marque d'érosion glaciaire ou de dépôts glaciaires au niveau ou au sein de la gorge actuelle du Silala. Le creusement de la gorge, telle qu'elle existe aujourd'hui, a commencé il y a 8400 à 12 000 ans. La datation par radiocarbone a montré l'existence de sédiments qui ont été déposés dans la gorge par le système hydrographique actuel du Silala et sont vieux de plus de 8400 ans environ. La rivière a commencé à creuser la gorge dès avant cette période, probablement en conséquence de la fonte des glaciers, il y a environ 12 000 ans, qui a provoqué d'importants ruissellements et une augmentation du débit de la rivière, et celle-ci poursuit son œuvre selon un cycle d'érosion et de sédimentation répondant aux variations des régimes climatiques.

iii) Les témoins géologiques, géomorphologiques et autres qui sont présents révèlent-ils l'existence historique d'un système fluvial dans le bassin versant du Silala ?

11

Les sédiments déposés par les systèmes fluviaux se sont accumulés il y a environ 1,5 million d'années, comme l'attestent les dépôts fluviaux découverts sur la première ignimbrite (Cabana) et sous la seconde ignimbrite (Silala). Il y a environ 1,48 million d'années, la coulée de lave du volcan Inacaliri s'est avancée dans la zone aujourd'hui occupée par les zones humides Orientales en Bolivie (après le dépôt de l'ignimbrite Silala) et a tronqué le réseau de drainage qui existait alors. On observe quatre séquences sédimentaires dans la gorge actuelle du Silala. Selon les datations effectuées, les plus anciennes matières organiques de ces sédiments fluviaux auraient environ 8400 ans et les plus récentes remonteraient à la fin du XX^e siècle, ce qui montre que le système fluvial actuel est actif depuis au moins 8400 ans et que le cycle d'érosion et de sédimentation se poursuit encore à ce jour. Il y a de nombreuses marques de l'érosion fluviale sur les parois de la gorge. On trouve quatre terrasses incisées par l'eau et quatre séquences de dépôts sédimentaires de plusieurs mètres d'épaisseur. Ces dépôts comprennent du sable, des graviers, des limons et des vestiges organiques des zones humides. Les versants de la gorge présentent quelques marques d'érosion éolienne et l'on trouve quelques dépôts sableux éoliens, mais ces éléments restent mineurs et ne sauraient avoir eu d'incidence notable sur la formation de la gorge. Les études archéologiques ont permis de mettre au jour des artefacts et des abris ou des habitats temporaires le long du cours de la rivière, principalement sur les trois terrasses hautes. Ces vestiges sont la preuve

que l'homme utilise la rivière et son cours depuis au moins 1500 ans. Il ne fait aucun doute que les témoins géologiques, géomorphologiques et autres confirment clairement l'existence historique d'un système fluvial dans le bassin versant du Silala. La gorge moderne, créée par l'action fluviale, existe depuis plus de huit millénaires.

3. L'ÉVOLUTION DU SILALA, DE SA GORGE ET DE SON BASSIN VERSANT À L'ÉCHELLE DES TEMPS GÉOLOGIQUES

12 *Dans la présente section, nous expliquons l'évolution du Silala, de son bassin versant et de sa gorge, en précisant comment le système s'est façonné dans sa forme et sa géographie actuelles. Nous revenons sur les grands événements géologiques qui ont modelé le bassin versant et la gorge du Silala à l'échelle des temps géologiques, sur la période allant d'environ 6 millions d'années avant le présent à aujourd'hui. Nous constatons que des dépôts fluviaux se sont accumulés dans le bassin versant entre environ 2,6 millions et 1,5 million d'années avant le présent et qu'il existait il y a plus de 1,48 million d'années, dans la zone occupée par le cours supérieur de l'actuel Silala, un système hydrographique qui a été tronqué par une coulée de lave. Nous montrons que le creusement de la gorge actuelle du Silala a commencé il y a plus de 8400 ans environ et que le cycle d'érosion et de sédimentation se poursuit à ce jour.*

La géologie du bassin hydrographique du Silala a été formée par une succession d'événements et de processus volcaniques, tectoniques (mouvements structurels) et sédimentaires qui se sont produits ces 5 à 6 derniers millions d'années (SERNAGEOMIN, 2017 ; Latorre et Frugone, 2017 ; Arcadis, 2017).

La formation du bassin versant du Silala a commencé environ 5,8 millions d'années avant le présent (Ma BP) et se poursuit à ce jour. Le profil géologique de base de la gorge du Silala s'était déjà formé à la fin de la dernière période glaciaire, environ 12 000 ans avant le présent (12 ka BP). Le creusement de la gorge du Silala a débuté entre 8,5 et 12 ka BP et les cycles de sédimentation et d'érosion qui caractérisent la morphologie et le remplissage sédimentaire observés dans la gorge sont toujours à l'œuvre (Latorre et Frugone, 2017 ; SERNAGEOMIN, 2017).

13 La géologie consolidée du bassin versant du Silala est, comme une grande partie de l'Altiplano, dominée par la présence de roches volcaniques. Le volcanisme de la région et la formation à haute altitude de la cordillère des Andes s'expliquent par la collision de deux plaques tectoniques. La plaque océanique à l'ouest (sous l'océan Pacifique) plonge sous la plaque continentale sud-américaine, car elle est plus dense, étant formée de roches basiques telles que le basalte. Alors qu'elles s'enfoncent dans le manteau terrestre, ces roches entrent en fusion, deviennent moins denses et remontent dans la plaque continentale, plus légère et composée de roches plus acides telles que le granite. Le «magma» ascendant atteint parfois la surface terrestre et il se forme alors un volcan. Si les roches sont acides, le volcan tend à être très explosif et à rejeter des cendres et des roches en fusion dans l'atmosphère. Ce type de processus peut donner lieu à des coulées pyroclastiques, à savoir des écoulements de gouttelettes de roches fondues, de fragments de roches et de cendres, entretenus et fluidisés par des gaz chauds, de sorte que l'ensemble s'écoule comme un liquide. Les coulées pyroclastiques se produisent à haute température (plus de 350 °C) et descendent le long de la pente topographique à des vitesses pouvant aller jusqu'à 100 km par heure et parfois même plus. Lorsqu'elles refroidissent et se consolident, elles forment une roche appelée ignimbrite.

Les âges radiométriques des roches découvertes dans le bassin versant du Silala révèlent qu'au moins deux événements volcaniques majeurs se sont produits ; le plus ancien, datant d'environ 5,8 Ma, s'est poursuivi jusqu'à environ 2,6 Ma et a consisté en une longue période de volcanisme à dominante acide, caractérisé notamment par la mise en place de volcans, de dômes et de cheminées volcaniques, ainsi que l'extrusion de laves (figure 3-1, coupe 1). Au cours de cette période d'intense activité volcanique, une très grande éruption à l'est a généré le dépôt d'une

ignimbrite (Cabana), datée d'environ 4,12 Ma dans le bassin versant du Silala (figure 3-1, coupe 2). Cette formation est l'un des effets d'une éruption ou d'une succession d'éruptions volcaniques volumineuses, explosives et massives qui ont touché cette région de l'Altiplano (SERNAGEOMIN, 2017). Par la suite, plusieurs volcans et cheminées volcaniques se sont formés à travers et sur l'ignimbrite Cabana. L'activité volcanique s'est poursuivie et a conduit à la première phase de formation du volcan Inacaliri. Les produits libérés lors des éruptions de ces volcans étaient principalement des coulées de lave et des dômes de lave. C'est ainsi qu'est apparu le premier relief positif de la zone (Cerro Inacaliri et Cerrito de Silala). Ensuite, pendant le Pliocène supérieur et le Pléistocène inférieur (environ 2,6 Ma-1,5 Ma), la déformation tectonique locale en compression a ouvert des failles qui ont découvert et incliné les dépôts ignimbritiques Cabana (figure 3-1, coupe 3). On trouve des témoins datés de cette période, attestant l'érosion et les dépôts fluviaux, notamment des limons et des dépôts sableux, à proximité du poste de police d'Inacaliri (figure 1-2), et des dépôts de débris et de vase découverts en profondeur dans des carottes de forage prélevées dans un site à quelques mètres en aval de la frontière internationale sous la gorge du Silala. Ces dépôts peuvent être considérés comme le fruit de la première phase de formation du Silala, que l'on pourrait qualifier de proto-Silala (figure 3-1, coupe 4, Silala 1) (SERNAGEOMIN, 2017).

14

OUTLINE OF THE GEOLOGICAL AND MORPHOLOGIC EVOLUTION OF THE SILALA RIVER AREA

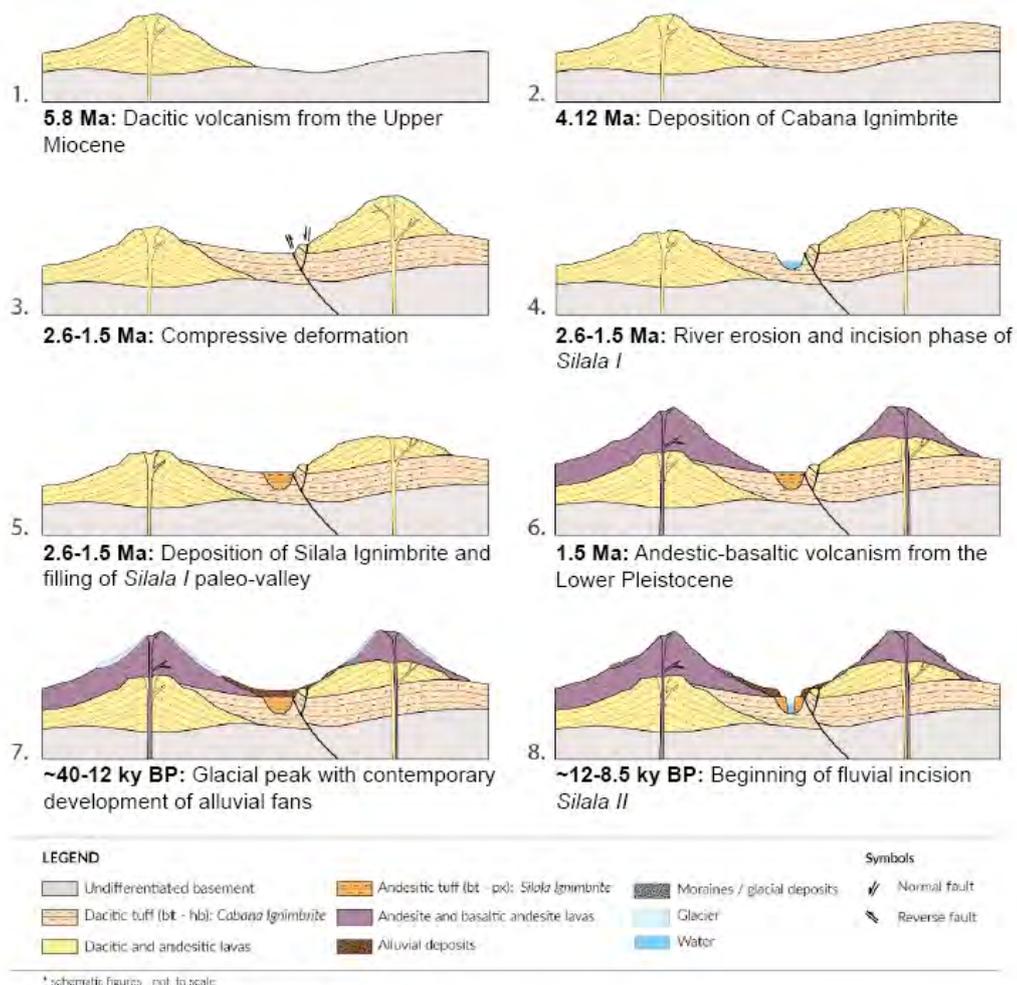


Figure 3-1
Représentation schématique de l'évolution géologique et géomorphologique du Silala, de sa gorge et de son bassin versant (SERNAGEOMIN, 2017)

Légende :

Coupe 1	=	5,8 Ma : Volcanisme dacitique du Miocène supérieur
Coupe 2	=	4,12 Ma : Dépôt de l'ignimbrite Cabana
Coupe 3	=	2,6-1,5 Ma : Déformation en compression
Coupe 4	=	2,6-1,5 Ma : Phase d'érosion fluviale et d'incision du Silala I
Coupe 5	=	2,6-1,5 Ma : Dépôt de l'ignimbrite Silala et remplissage de la paléo-vallée du Silala I
Coupe 6	=	1,5 Ma : Volcanisme andésitique-basaltique du Pléistocène inférieur
Coupe 7	=	~ 40-12 ka BP : Pic glaciaire et formation contemporaine de cônes alluviaux
Coupe 8	=	~ 12-8,5 ka BP : Début de l'incision fluviale Silala II
Undifferentiated basement	=	Socle indifférencié
Dacitic tuff (bt – hb) : Caban Ignimbrite	=	Tuf dacitique (bt – hb) : ignimbrite Cabana
Dacitic and andesitic lavas	=	Laves dacitiques et andésitiques
Andesitic tuff (bt – px) : <i>Silala ignimbrite</i>	=	Tuf andésitique (bt – px) : ignimbrite Silala
Andesite and basaltic andesite lavas	=	Laves andésitiques et andésitiques basaltiques
Alluvial deposits	=	Alluvions
Moraines/glacial deposits	=	Moraines/dépôts glaciaires
Glacier	=	Glacier
Water	=	Eau
Normal fault	=	Faïlle normale
Reverse fault	=	Faïlle inverse

* Ces coupes schématiques ne sont pas représentées à l'échelle.

15

Dans la paléo-vallée du proto-Silala (contrainte par le Cerro Inacaliri, le Cerrito de Silala et le volcan Apagado), au cours de la même période, une seconde ignimbrite moins étendue, appelée ignimbrite Silala, a été déposée lorsqu'une coulée pyroclastique s'est épanchée dans la vallée du proto-Silala. Cette ignimbrite s'amincit à l'ouest, de sorte qu'on suppose qu'elle est née à l'est dans le territoire correspondant à l'actuelle Bolivie, mais elle est susceptible d'avoir plus ou moins rempli la vallée. De par leur nature, les coulées pyroclastiques, constituées de gouttelettes de roches fondues ou de fragments de roches soutenus par des gaz chauds, ont dû se déplacer à grande vitesse en suivant la pente topographique depuis leur point de formation jusqu'à la vallée relativement nouvelle du proto-Silala (figure 3-1, coupe 5).

Ensuite, l'activité volcanique a provoqué la formation de nouveaux édifices volcaniques sur les volcans Inacaliri et Apagado et le dépôt d'une vaste coulée de lave sur le versant est du volcan Inacaliri. La coulée s'est répandue dans le cours supérieur du proto-Silala, tronquant le réseau de drainage précédemment établi (figure 3-1, coupe 6) (SERNAGEOMIN, 2017).

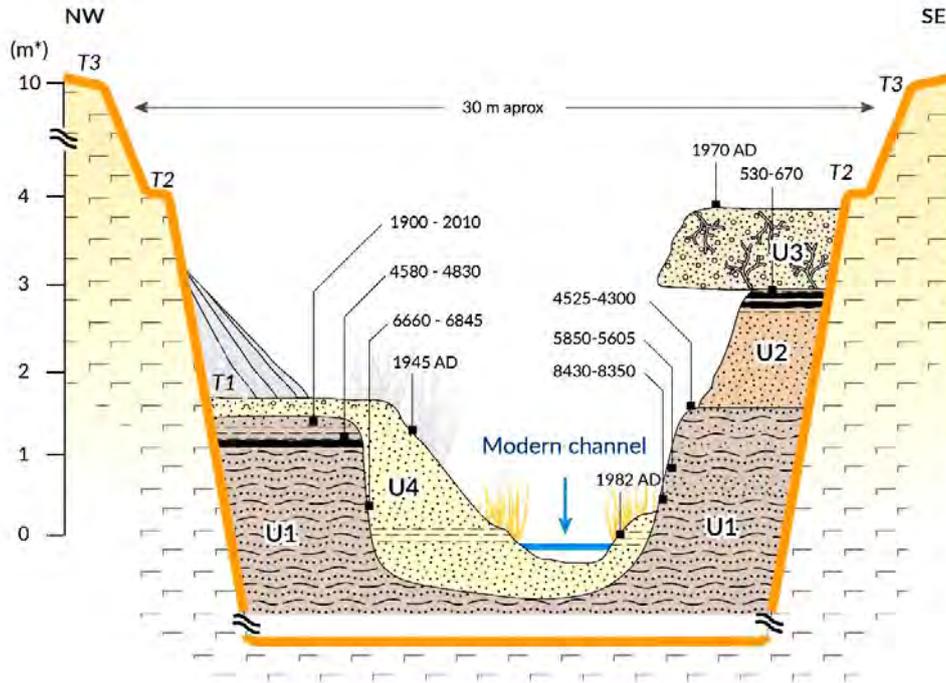
Après l'extrusion de cette coulée de lave, l'activité volcanique et sédimentaire semble s'être interrompue dans le bassin versant, où l'on ne trouve aucun affleurement de dépôts dont l'âge radiométrique est inférieur à 1,48 Ma jusqu'au Pléistocène supérieur (environ 40 à 12 ka BP). C'est au cours de cette période que s'est produit le dernier maximum glaciaire de la période glaciaire la plus récente. Les glaciers qui ont occupé et incisé les vallées dans les plus hauts reliefs de la zone ont finalement commencé à se retirer vers 11-12 ka BP. Leur existence est établie par la présence de moraines dites terminales et latérales, formées par l'action érosive de la glace. Ces moraines se trouvent à des niveaux supérieurs à environ 4400 mètres au-dessus du niveau de la mer sur le versant du Cerro Inacaliri. On peut observer des dépôts de cônes alluviaux interdigités avec des moraines glaciaires au pied du versant (figure 3-1, coupe 7). Ces formations sont contemporaines car elles sont le résultat de l'épandage fluvioglaciaire entraîné par la fonte des glaciers. Les dernières preuves de l'activité volcanique, datant d'environ 11,5 ka, se trouvent dans les fins dépôts de cendres volcaniques émises par l'éruption du volcan San Pedro (20 km à l'est du poste de police d'Inacaliri) (SERNAGEOMIN, 2017).

16

Après cette date, la géomorphologie «moderne» du Silala, ses dépôts et sa gorge ont commencé à s'établir (figure 3-1, coupe 8). La datation au radiocarbone indique que le Silala est actif depuis au moins 84 ka BP environ (Latorre et Frugone, 2017). L'activité fluviale de cette seconde phase de formation du Silala a alterné périodes érosives et périodes de sédimentation et a laissé pour témoins quatre terrasses fluviales cartographiées (marques d'érosion) et quatre unités stratigraphiques sédimentaires distinctes (voir la figure 3-2) (Latorre et Frugone, 2017). Les matières organiques de ces séquences sédimentaires ont été datées au carbone 14. On dispose ainsi d'une chronologie de l'activité de sédimentation et d'érosion, les premières données remontant à plus de 8400 ans et les plus récentes allant jusqu'à la fin du XX^e siècle.

Des vestiges archéologiques indiquent également que le Silala et sa gorge ont accueilli, au moins sporadiquement, des habitats humains datant de la civilisation précolombienne et d'autres plus récents, ce qui corrobore l'idée que la rivière était une source d'eau appropriée pour le développement de la vie, le pastoralisme et, peut-être, le développement de populations de poissons et d'autres animaux (McRostie, 2017). Parmi les preuves archéologiques disponibles, on trouve d'importants sites précolombiens comprenant des artefacts (dont une pointe de flèche) et des aménagements lithiques temporaires construits dans des grottes et des *cavettos* formés dans la paroi de la gorge sur les trois terrasses supérieures. La forte relation apparente entre les sites archéologiques et l'existence de paléo-zones humides montre la présence d'un lien entre l'eau et les ressources biotiques remontant à au moins 1500 ans.

17



SYMBOLS

- | | |
|--------|---------------------------------------------------|
| Unit 4 | Gravels, sub-rounded to angular cobbles |
| Unit 3 | Massive sand, medium to coarse |
| Unit 2 | Clayey peat, dark brown w/ abundant plant remains |
| Unit 1 | Sandy silts to clay |
| | Ignimbrite bedrock |
| | Modern debris cones |
| | Organic rich layers (black mats) |
| | Radiocarbon dates (example) |

Elevation above modern channel

Figure 3-2

Remplissage sédimentaire de la gorge actuelle du Silala en quatre unités et terrasses associées. Sont indiquées les terrasses T1, T2 et T3 (Latorre et Frugone, 2017). La terrasse T4 se situe plus haut et n'apparaît pas sur la figure. Les dates sont exprimées en années avant le présent, sauf mention EC qui indique les dates de notre ère (Latorre et Frugone, 2017)

Légende :

- | | | |
|---------------------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------|
| Modern channel | = | Lit moderne |
| AD | = | EC |
| Unit | = | Unité |
| Gravels, sub-rounded to angular cobbles | = | Graviers, galets subarrondis à anguleux |
| Massive sand, medium to coarse | = | Sable massif, de grain moyen à grossier |
| Clayey peat, dark brown w/ abundant plant remains | = | Tourbe argileuse brun foncé, comprenant de nombreux vestiges de plantes |

Sandy silts to clay	=	Limons sableux à argileux
Ignimbrite bedrock	=	Substratum ignimbritique
Modern debris cones	=	Cônes de déjection modernes
Organic rich layers (black mats)	=	Couches riches en matières organiques (couches noires)
Radiocarbon dates (example)	=	Dates radiométriques (exemples)
Elevation above modern channel	=	Niveaux mesurés à partir du lit moderne

18

4. LA GÉOLOGIE DU SILALA, DE SA GORGE ET DE SON BASSIN VERSANT JUSQU'À LA FIN DU PLÉISTOCÈNE (12 000-11 000 ANS BP)

Dans la présente section, nous décrivons la géologie du bassin versant du Silala jusqu'à il y a environ 11 000-12 000 ans, en commençant par les dépôts les plus anciens et en caractérisant les roches par ordre d'apparition. Ces informations jettent les bases qui permettent de comprendre la morphologie du bassin versant du Silala, son cours et sa gorge.

A l'échelle régionale, dans un périmètre d'environ 10 à 20 km autour du bassin versant du Silala, il est possible de retracer une succession de processus et épisodes volcaniques qui se sont produits au cours des 12 derniers millions d'années (SERNAGEOMIN, 2017). Parmi les roches les plus anciennes visibles en surface dans cette région, on trouve des séquences ignimbritiques.

Dans le cadre des études et investigations mentionnées dans la section 1.1, des études de cartographie géologique et de datation des roches ont été réalisées par le service national chilien de géologie et des mines (SERNAGEOMIN).

Les affleurements rocheux qui peuvent être observés dans le bassin versant du Silala sont représentés sur la carte géologique reproduite à la figure 4-1 (SERNAGEOMIN, 2017). Ces dépôts rocheux tendent à se concentrer autour des volcans Inacaliri et Apagado. Dans une certaine mesure, les roches «rayonnent» à partir de ces centres volcaniques car elles en sont pour la plupart originaires.

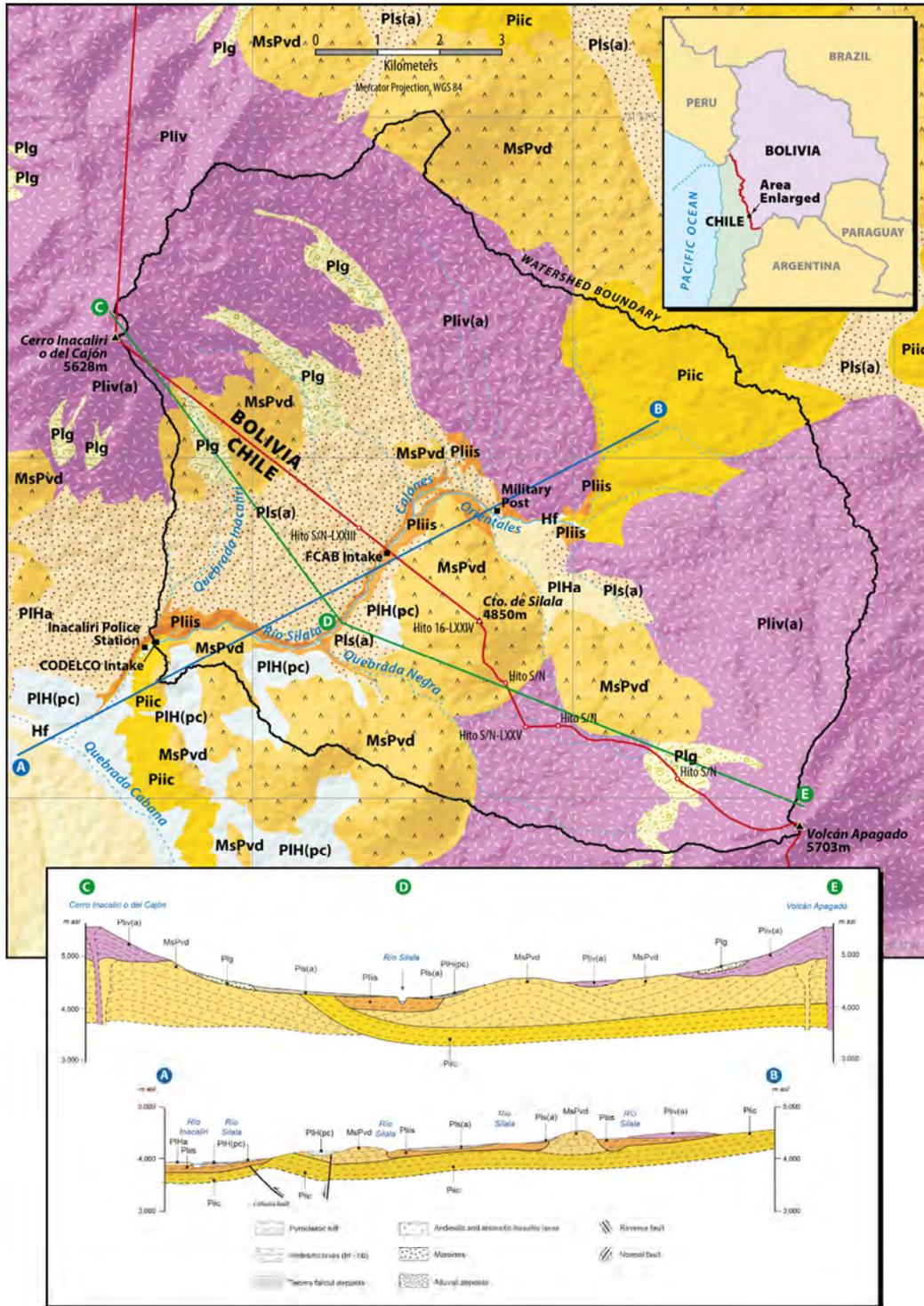
La figure 4-1 montre également deux coupes transversales, l'une suivant à peu près la direction du Silala et l'autre partant du Cerro Inacaliri jusqu'au volcan Apagado, traversant le Silala en un point situé en amont direct de la confluence avec Quebrada Negra (affluent épisodique indiqué à la figure 1-2) (SERNAGEOMIN, 2017). Ces coupes montrent la disposition des divers dépôts rocheux en fonction de la profondeur, ce qui nous donne une idée de la nature tridimensionnelle des formations situées sous la zone aujourd'hui occupée par le bassin versant du Silala.

19

Les positions stratigraphiques des différents dépôts et leurs âges radiométriques, si disponibles, sont indiqués à la figure 4-2 (SERNAGEOMIN, 2017, et Arcadis, 2017). Ce diagramme schématique permet de visualiser l'ordre d'apparition des dépôts, des plus anciens au bas de la colonne aux plus récents en haut (colonne stratigraphique), à l'exception des sédiments trouvés à proximité ou à l'intérieur de la gorge du Silala ; ces derniers sont récents (< 12 000 ans) et sont positionnés schématiquement tels qu'ils se présentent dans la gorge (comme si le côté droit du diagramme constituait la paroi de la gorge) et en regard des terrasses d'érosion incisées par le Silala dans les flancs de la gorge.

Au cours de la période comprise entre environ 5,8 et 2,6 Ma, une série de roches volcaniques, représentées sous forme de séquences volcaniques du Miocène supérieur-Pliocène (MsPvd) sur la figure 4-1, dont des cônes volcaniques, des dômes de lave, des coulées de lave et des brèches autoclastiques, a été mise en place. Il s'agit de roches acides (appelées dacites) qui affleurent sur les bords nord et sud du bassin versant du Silala. Pendant cette période d'activité volcanique extensive, l'ignimbrite Cabana (désignée Piic) a été déposée par une coulée pyroclastique massive et très volumineuse. Ces roches sont les plus anciennes trouvées dans la gorge du Silala et sont datées de $4,12 \pm 0,08$ Ma. La formation déposée s'amincit vers l'ouest et a

probablement été émise par un très grand volcan à l'est du tracé actuel de la frontière internationale. Bien que le dépôt s'amincisse à mesure que l'on avance vers l'ouest, il couvre probablement une zone très vaste de l'Altiplano (dizaines de km²). L'ignimbrite Cabana est interprétée comme affleurante en territoire bolivien, car des roches occupant une position stratigraphique similaire y ont été retrouvées et cartographiées (SERNAGEOMIN, 2017). Ces roches sont recouvertes par l'ignimbrite Silala et par des coulées de lave plus basiques (intermédiaires, appelées andésites) dont l'âge est estimé à $1,48 \pm 0,02$ Ma (SERNAGEOMIN, 2017). Les dômes de lave et les cônes/cheminées volcaniques des séquences volcaniques du Miocène supérieur-Pliocène (vers 5,8-2,6 Ma) sont à l'origine des premiers signes du relief topographique du bassin visibles aujourd'hui (début de la formation du Cerro Inacaliri, du Cerrito de Silala et des Cerros de Silaguala).



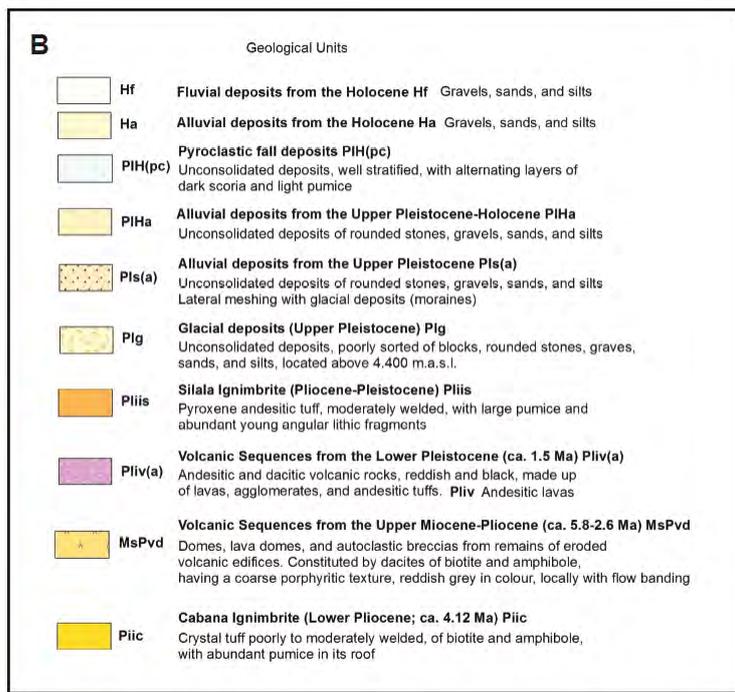


Figure 4-1
Géologie du bassin hydrographique du Silala. A) Carte géologique et coupes ;
B) légendes des unités géologiques (SERNAGEOMIN, 2017)

Légende :

Pyroclastic tuff	=	Tuf pyroclastique
Andesitic lavas (bt – hb)	=	Laves andésitiques (bt – hb)
Tephra fallout deposits	=	Dépôts de retombées de téphras
Andesitic and andesitic-basaltic lavas	=	Laves andésitiques et andésitiques-basaltiques
Moraines	=	Moraines
Alluvial deposits	=	Dépôts alluviaux
Reverse fault	=	Faillle inverse
Normal fault	=	Faillle normale
B		
Geological Units	=	Unités géologiques
Hf	=	Dépôts fluviatiles de l’Holocène Hf Gravieres, sables et limons
Ha	=	Dépôts alluviaux de l’Holocène Ha Gravieres, sables et limons
PIH(pc)	=	Dépôts de retombées pyroclastiques PIH(pc) Dépôts non consolidés, bien stratifiés, alternant couches de scories foncées et ponces légères
PIHa	=	Dépôts alluviaux du Pléistocène supérieur-Holocène PIHa Dépôts non consolidés de pierres arrondies, graviers, sables et limons
Pls(a)	=	Dépôts alluviaux du Pléistocène supérieur Pls(a) Dépôts non consolidés de pierres arrondies, graviers, sables et limons Structure réticulée mêlée latéralement avec des dépôts glaciaires (moraines)
Plg	=	Dépôts glaciaires (Pléistocène supérieur) Plg Dépôts non consolidés mal classés composés de blocs, pierres roulées, graviers, sables et limons, situés à plus de 4400 mètres au-dessus du niveau de la mer
Pliis	=	Ignimbrite Silala (Pliocène-Pléistocène) Pliis Tuf andésitique à pyroxène, modérément soudé, accompagné de grandes ponces et d’abondants fragments lithiques anguleux jeunes
Pliv(a)	=	Séquences volcaniques du Pléistocène inférieur (vers 1,5 Ma) Pliv(a) Roches volcaniques andésitiques et dacitiques, rougeâtres et noires, composées de

		laves, agglomérats et tufs andésitiques	Pliv Laves andésitiques
MsPvd	=	Séquences volcaniques du Miocène supérieur-Pliocène (vers 5,8-2,6 Ma) MsPvd	
		Dômes, dômes de lave et brèches autoclásticas provenant de vestiges d'édifices volcaniques érodés. Constitués de dacites, composées de biotite et amphibole, à la texture porphyrique grossière, de couleur gris rougeâtre, présentant localement un litage de flux	
Piic	=	Ignimbrite Cabana (Pliocène inférieur ; vers 4,12 Ma) Piic	
		Tuf cristallin faiblement à modérément soudé, composé de biotite et amphibole, surplombé d'abondantes ponces au niveau du toit	

22

Des alluvions (non indiquées sur la figure 4-1, car l'affleurement est très petit), datant de la période comprise entre environ 2,5 et 1,5 Ma (Pliocène supérieur-Pléistocène inférieur), apparaissent sous la forme d'un fin dépôt sédimentaire fluvial, dont l'emplacement traduit le dépôt en discordance des sédiments sur l'ignimbrite Cabana (disconformité), mais un contact concordant sous l'ignimbrite Silala. Cette unité affleure en plusieurs endroits à 600 m au sud du poste de police d'Inacaliri et est visible dans la carotte prélevée dans le forage carotté (CB-BO) réalisé à proximité de la frontière internationale (SERNAGEOMIN, 2017, et Arcadis, 2017). Ces dépôts sont à l'origine des plus anciennes roches sédimentaires reconnaissables déposées par l'activité fluviale dans le bassin versant du Silala.

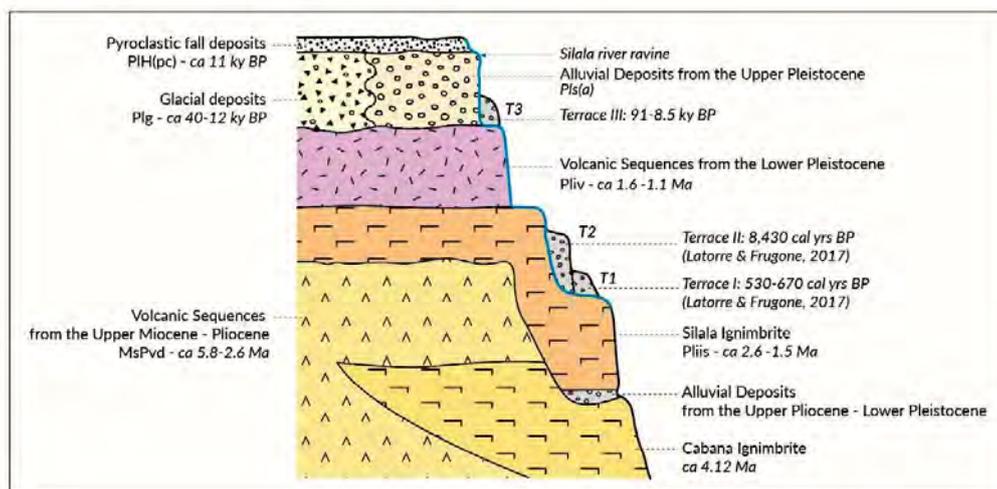


Figure 4-2
Stratigraphie du bassin versant du Silala (SERNAGEOMIN, 2017, et Arcadis, 2017)

Légende :

Pyroclastic fall deposits PIH(pc) – ca 11 ky BP	=	Dépôts de retombées pyroclastiques PIH(pc) – vers 11 ka BP
Glacial deposits Plg – ca 40-12 ky BP	=	Dépôts glaciaires Plg – vers 40-12 ka BP
Volcanic Sequences from the Upper Miocene-Pliocene MsPvd -ca 5.8-2.6 Ma	=	Séquences volcaniques du Miocène supérieur-Pliocène MsPvd – vers 5,8-2,6 Ma
Silala river ravine	=	Gorge du Silala
Alluvial Deposits from the Upper Pleistocene Pls(a)	=	Dépôts alluviaux du Pléistocène supérieur Pls(a)
Terrace III : 91-8.5 ky BP	=	Terrasse III : 91,5 ka BP
Volcanic Sequences from the Lower Pleistocene Pliv – ca 1.6 – 1.1 Ma	=	Séquences volcaniques du Pléistocène inférieur Pliv – vers 1,6-1,1 Ma
Terrace II : 8,430 cal yrs BP (Latorre & Frugone, 2017)	=	Terrasse II : 8430 ans cal BP (Latorre et Frugone, 2017)
Terrace I : 530-670 cal yrs BP (Latorre & Frugone, 2017)	=	Terrasse I : 530-670 ans cal BP (Latorre et Frugone, 2017)
Silala Ignimbrite Pliis – ca 2.6-1.5 Ma	=	Ignimbrite Silala Pliis – vers 2,6-1,5 Ma

Alluvial Deposits from the Upper Pliocene – Lower Pleistocene	=	Dépôts alluviaux du Pliocène supérieur-Pléistocène inférieur
Cabana Ignimbrite ca 4.12 Ma	=	Ignimbrite Cabana vers 4,12 Ma

Dans la période comprise entre environ 2,6 et 1,5 Ma BP (Pliocène supérieur – Pléistocène inférieur), l'ignimbrite Silala (Pliis) a été déposée par une coulée pyroclastique. Cette ignimbrite, qui a une composition mixte (entre basique et acide, appelée andésitique), affleure le long du cours du Silala et se découvre sur les côtés et parfois à la base de la gorge. Elle repose en discordance sur la frange supérieure de l'ignimbrite Cabana (Piic) et les coulées de lave issues des séquences volcaniques du Miocène supérieur-Pliocène (MsPvd). A sa base, elle présente des marques de dépôts fluviaux (voir ci-dessus).

23

Les séquences volcaniques du Pléistocène inférieur (Pliv(a)) comprennent un groupe d'édifices volcaniques et de coulées de lave bien préservés, dont la composition est largement intermédiaire (andésitique) et qui se manifestent en surface sous la forme du cône volcanique du Cerro Inacaliri, du volcan Apagado et de son extension en territoire bolivien, et d'une vaste coulée de lave andésitique, âgée de 1,48 Ma, qui remplit partiellement la dépression où se trouvent les sources d'amont du Silala et les zones humides Orientales (figures 4-3 et 4-4).

Les édifices volcaniques de cette unité sont situés sur les vestiges d'édifices et de dômes de moindre ampleur formés par des volcanites antérieures datant du Miocène supérieur-Pliocène (MsPvd), que l'on voit clairement dans le milieu du versant sud du Cerro Inacaliri (figure 4-3). Au niveau des sources des zones humides alimentant le Silala (en territoire bolivien) se trouve une grande coulée de lave reposant sur l'ignimbrite Silala. Cette coulée de lave remplit partiellement la dépression peu profonde d'où jaillissent les sources alimentant le Silala dans la zone humide Orientales (figures 4-3 et 4-4). Il apparaît clairement que la coulée tronque un réseau de drainage ancien, qui lui est donc antérieur, à savoir plus vieux que 1,48 Ma, mais plus jeune que l'ignimbrite Silala sous-jacente. Etant donné que nous n'avons aucune date radiométrique pour ladite ignimbrite, nous pouvons seulement affirmer que le réseau de drainage a environ 1,5 Ma et est probablement un peu plus vieux.

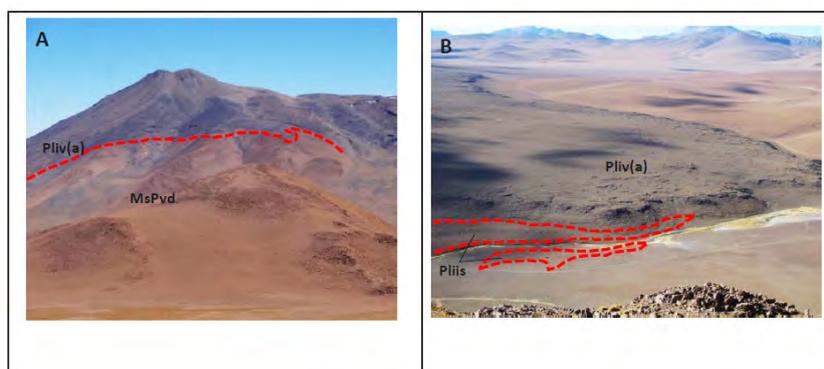


Figure 4-3

Edifices volcaniques et coulées de lave du Pléistocène inférieur. A) Construction du cône volcanique andésitique du Cerro Inacaliri (Pliv(a)) sur les vestiges des dômes dacitiques du Miocène supérieur-Pliocène (MsPvd) (vue vers le nord-ouest) ; B) coulée de lave andésitique qui remplit partiellement la dépression où se situent les sources donnant naissance au Silala (zone humide Orientales) et s'est épanchée sur l'ignimbrite Silala (Pliis) en territoire bolivien (vue vers le nord-est) (SERNAGEOMIN, 2017)

24

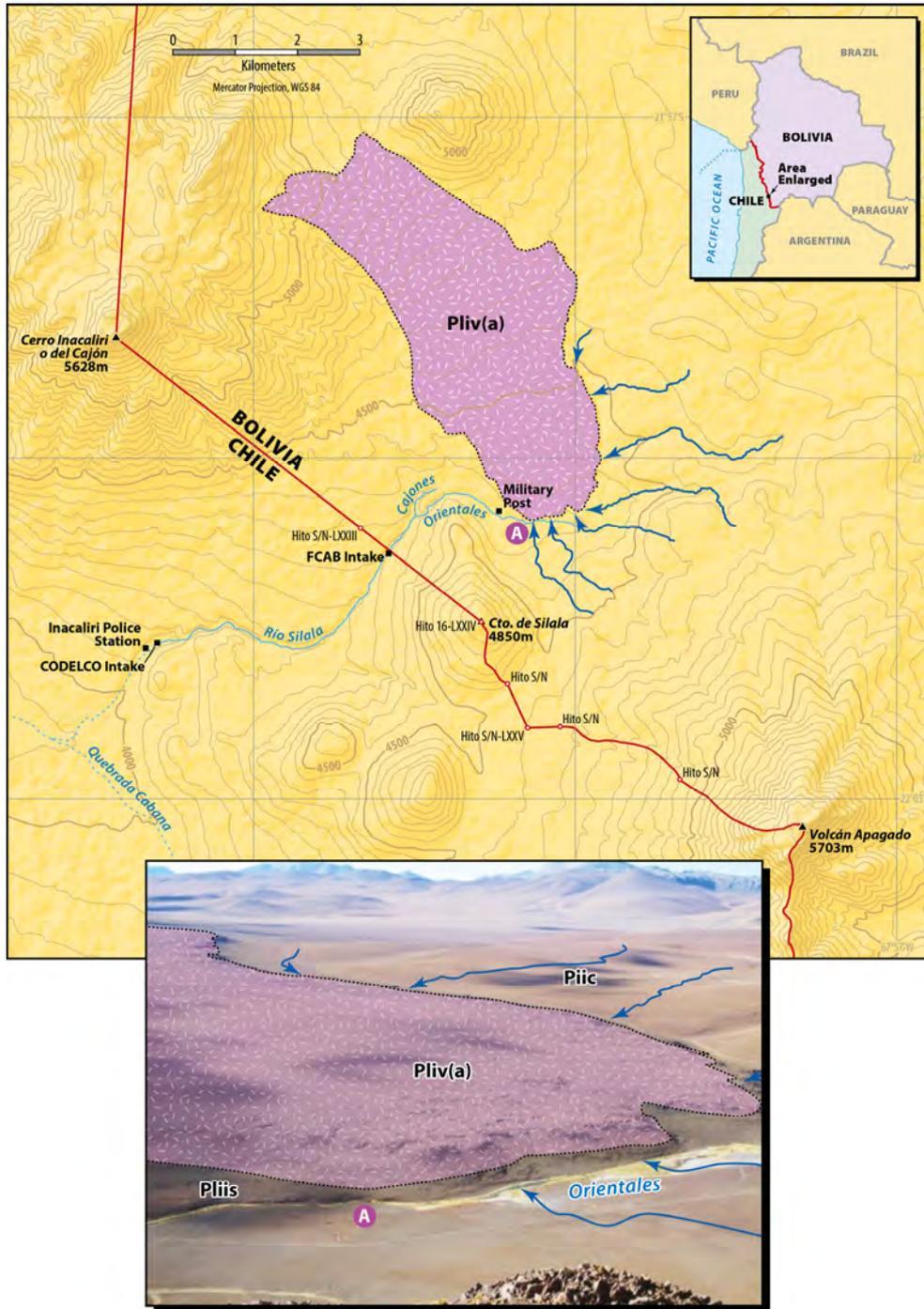


Figure 4-4

La coulée de lave Pliv(a) âgée de 1,48 Ma tronque un paléo-réseau de drainage, l'écoulement se faisant vers l'ouest, et converge vers le cours supérieur de l'actuel Silala, ce qui révèle l'existence d'une paléo-vallée du Silala pendant le Pléistocène inférieur (SERNAGEOMIN, 2017)

25

Les dépôts glaciaires (Plg) (Pléistocène supérieur) (vers 40-12 ka BP) que l'on trouve dans le bassin hydrographique du Silala sont confinés par les versants sud, sud-ouest et sud-est du Cerro Inacaliri (figures 4-1 et 4-5) et par la pointe nord-ouest de la crête du volcan Apagado. Ils comprennent des moraines (ou tills) terminales et latérales bien conservées qui sont associées à de petites vallées glaciaires. Sur le versant nord du bassin hydrographique du Silala, les dépôts morainiques s'étendent des hauteurs jusqu'à environ 4400 mètres au-dessus du niveau de la mer (SERNAGEOMIN, 2017) (quelque 500 mètres au-dessus du chenal d'écoulement de la rivière).

26

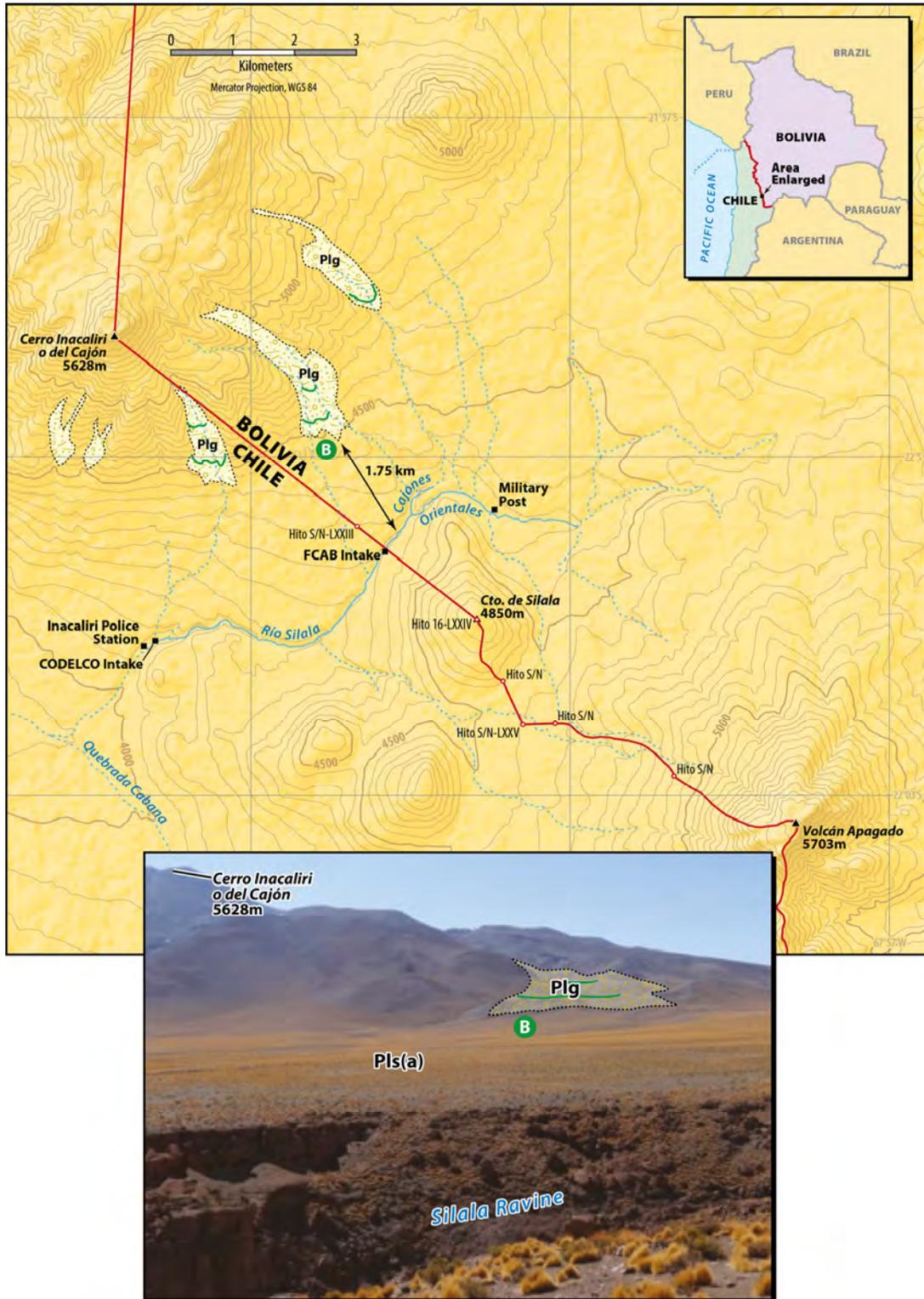


Figure 4-5

Dépôts glaciaires sur le versant nord du bassin hydrographique du Silala. Deux grandes phases de stabilisation des glaces, représentées par deux crêtes morainiques terminales (lignes vertes), sont situées dans le Pléistocène supérieur (environ 40-12 ka BP). La photographie montre la surface plane des alluvions (Pls(a)), le secteur des glaciers et leur relation non génétique avec la gorge du Silala. La lettre B indique l'emplacement de la zone représentée sur la carte (SERNAGEOMIN, 2017)

27

On constate que les dépôts alluviaux du Pléistocène supérieur (Pls(a)) s'interdigitent avec les dépôts glaciaires supérieurs (moraines). Ils comprennent des blocs, des pierres roulées, des graviers, des sables et des limons non consolidés, qui apparaissent en surface principalement sur le versant nord du bassin hydrographique du Silala. Ils sont incisés par les dépôts alluviaux du Pléistocène supérieur-Holocène (PIHa) et par des lits fluviaux secondaires actifs (figure 4-1). Ils sont couverts par des dépôts de retombées pyroclastiques PIH(pc) du Pléistocène supérieur (vers 11,5 ka BP).

Les dépôts de retombées pyroclastiques sont non consolidés, de couleur gris foncé strié de fines bandes plus claires, bien stratifiés et composés de cendres et de fragments de roches volcaniques, dont des pierres ponce. Situés pour l'essentiel dans les parties centrale et centre-sud du bassin versant du Silala, ils ont été déposés sur les alluvions du Pléistocène supérieur (Pls(a)) et ont également été érodés par les dépôts alluviaux ultérieurs du Pléistocène supérieur-Holocène (PIHa).

Les dépôts alluviaux du Pléistocène supérieur-Holocène (PIHa) forment des gisements non consolidés de pierres roulées, de graviers, de sables et de limons et se découvrent dans les parties centrale et sud-ouest du bassin versant du Silala. Ces dépôts ont recoupé et partiellement couvert les dépôts alluviaux du Pléistocène supérieur (Pls(a)) et les dépôts de retombées pyroclastiques (PIH(pc)). Ils ont subi l'action érosive des systèmes alluviaux de l'Holocène (Ha) (figure 4-1).

L'examen de la géologie du bassin versant du Silala (SERNAGEOMIN, 2017), y compris l'étude de la gorge et des strates profondes par forage (Arcadis, 2017), a permis de constater que la première activité fluviale épousant plus ou moins le cours de la rivière actuelle a eu lieu il y a 2,6 à 1,5 Ma. Les dépôts fluviatiles en résultant ont été recouverts par l'ignimbrite Silala (figure 3-1, coupe 5), mais un nouveau réseau de drainage s'est développé par la suite avant d'être tronqué il y a 1,48 Ma lorsqu'une coulée de lave (figures 4-3 et 4-4) datée de la même période a partiellement rempli la dépression qui accueille aujourd'hui les zones humides Orientales. Nous nous intéressons ci-dessous à l'évolution du système hydrographique après cette période.

28

5. LA FORMATION DU SILALA ET DE SA GORGE AU COURS DES 11 000 À 12 000 DERNIÈRES ANNÉES (LATORRE ET FRUGONE, 2017)

Dans cette section, nous examinons les dépôts sédimentaires et les caractéristiques des terrasses formées par l'érosion dans la gorge du Silala afin d'établir leurs origines et leur âge. D'après nos constatations, la gorge s'est creusée ces 11 000 à 12 000 dernières années et la datation au radiocarbone montre que des zones humides étaient présentes dans la gorge il y a quelque 8400 ans. La sédimentation a commencé avant cette date, tandis que le modelage du substratum formant la gorge est nécessairement intervenu plus tôt, probablement vers 12 000 ans.

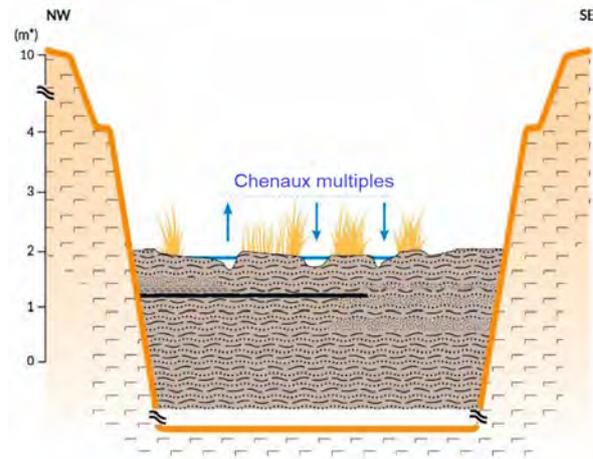
Des études détaillées de l'histoire sédimentaire de la gorge du Silala ont été menées en 2016 et début 2017 par Latorre et Frugone. Tous deux ont notamment procédé à des mesures diagraphiques détaillées et à la description des séquences sédimentaires de la gorge, y compris par l'ouverture de tranchées dans les sédiments de celle-ci et le prélèvement subséquent de matières végétales et autres matières organiques à des fins de datation au carbone 14.

Les sondages par tranchée exécutés dans la zone située à la jonction entre le Silala et Quebrada Negra et dans un autre site proche des forages réalisés en amont de Quebrada Negra (Arcadis, 2017) ont révélé la présence de quatre unités stratigraphiques dans la gorge du Silala. Les sédiments trouvés et déposés par la rivière comprennent des sables, des limons, des graviers, dont des clastes de la taille de galets, et des matières organiques datables au carbone 14, notamment des tourbes, des couches organiques noires (issues d'anciennes zones humides), des racines et d'autres matières végétales et vestiges organiques. Grâce à la compréhension des relations entre une

29

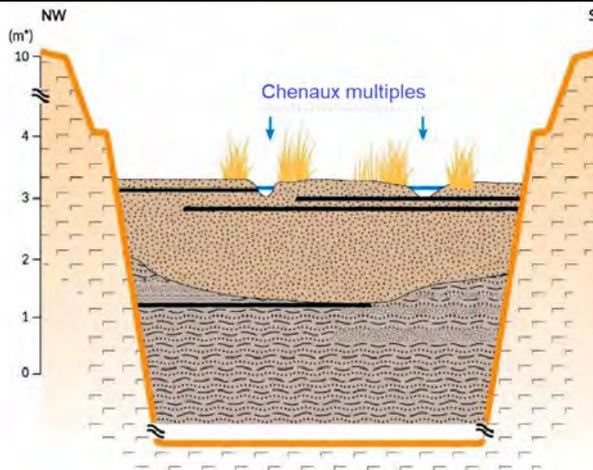
séquence concordante plus ou moins continue de sédiments et les autres séquences, ainsi qu'à la définition d'un intervalle de temps précisant les âges de certaines parties de ces séquences sédimentaires, il a été possible de dresser un tableau de la formation dans le temps de la rivière, de sa gorge, de la végétation et du climat des périodes de dépôt. La formation de la rivière, de sa gorge et des sédiments fluviaux qui y ont été découverts est résumée aux figures 5-1, 5-2 et 3-2.

30



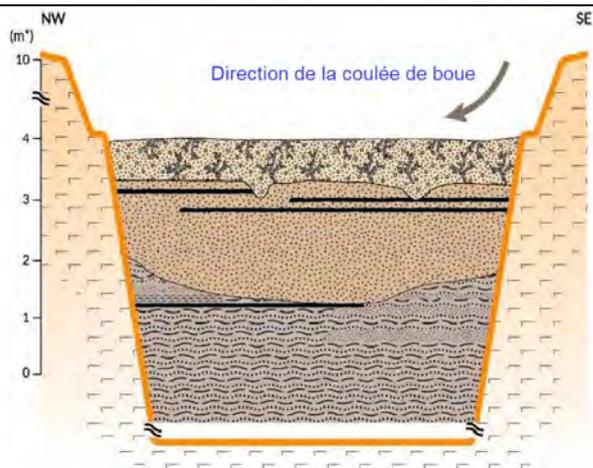
1. Unité 1 (> 8,5-1,9 ka BP) : remplissage du lit du Silala par des tourbes organiques, des couches noires et des chenaux sablo-limoneux favorisés par un niveau phréatique élevé (> 2 m au-dessus du niveau de la rivière moderne)

Milieu de dépôt : zones humides de haute altitude couvertes d'*Elymus sp. (bofedal)*, comprenant plusieurs chenaux à écoulement lent



2. Unité 2 (< 1,9-0,53 ka BP) : abaissement de la nappe, suivi de l'incision de l'Unité 1. Le niveau phréatique augmente ensuite (à +3 m), favorisant l'apparition de chenaux sableux de remplissage qui se convertiront à terme en zones humides

Milieu de dépôt : cours d'eau à fort niveau d'énergie se remplissant progressivement et formant à terme une zone humide



3. Unité 3 (< 0,53-vers 0,2 ka BP) : un dépôt massif de coulée de boue (peut-être provenant latéralement de Quebrada Negra) incise partiellement l'Unité 2

Milieu de dépôt : vaste coulée de boue, largement altérée par la pédogenèse survenue au moins sur plusieurs siècles

Niveaux mesurés à partir du lit moderne

Figure 5-1
Diagramme schématisé des dépôts fluviaux des unités 1, 2 et 3
(Latorre et Frugone, 2017)

31 Avant que ces sédiments fluviaux ne soient déposés, la gorge avait été entaillée dans l'ignimbrite Silala, qui forme le substratum volcanique sur lequel ils reposent. Il est manifeste que cela a dû se produire avant l'apparition des plus jeunes matières organiques datées qui ont été prélevées dans les sédiments de l'unité 1, ce qui nous donne un âge situé entre 8430 et 8350 années BP (Latorre et Frugone, 2017). Nous pouvons en conclure que la gorge a été incisée à une période antérieure. En toute logique, on peut penser que l'incision de la gorge a été causée par la fonte des calottes glaciaires situées sur les montagnes environnantes et les volcans endormis, puisque ce phénomène aurait produit d'importants épisodes de ruissellement et occasionné le dépôt du cône alluvial/des sables et graviers d'épandage. Il est donc fort probable que la gorge du Silala, dans sa forme moderne, existe depuis 11 000-12 000 ans BP. Bien que la date la plus ancienne relevée dans les matières organiques prélevées dans l'unité stratigraphique 1 soit estimée à 8430-8350 ans BP, l'échantillon n'a pas été recueilli à la base de l'unité, si bien que les premiers sédiments ont nécessairement été déposés vers 8400 ans BP ou avant cette date (voir la figure 5-1, coupe 1, et la figure 3-2).

Les dates les plus récentes estimées pour cette unité sédimentaire (unité 1) s'établissent à 1900-2010 ans BP (Latorre et Frugone, 2017), ce qui semble indiquer une sédimentation plus ou moins continue pendant au moins 6000 ans. Autrement dit, le Silala était une rivière active, alimentant une végétation de type hygrophile, ce qu'atteste la présence de plusieurs lits contenant des matières organiques (tourbes, couches organiques noires et autre végétation).

A cette phase de sédimentation a succédé une période d'érosion, probablement favorisée par une chute des niveaux piézométriques (voir Latorre et Frugone, 2017). Une baisse marquée, peut-être de plus d'un mètre, aurait causé le dépérissement de la végétation des zones humides, qui aurait alors été incapable de fixer les sédiments non consolidés, laissant libre cours à l'érosion en cas de crues occasionnelles. Ces épisodes de crues, que l'on observe dans les régimes climatiques désertiques, où la pluviométrie est très variable en saison humide, auraient pu provoquer l'érosion rapide des sédiments non consolidés et l'incision des dépôts de l'unité 1. L'unité 2 a été déposée entre environ 1900 et 530 ans BP, après une augmentation de la surface libre des nappes induite par une modification du régime climatique à l'origine de périodes plus humides (figure 5-1, coupe 2). La formation de l'unité 2 a été interrompue par une coulée de boue massive déposée latéralement depuis Quebrada Negra qui a partiellement érodé ladite unité. On en trouve la représentation schématique à la figure 5-1, coupe 3. Les origines de cette coulée de boue sont inconnues, mais il semble qu'elle ait descendu Quebrada Negra en provenance du volcan Apagado.

32

La période identifiable suivante correspond à une phase d'érosion intensive. La figure 5-2 montre l'érosion des unités 2 et 3 et l'érosion partielle de l'unité 1 pendant la période comprise entre environ 200 ans BP et l'époque récente. Cette incision s'est remplie de sédiments (l'unité 4) à partir du début du XIX^e siècle.

L'activité érosive a repris bien plus récemment, emportant une partie de l'unité 4. Une réduction prolongée des précipitations au XX^e siècle semble avoir conduit à une baisse des niveaux piézométriques, provoquant le dépérissement de la végétation et l'érosion de la zone. Il est probable que des épisodes occasionnels de crues extrêmes aient engendré l'incision du lit actuel de la rivière dans les sédiments de l'unité 4 (voir la figure 5-2).

La figure 3-2 en dresse la synthèse et fournit les dates radiométriques des échantillons prélevés et leur position stratigraphique relative dans les différentes unités sédimentaires. Cette coupe schématique indique également l'emplacement des terrasses associées 1, 2 et 3. La terrasse n° 4 se situe plus haut et n'apparaît pas dans ce schéma, mais on peut l'apercevoir dans la photographie reproduite à la figure 5-3.

Il apparaît clairement que l'érosion et la sédimentation fluviales sont à l'œuvre depuis au moins 8400 ans le long du cours du Silala et que la formation de la gorge pourrait avoir commencé dès 11 000-12 000 ans BP. Le régime de formation des zones humides, de sédimentation et

d'incision érosive témoigne d'une évolution cyclique vieille de plus de 8400 ans environ, qui se poursuit encore à ce jour.

33

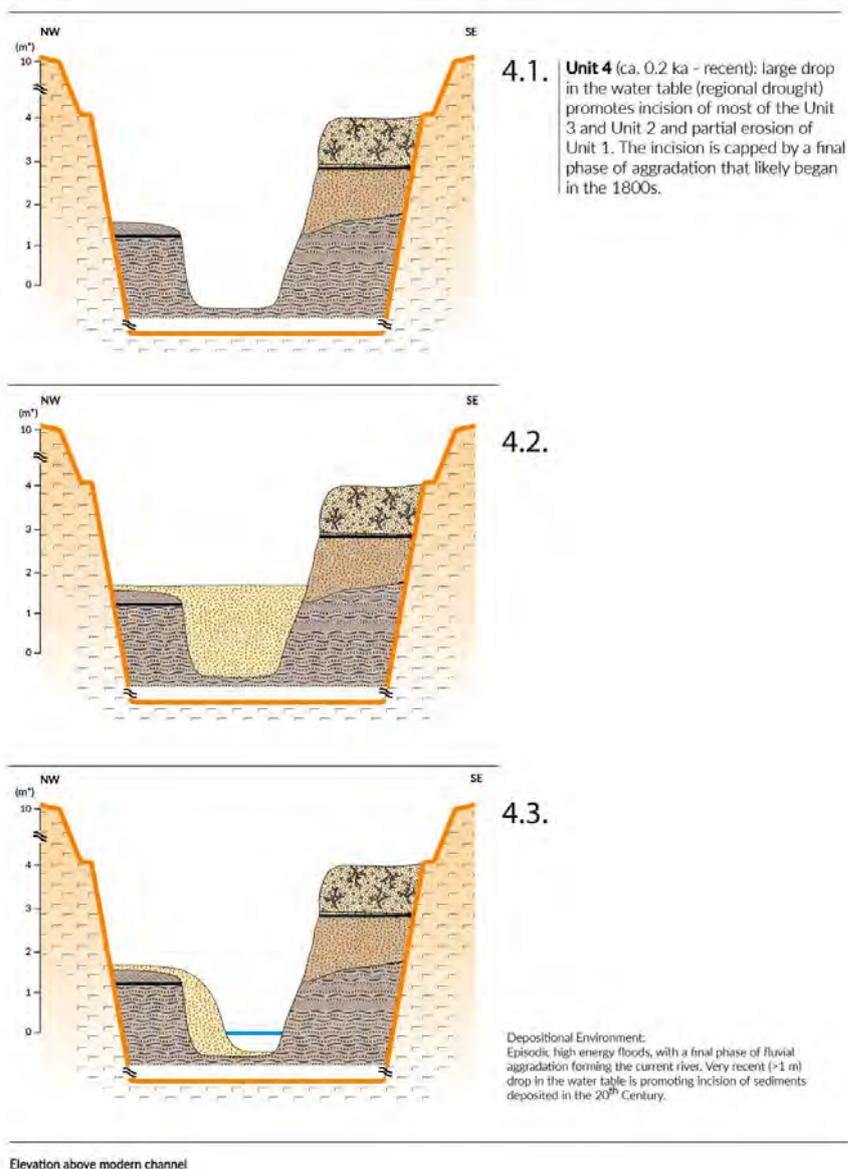


Figure 5-2
Erosion des unités 3 et 2 (coupe 4.1) et dépôt de l'unité 4 (coupe 4.2), suivi de l'érosion de l'unité 4 (coupe 4.3) (Latorre et Frugone, 2017)

Légende :

- 4.1. = Unité 4 (vers 0,2 ka-époque récente) : la forte baisse du niveau phréatique (sécheresse régionale) favorise l'incision de la plus grande partie de l'unité 3 et de l'unité 2 ainsi que l'érosion partielle de l'unité 1. L'incision est coiffée par les sédiments issus d'une phase finale d'alluvionnement qui a probablement démarré au XIX^e siècle.
- 4.3. = Milieu de dépôt :
 Crues épisodiques à forte énergie, couplées à une dernière phase d'alluvionnement qui formera la terrasse T1 à la fin du XX^e siècle. Une incision très récente (> 1 m) est visible dans plusieurs parties de la vallée.
- Elevation above modern channel = Niveaux mesurés à partir du lit moderne

34

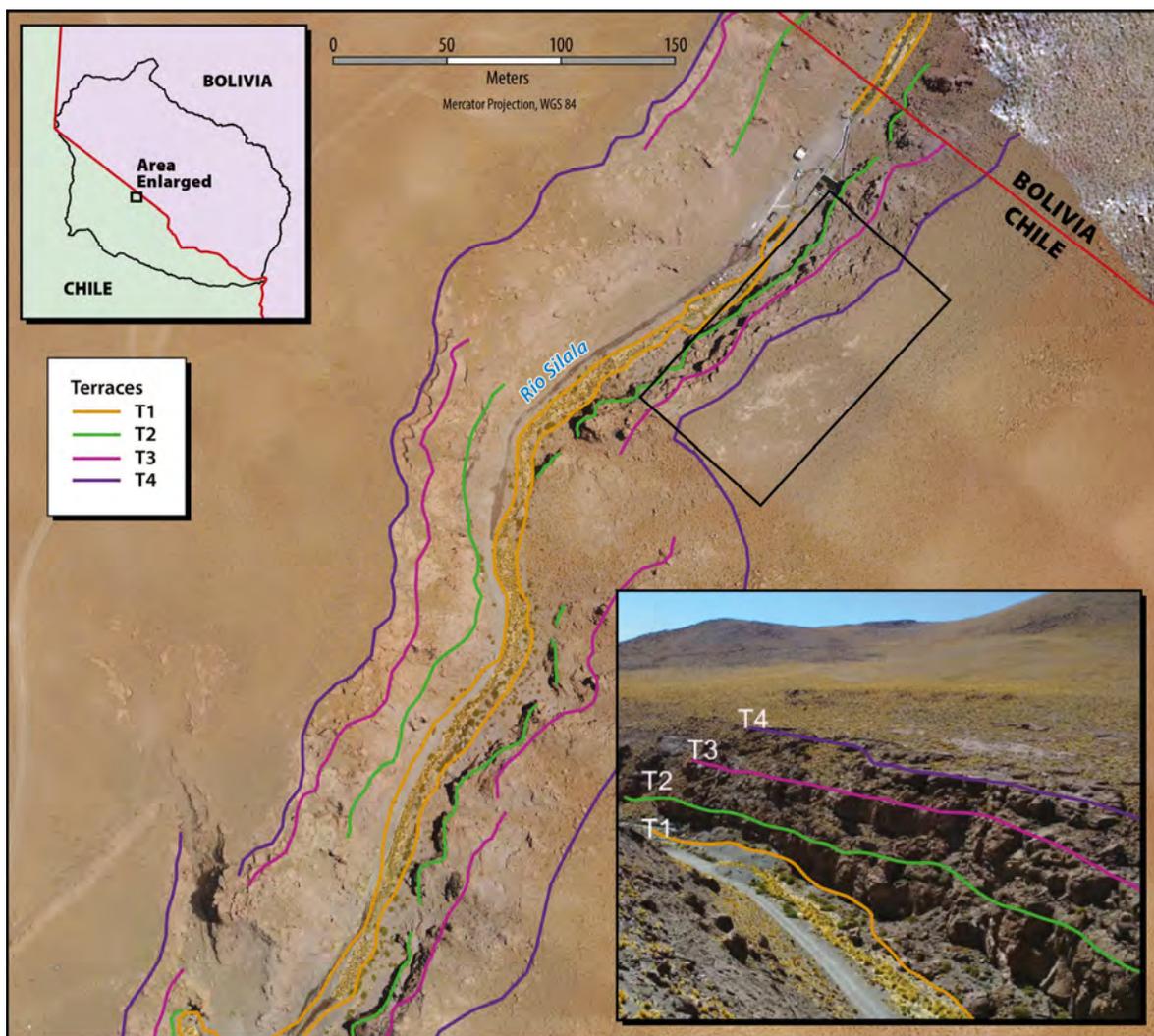


Figure 5-3

Identification des terrasses sur le versant est de la gorge du Silala, à 50 m au sud-ouest de la frontière internationale (Arcadis, 2017)

6. LES TÉMOINS DE L'ACTIVITÉ HUMAINE DANS LES ENVIRONS DU SILALA ET DE SA GORGE (McROSTIE, 2017)

Dans la présente section, nous passons en revue les témoins archéologiques de l'utilisation et de l'occupation du Silala et de sa gorge par des populations humaines depuis au moins 1500 ans.

35

Des habitations et abris en pierre, souvent construits à même les grottes et *cavettos* creusés par l'érosion fluviale et découverts dans les parois de la gorge au niveau des terrasses du Silala, attestent la présence — probablement sporadique — d'activités et d'habitats humains le long du Silala. Les peuples autochtones des régions de l'Altiplano et du désert d'Atacama étaient nomades ; ils élevaient des animaux, chassaient et ont peut-être pêché dans les eaux du Silala. Il semble que celui-ci formait une route reliant les hauts-plateaux.

La présence d'une ressource en eau a certainement attiré des nomades et des peuplements, et il semble probable que le Silala se soit trouvé sur les routes migratoires empruntées à certaines des périodes considérées. On trouve dans certains sites des poteries, tandis qu'une pointe de flèche datant apparemment de la civilisation précolombienne (probablement après 1500 ans BP) a été

découverte sur une terrasse. Les sites d'intérêt archéologique répertoriés lors d'un inventaire réalisé en 2016 sont indiqués à la figure 6-1 (McRostie, 2017).

36

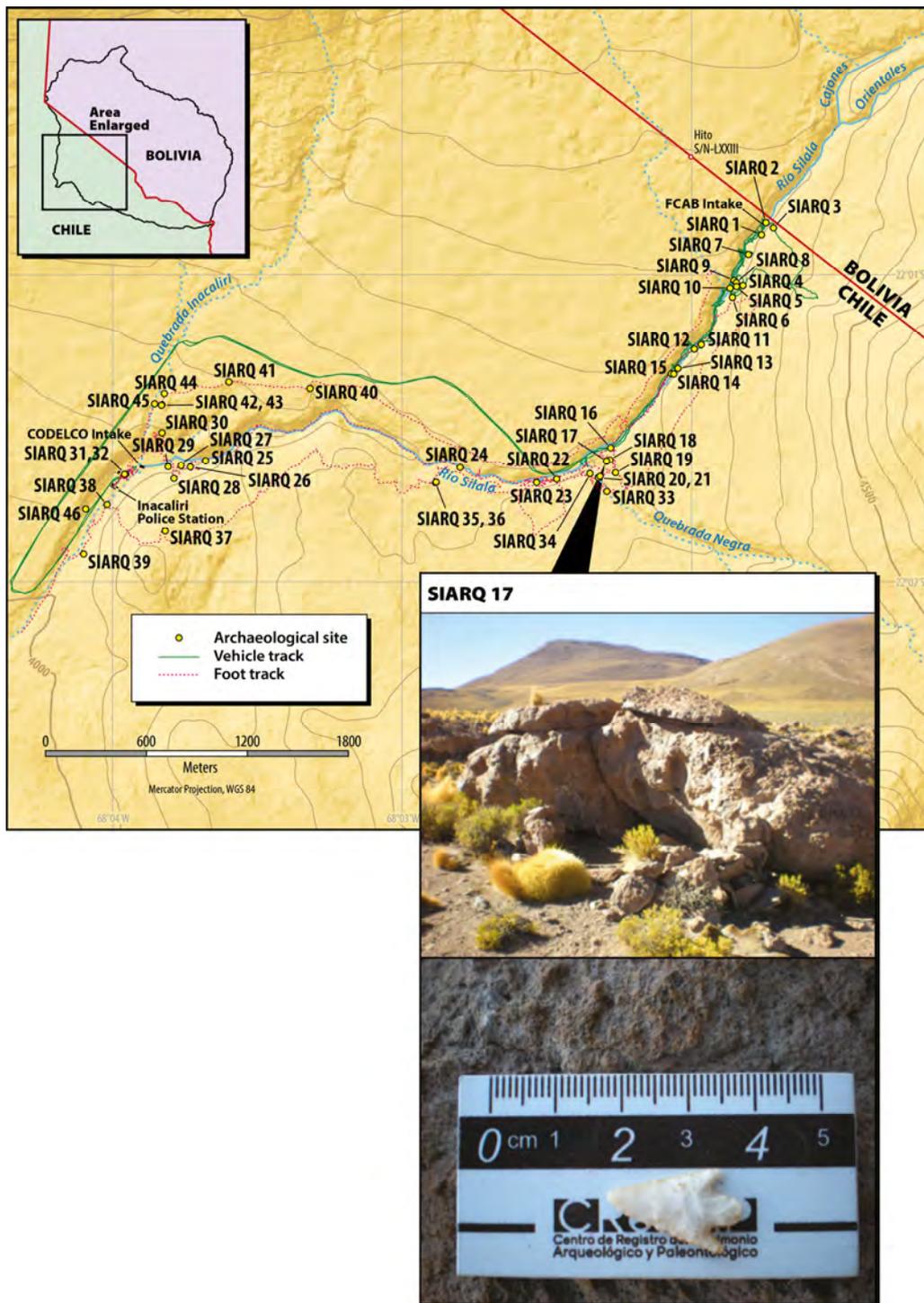


Figure 6-1

Les sites archéologiques répertoriés dans la gorge du Silala et les terrasses du Silala, y compris le site 17, pour lequel est reproduite une photographie de la pointe de flèche qui a été découverte (McRostie, 2017)

Légende :

- | | | |
|------------------------|---|----------------------|
| Points jaunes | = | Sites archéologiques |
| Ligne verte | = | Piste |
| Ligne route pointillée | = | Sentiers pédestres |

37

7. LES PROCESSUS D'ÉROSION ET DE SÉDIMENTATION FLUVIAILES, GLACIAIRES ET ÉOLIENS À L'ŒUVRE DANS LA GORGE DU SILALA

Nous examinons ici les preuves des différents processus géologiques intervenus, l'objectif étant de déterminer ceux qui ont influé le plus sur la formation de la gorge du Silala. Nous montrons que les processus nettement dominants ayant donné lieu au modelage de la gorge et au dépôt des sédiments qui y ont été trouvés sont d'origine fluviale.

Les témoins géologiques présents dans la gorge du Silala et ses environs sont si nombreux qu'il ne fait aucun doute que la gorge et les terrasses mentionnées à la section 5 peuvent être interprétées comme le fruit de l'activité fluviale de la rivière.

Le trajet de la gorge du Silala est relativement sinueux et présente un profil typique en V ou dissymétrique, délimité par un versant en pente ($< 45^\circ$) et un versant subvertical. Cette dissymétrie est interprétée comme le résultat du positionnement de la pente, située soit sur la face interne ($< 45^\circ$) des coudes dessinés par le cours de la rivière soit sur la face externe (subvertical) (figure 7-1B)).

D'autres marques fluviales, telles que les marmites et les *cavettos* (SERNAGEOMIN, 2017), sont observées en nombre le long des différentes terrasses et sur la paroi de la gorge à plusieurs niveaux, traduisant les niveaux antérieurs occupés par le lit de la rivière et l'érosion survenue à chaque hauteur d'eau, normalement à l'extérieur d'un coude. On trouvera des exemples de ces marques d'érosion aux figures 7-2 et 7-3.

38

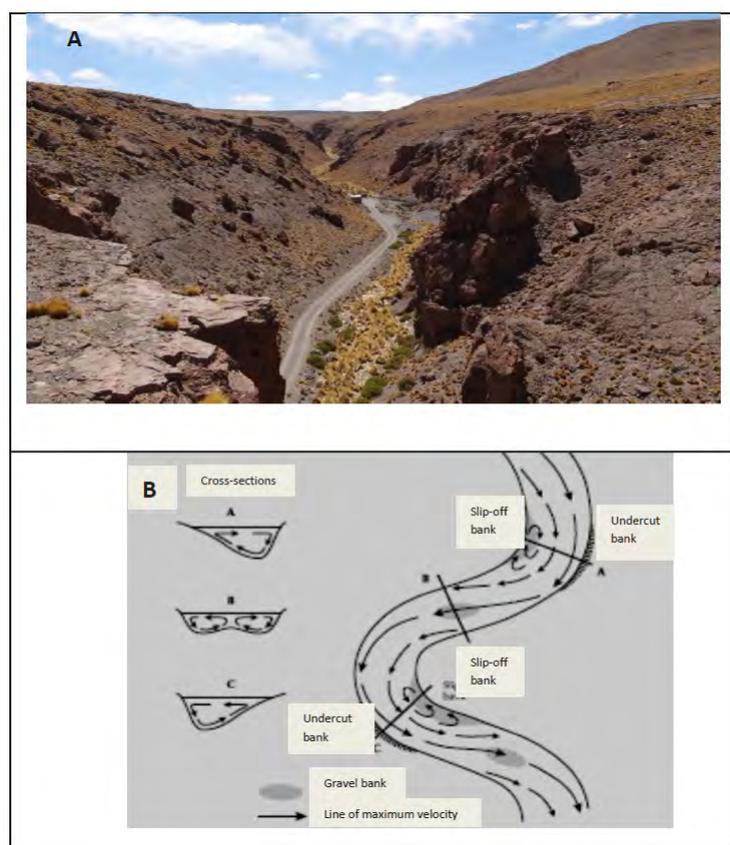


Figure 7-1

Vue de la gorge du Silala (A), présentant un profil mixte, en V ou dissymétrique, caractérisé par des versants en pente, correspondant à la rive intérieure de la rivière, et par un versant subvertical, qui marque la rive externe de la rivière (vue vers l'est) ; B) modèle théorique d'écoulement de l'eau dans une rivière sinuouse (SERNAGEOMIN, 2017)

Légende :

B	=	Coupes transversales
Cross-sections	=	Rive convexe
Slip-off bank	=	Rive concave
Undercut bank	=	Banc de gravier
Gravel bank	=	Vitesse d'écoulement maximale
Line of maximum velocity	=	

39

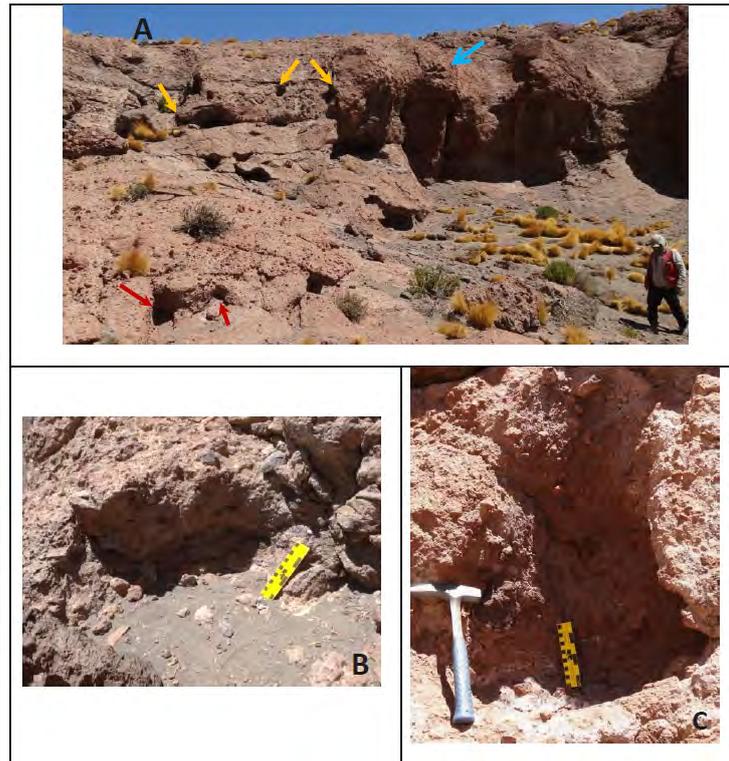


Figure 7-2

Les marmites d'érosion creusées dans la terrasse supérieure de la gorge du Silala. A) Création de marmites latérales fermées (flèches orange), de marmites latérales coalescentes (flèche bleue) et de marmites ouvertes dans le lit d'un paléo-chenal⁴ (flèches rouges) ; B) vue rapprochée d'une marmite située au bas d'un ancien chenal ; C) vue rapprochée d'une marmite latérale fermée creusée dans les parois de l'escarpement ; on observe l'érosion circulaire différenciée vers le fond de la cavité, causée par un fragment lithique de plus petite taille dans l'ignimbrite Silala (échelle centimétrique) (SERNAGEOMIN, 2017)

⁴ Chenal d'une rivière dans un paysage antérieur.

40

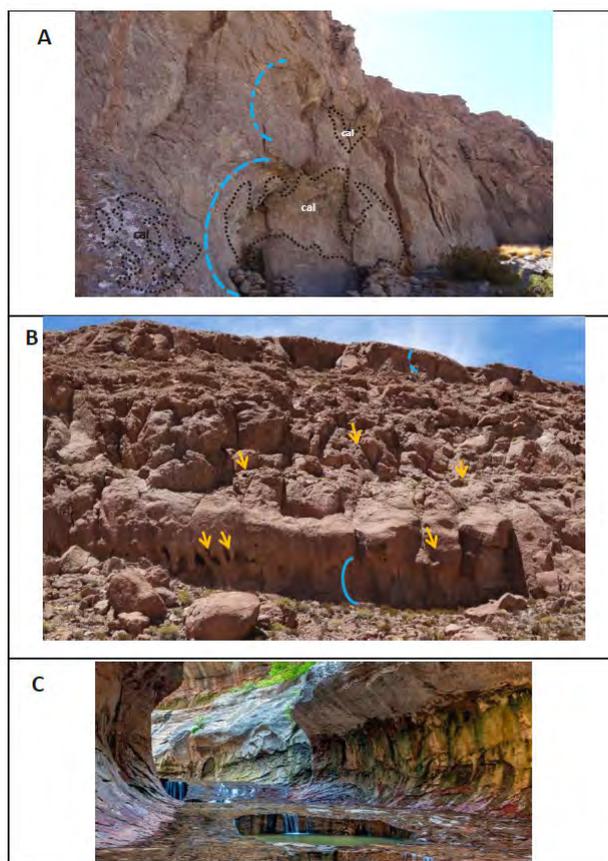


Figure 7-3

41

Formations perchées concaves ou *cavettos* creusés par l'action érosive de la rivière. A) Cours moyen du Silala (entre le poste de police d'Inacaliri et la frontière internationale), où l'on distingue la formation de *cavettos* ou alcôves (lignes bleues) à l'aplomb de la surface actuelle du lit de la rivière, associés à des concrétions calcaires de caliche (calcrete) visibles sur la pente nord de la gorge ; B) à quelques centaines de mètres en amont du poste de police d'Inacaliri, sur la pente sud de la gorge, on distingue la formation d'au moins deux *cavettos* bien conservés (lignes bleues), associés à des marmites latérales fermées et à des marmites de fond ouvertes (flèches orange) ; C) exemple actuel de formation de *cavettos* dans la rivière des Fairy Pool en Ecosse (SERNAGEOMIN, 2017)

Aucune marque d'érosion ou de sédimentation glaciaire n'a été découverte pendant les études menées dans la gorge du Silala, en territoire chilien. Les dépôts glaciaires qui ont été identifiés et cartographiés se trouvaient à des niveaux supérieurs sur le flanc du Cerro Inacaliri à environ 4400 mètres au-dessus du niveau de la mer et même à plus haute altitude sur les flancs du volcan Apagado, soit plusieurs centaines de mètres au-dessus du niveau du lit et de la gorge de la rivière. Voir la section 4 ci-dessus.

Des vents forts soufflent toute l'année dans le bassin versant du Silala, mais leurs effets sur la géomorphologie locale apparaissent très négligeables par rapport à ceux de l'activité fluviale décrite plus haut. Les formes d'érosion visibles comprennent de petits piliers ou arcs, généralement associés à des surfaces présentant des petits trous d'impact et à des surfaces abrasées (figure 7-4). Les vents transportent des sables fins, souvent noirs de composition basaltique, qui se trouvent piégés dans les différentes terrasses où ils s'accumulent. Aucune marque de forte érosion éolienne n'a été trouvée lors des études menées dans la gorge du Silala.

42

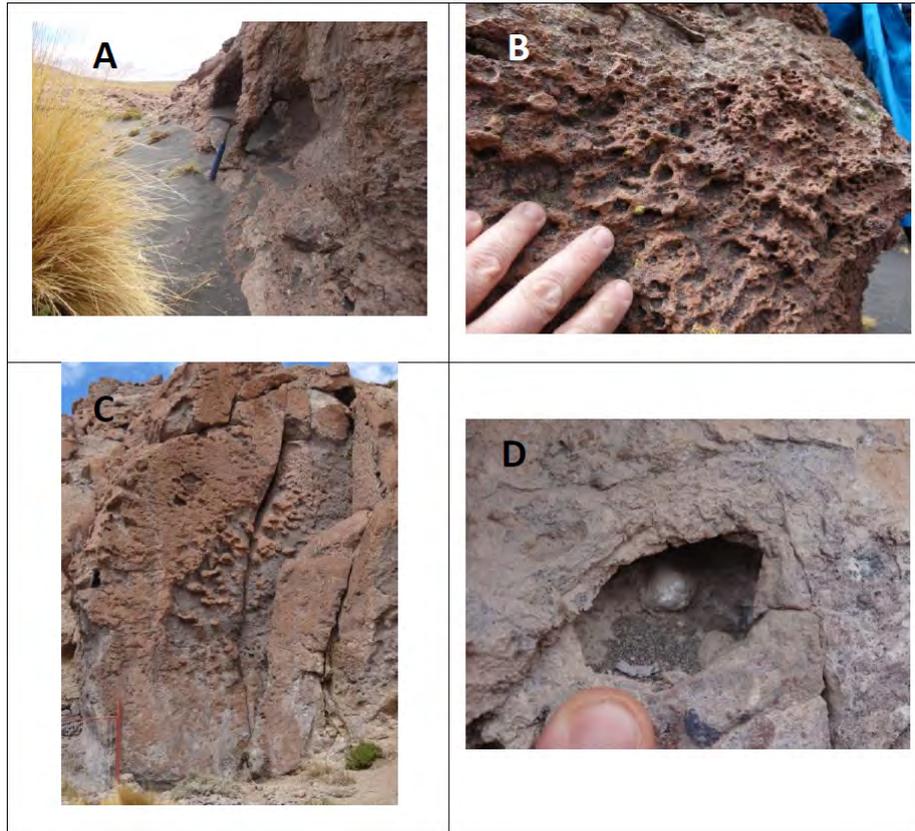


Figure 7-4

Les effets mineurs de l'érosion éolienne sur les parois ignimbritiques de la gorge du Silala. A) Piliers et niches présentant également des dépôts sableux éoliens accumulés à la base de la paroi ; B) surface abrasée par des grains de sable, indiquant la direction préférentielle du vent ; C) formes d'usure en relief et creux sur les surfaces ayant une exposition frontale à oblique au vent ; D) vue rapprochée d'une niche ovale contenant encore du sable (SERNAGEOMIN, 2017)

43

La gorge du Silala présente des marques très nettes de l'activité fluviale, ce qui témoigne d'une activité érosive puissante et prolongée. Il existe de nombreuses preuves attestant la sédimentation fluviale de la gorge qui s'est produite dans les chenaux antérieurs de la rivière. La géomorphologie de la gorge est caractéristique d'un passage façonné par un cours d'eau de montagne à écoulement rapide suivant un trajet abrupt. Elle présente des marques telles que des *cavettos* et des marmites, typiques d'un cours d'eau ou rivière de ce type. Les témoins de l'érosion éolienne sont circonscrits aux parois de la gorge, traduisant l'influence mineure de ce phénomène sur sa morphogénèse. De minces dépôts de sable fin gris noir (basaltique) sont observés à différents endroits dans le fond de la gorge et sur ses terrasses.

8. CONCLUSIONS

Un programme détaillé de cartographie géologique et d'identification des entités géomorphologiques se trouvant dans le Silala, sa gorge et son bassin versant a été mené à bien pour déterminer les processus géologiques dominants, suivre l'évolution de la géologie et ainsi comprendre la géographie et les formes paysagères que l'on trouve aujourd'hui dans le bassin versant.

La cartographie détaillée de la géologie du bassin versant du Silala et de ses environs, l'étude des sédiments déposés dans la gorge du Silala, la mise au jour de sites archéologiques le long de la gorge et l'observation des marques témoignant des différents types de processus géologiques de dépôt et d'érosion sédimentaires ont permis de comprendre l'évolution du paysage et de la

morphologie du bassin versant du Silala et de sa gorge au cours des six derniers millions d'années environ.

Nous avons montré que :

44

- 1) une activité fluviale était à l'œuvre dans l'alignement de la rivière Silala il y a un à deux millions d'années. Cet intervalle de temps a été déterminé par datation radiométrique de roches volcaniques reposant sur et sous les sédiments déposés par l'eau. Ces sédiments semblent avoir été déposés dans une vallée qui a été remplie plus tard par des dépôts volcaniques.
- 2) l'incision de la gorge du Silala a démarré avant environ 8400 ans BP et probablement dès 11 000 à 12 000 années BP. La gorge où s'écoule aujourd'hui le Silala se forme le long du trajet actuel de la rivière depuis plus de 8400 ans environ, tandis que la rivière a déposé des sédiments et alimenté la végétation voisine, puis les a érodés au moins quatre fois au cours de cette période. Cette alternance a généré quatre terrasses bien visibles et quatre séquences différentes d'accumulation sédimentaire.
- 3) les périodes de sédimentation et d'érosion ont été causées par des variations des régimes climatiques, qui ont induit des changements dans le niveau piézométrique des eaux souterraines. Il est considéré que l'abaissement des niveaux piézométriques a provoqué l'érosion et l'incision de la gorge, tandis que l'élévation de ces mêmes niveaux a favorisé la croissance de la végétation hygrophile et le piégeage des sédiments lors de l'écoulement des eaux vers l'aval.
- 4) une somme considérable de preuves de l'érosion et de la sédimentation fluviales a été recueillie et consignée pour la gorge du Silala. Des marques de l'érosion éolienne et d'accumulations mineures de sables transportés par le vent ont été relevées dans la gorge, mais l'incidence de cette forme d'érosion sur la formation de celle-ci est considérée comme négligeable.
- 5) si l'action glaciaire a joué un rôle dans la formation du paysage à haute altitude, aucune marque de l'action ou de dépôts glaciaires n'a été découverte en dessous de 4400 mètres au-dessus du niveau de la mer environ. La formation de la gorge (à environ 4000-4300 m d'altitude) n'a pas été causée par l'érosion glaciaire.
- 6) des vestiges archéologiques montrent que cela fait au moins 1500 ans et probablement plus que le Silala et sa gorge sont fréquentés par l'homme. Cette présence s'explique très probablement par la présence fiable de ressources en eau et de ressources alimentaires.

Nous examinons de manière synthétique les deux questions qui nous ont été posées par le Chili :

ii) Quels événements géologiques, géomorphologiques et/ou autres ont façonné la gorge du Silala dans sa forme actuelle ?

45

Pendant la période comprise entre environ 6 millions et environ 1,5 million d'années BP, la surface aujourd'hui occupée par le bassin versant du Silala a été le théâtre d'épisodes volcaniques associés à la collision entre la plaque tectonique océanique à l'ouest (sous l'océan Pacifique) et la plaque continentale sud-américaine. L'activité volcanique qui en a résulté a façonné le paysage, provoquant notamment la formation du Cerro Inacaliri, du Cerrito de Silala et du volcan Apagado, autant d'éléments dominants de la morphologie du bassin versant (figure 1-2). Les roches basales observées sous la gorge du Silala sont appelées ignimbrites et ont été mises en place par des éruptions volcaniques explosives émettant des coulées de fragments de roche, de gouttelettes de roches fondues et de gaz chauds qui ont emprunté la pente topographique actuelle à grande vitesse.

La première de ces formations (ignimbrite Cabana) est le fruit d'un événement très vaste et intense qui a touché une grande partie de l'Altiplano chilien et auquel a succédé une première période d'activité fluviale qui a érodé une vallée dans l'ignimbrite et laissé des dépôts sédimentaires fluviaux. Au-dessus de ces premiers dépôts fluviaux (datant d'environ 2,6 à 1,5 million d'années), une seconde ignimbrite (ignimbrite Silala) s'est déposée, remplissant probablement la vallée. L'activité volcanique ultérieure a donné naissance à une coulée de lave massive (il y a 1,48 million d'années) émise par le volcan Inacaliri, qui s'est épanchée dans la zone occupée par le cours supérieur du Silala. Cette coulée de lave a tronqué ce qui était alors le réseau de drainage du Silala. L'activité volcanique dans le bassin versant semble s'être interrompue après 1,48 million d'années, et les événements majeurs ultérieurs qui ont eu une incidence sur la morphologie du bassin versant sont associés à l'englaciation des sommets, au-dessus de 4400 mètres au-dessus du niveau de la mer. Il n'existe aucune marque d'érosion glaciaire ou de dépôts glaciaires au niveau ou au sein de la gorge actuelle du Silala. Le creusement de la gorge, telle qu'elle existe aujourd'hui, a commencé il y a environ 12 000 à 8400 ans. La datation par radiocarbone a montré l'existence de sédiments qui ont été déposés dans la gorge par le système hydrographique actuel du Silala et sont vieux de plus de 8400 ans environ. La rivière a commencé à creuser la gorge dès avant cette période, probablement en conséquence de la fonte des glaciers, il y a environ 12 000 ans, qui a provoqué d'importants ruissellements et une augmentation du débit de la rivière, et celle-ci poursuit son œuvre selon un cycle d'érosion et de sédimentation répondant aux variations des régimes climatiques. *Le modelage de la gorge a été causé par des processus fluviaux. Ce phénomène a démarré dans la période comprise entre 12 000 et 8400 ans BP et se poursuit à ce jour.*

46 **iii) Les témoins géologiques, géomorphologiques et autres qui sont présents révèlent-ils l'existence historique d'un système fluvial dans le bassin versant du Silala ?**

Les sédiments déposés par les systèmes fluviaux se sont accumulés il y a plus de 1,5 million d'années, comme l'attestent les dépôts fluviaux découverts sur la première ignimbrite (Cabana) et sous la seconde (Silala). Il y a environ 1,48 million d'années, la coulée de lave du volcan Inacaliri s'est avancée dans la zone aujourd'hui occupée par la zone humide Orientales en Bolivie (après le dépôt de l'ignimbrite Silala) et a tronqué le réseau de drainage existant. On compte quatre séquences sédimentaires dans la gorge actuelle du Silala. Selon les datations effectuées dans les sédiments fluviaux, les plus anciennes matières organiques auraient environ 8400 ans et les plus récentes remonteraient à la fin du XX^e siècle, ce qui montre que le système fluvial actuel est actif depuis au moins 8400 ans et que le cycle d'érosion et de sédimentation se poursuit encore à ce jour. Il y a de nombreuses marques de l'érosion fluviale sur les parois de la gorge. On trouve quatre terrasses incisées par l'eau et quatre séquences de dépôts sédimentaires de plusieurs mètres d'épaisseur. Ces dépôts comprennent du sable, des graviers, des limons et des vestiges organiques des zones humides. Les versants de la gorge présentent quelques marques d'érosion éolienne et l'on trouve quelques dépôts sableux éoliens, mais ces éléments restent mineurs et ne sauraient avoir eu d'incidence notable sur la formation de la gorge. Les études archéologiques ont permis de mettre au jour des artefacts et des abris ou des habitats temporaires le long du cours de la rivière, principalement sur les trois terrasses hautes. Ces vestiges sont la preuve que l'homme utilise la rivière et son cours depuis au moins 1500 ans. Il ne fait aucun doute que les témoins géologiques, géomorphologiques et autres confirment clairement l'existence historique d'un système fluvial dans le bassin versant du Silala. La gorge moderne, créée par l'action fluviale, existe depuis plus de huit millénaires.

47 Ces processus et événements géologiques ont façonné le paysage du bassin versant et de la gorge du Silala tels que nous les connaissons aujourd'hui. Le régime hydrologique actuel est examiné dans notre rapport complémentaire (Wheater et Peach, 2017). Nous notons ici qu'il reflète non seulement le climat et la météorologie, mais aussi la nature et la topographie de la surface terrestre et des roches se trouvant dans le sous-sol. *La topographie actuelle (figure 8-1) et le profil de la rivière (figure 8-2) sont le résultat direct de l'interaction des processus atmosphériques, terrestres et biologiques et de leur variabilité au cours des six derniers millions d'années. Les*

pentas naturales de la topografía y del lit de la rivi ra son tales que celle-ci ne peut que s'écouler naturellement de la Bolivie jusqu'au Chili.

La figure 8-1 montre les courbes de niveau détaillées traversant toute la topographie du bassin versant. Celles-ci révèlent que les écoulements naturels sont drainés vers le réseau hydrographique et à travers la frontière internationale. La figure 8-2 montre la pente du lit de la rivière, depuis les sources de son écoulement pérenne dans les zones humides Orientales et Cajones en Bolivie jusqu'à l'exutoire du bassin versant, en traversant la frontière internationale. De même, on peut voir que ce trajet suit le canal de drainage naturel du système hydrographique.

48

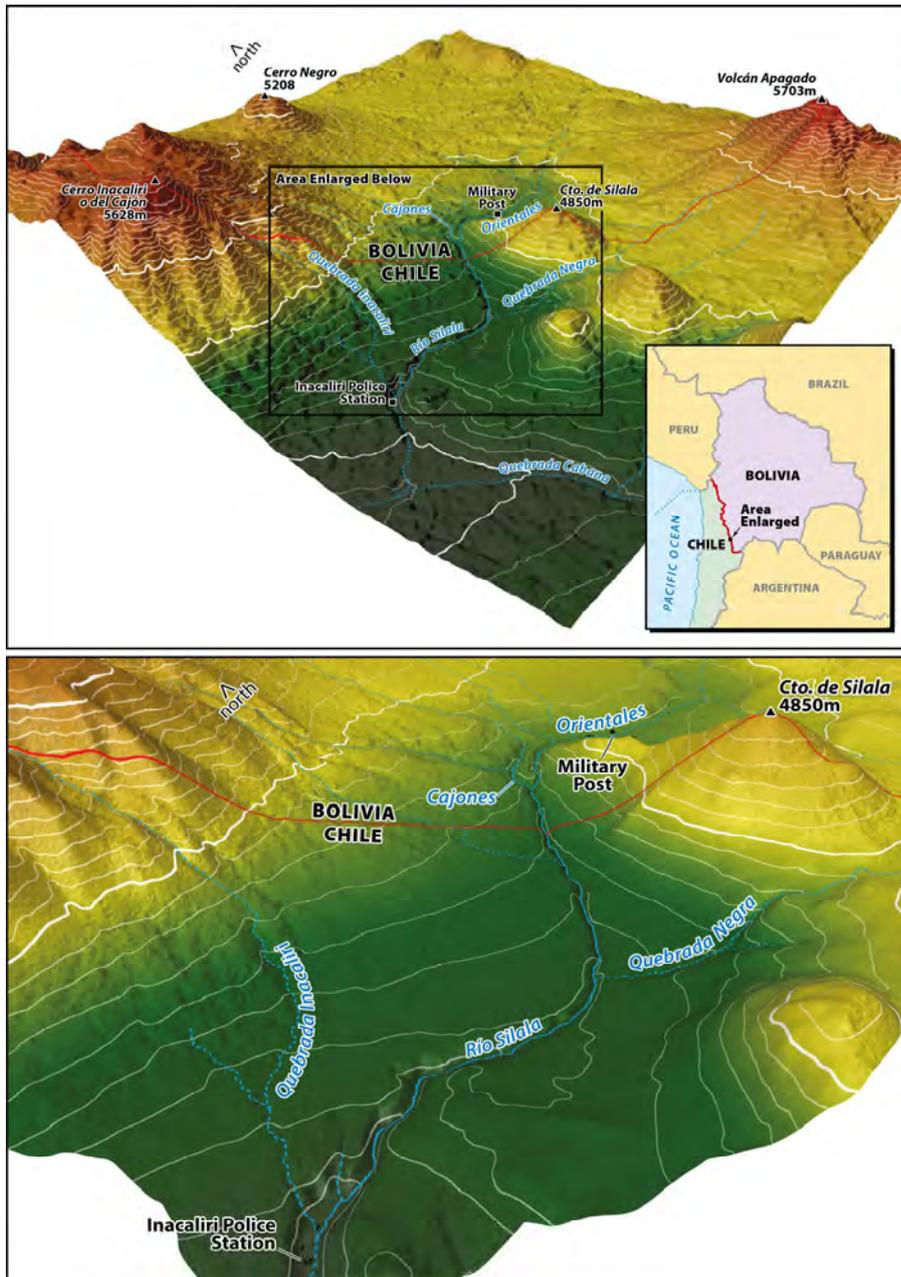


Figure 8-1
Topographie 3D et courbes de niveau caractérisant le bassin hydrographique du Silala (Alcayaga, 2017)

49

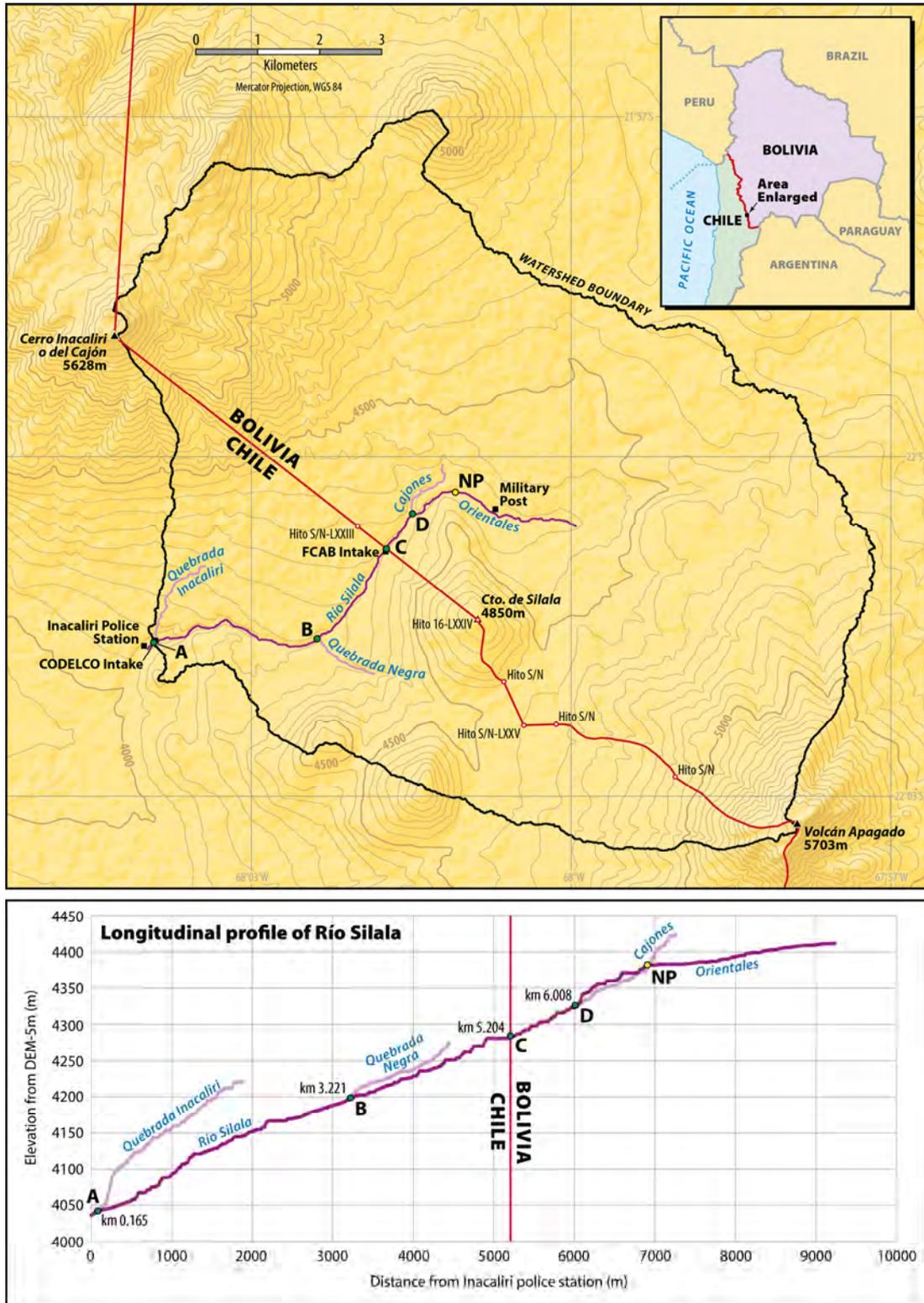


Figure 8-2
Profil longitudinal du Silala et de ses principaux affluents, extrait de la carte MNT 5 m
(Alcayaga, 2017)

Légende :

- | | | |
|--------------------------------------------|---|---------------------------------------------------------|
| Elevation from DEM-5m (m) | = | Altitudes relevées sur la carte MNT 5 m (m) |
| Distance from Inacaliri police station (m) | = | Distance par rapport au poste de police d’Inacaliri (m) |

9. RÉFÉRENCES

- Alcayaga, H., 2017. Characterization of the Drainage Patterns and River Network of the Silala River and Preliminary Assessment of Vegetation Dynamics Using Remote Sensing. (Vol. 4, annexe I)
- Arcadis, 2017. Detailed Hydrogeological Study of the Silala River. (Vol. 4, annexe II)
- Latorre, C. et Frugone, M., 2017. Holocene Sedimentary History of the Río Silala (Antofagasta Region, Chile). (Vol. 5, annexe IV)
- McRostie, V., 2017. Archaeological First Baseline Study for the Silala River, Chile. (Vol. 5, annexe VI)
- SERNAGEOMIN, 2017. Geology of the Silala River Basin. (Vol. 5, annexe VII)
- Wheater, H. S. et Peach, D. W., 2017. Le Silala dans sa forme actuelle — fonctionnement du système fluvial. (Vol. 1, rapport d'experts 1)
-

NOTICE BIOGRAPHIQUE DE HOWARD WHEATER

[Non traduit]

NOTICE BIOGRAPHIQUE DE DENIS PEACH

[Non traduit]

DÉCLARATION D'INDÉPENDANCE ET DE SINCÉRITÉ

1. Les opinions que j'ai formulées dans mes rapports sont l'expression de mon appréciation professionnelle sincère et indépendante. Lorsque je me suis appuyé sur les études d'observation et de surveillance réalisées sous ma supervision par les experts scientifiques chiliens ou sur des données qui m'ont été communiquées par la République du Chili, j'en ai fait état dans mon rapport.

2. Je comprends que c'est en premier lieu devant la Cour que je répons de la mission dont j'ai été chargé, tant au stade de la rédaction des deux rapports d'experts qui accompagnent le mémoire de la République du Chili que dans le cadre d'une éventuelle déposition orale. Je me suis acquitté et continuerai de m'acquitter de cette mission.

3. J'ai fait de mon mieux, lorsque j'ai rédigé les présents rapports, pour répondre de manière précise et complète aux questions posées par la République du Chili dans le cahier des charges reproduit dans les rapports. Je considère que tous les sujets sur lesquels j'ai exprimé une opinion relèvent de mon domaine d'expertise.

4. Pendant la rédaction des présents rapports, je n'ai eu connaissance d'aucun conflit d'intérêts, réel ou potentiel, de nature à compromettre ma capacité à produire un avis expert indépendant.

5. Je confirme n'avoir conclu aucun accord aux termes duquel le montant ou le versement de mes honoraires dépendrait d'une quelconque manière de l'issue de la présente procédure.

6. Lorsque j'ai mentionné des faits ne relevant pas de mon domaine de compétence, j'en ai indiqué la source.

7. Je n'ai jamais repris à mon compte un élément m'ayant été suggéré par des tiers, y compris des membres de l'équipe technique ou mes mandataires, sans m'être préalablement forgé une opinion indépendante.

L'ingénieur hydrologue,
(Signé) Howard WHEATER.

Le 22 juin 2017.

DÉCLARATION D'INDÉPENDANCE ET DE SINCÉRITÉ

1. Les opinions que j'ai formulées dans mes rapports sont l'expression de mon appréciation professionnelle sincère et indépendante. Lorsque je me suis appuyé sur les études d'observation et de surveillance réalisées sous ma supervision par les experts scientifiques chiliens ou sur des données qui m'avaient été communiquées par la République du Chili, j'en ai fait état dans mon rapport.

2. Je comprends que c'est en premier lieu devant la Cour que je répons de la mission dont j'ai été chargé, tant au stade de la rédaction des deux rapports d'experts qui accompagnent le mémoire de la République du Chili que dans le cadre d'une éventuelle déposition orale. Je me suis acquitté et continuerai de m'acquitter de ce devoir.

3. J'ai fait de mon mieux, lorsque j'ai rédigé les présents rapports, pour répondre de manière précise et complète aux questions posées par la République du Chili dans le cahier des charges reproduit dans les rapports. Je considère que tous les sujets sur lesquels j'ai exprimé une opinion relèvent de mon domaine d'expertise.

4. Pendant la rédaction des présents rapports, je n'ai eu connaissance d'aucun conflit d'intérêts, réel ou potentiel, de nature à compromettre ma capacité à produire un avis expert indépendant.

5. Je confirme n'avoir conclu aucun accord aux termes duquel le montant ou le versement de mes honoraires dépendrait d'une quelconque manière de l'issue de la présente procédure.

6. Lorsque j'ai mentionné des faits ne relevant pas de mon domaine de compétence, j'en ai indiqué la source.

7. Je n'ai jamais repris à mon compte un élément m'ayant été suggéré par des tiers, y compris des membres de l'équipe technique ou mes mandataires, sans m'être préalablement forgé une opinion indépendante.

L'hydrogéologue,
(Signé) Denis PEACH.

Le 22 juin 2017.

LISTE DES ANNEXES DU MÉMOIRE DU CHILI

VOLUME 2 (ANNEXES 1-39)

**TRAITÉS
ANNEXES 1-5**

- Annexe 1 Convention d'armistice entre la Bolivie et le Chili, signée à Valparaíso le 4 avril 1884
- Annexe 2 Traité de paix et d'amitié entre le Chili et la Bolivie, signé le 20 octobre 1904 [*Extrait*]
- Annexe 3 Protocole sur l'entretien des bornes frontière, 10 août 1942
- Annexe 4 Traité américain de règlement pacifique des différends («pacte de Bogotá»), 30 avril 1948, Nations Unies, *Recueil des traités*, vol. 30
- Annexe 5 Convention sur le droit relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation, New York, 21 mai 1997, Nations Unies, doc. A/RES/51/229 (1997)

**DOCUMENTATION DES COMMISSIONS MIXTES CHILI-BOLIVIE
ANNEXES 6-20**

- Annexe 6 Travaux de la commission des limites Chili-Bolivie, procès-verbal du 23 mars 1906 (p. 1-2)
- Annexe 7 Chile-Bolivia Mixed Revision and Replacement Commission, Minutes of 7 June 1924
- Annexe 8
- 8.1 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Revision Minutes of Boundary Marker N° LXXIII, 23 September 1959
 - 8.2 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Revision Minutes of Boundary Marker N° LXXIII, 17 September 1983
 - 8.3 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Revision Minutes of Boundary Marker N° LXXIII, 20 August 1991
- Annexe 9 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Monograph of Boundary Marker S/N-LXXIII, 20 August 1991
- Annexe 10
- 10.1 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Revision Minutes of Boundary Marker N° LXXIV, 22 September 1959
 - 10.2 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Revision Minutes of Boundary Marker N° LXXIV, 18 September 1983
 - 10.3 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Revision Minutes of Boundary Marker N° LXXIV, 18 November 1992
- Annexe 11 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Monograph of Boundary Marker N° 16-LXXIV, 18 November 1992
- Annexe 12
- 12.1 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Revision Minutes of Boundary Marker N° LXXV, 17 September 1983
 - 12.2 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Revision Minutes of Boundary Marker N° LXXV, 20 August 1991
- Annexe 13 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Monograph of Boundary Marker S/N-LXXV, 20 August 1991

- Annexe 14 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Minutes N° 38, 28 April 1992
- Annexe 15
- 15.1 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Monograph of Boundary Marker S/N Inacaliri, 4 November 1993
 - 15.2 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Monograph of Boundary Marker S/N Linzor (a), 4 November 1993
 - 15.3 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Monograph of Boundary Marker S/N Linzor (b), 4 November 1993
- Annexe 16 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Minutes N° 46, 21 April 1996
- Annexe 17
- 17.1 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Minutes N° 49, 20 November 1998
 - 17.2 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Minutes N° 49, Annex N° 2, 20 November 1998
- Annexe 18 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Minutes N° 50, Annex N° 5, 2 December 1998
- Annexe 19 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Minutes N° 51, 3 May 2001
- Annexe 20
- 20.1 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Minutes N° 53, 28 October 2011
 - 20.2 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Minutes N° 53, Annex N°4, 28 October 2011

**DOCUMENTATION DES GROUPES DE TRAVAIL CHILI-BOLIVIE
ANNEXES 21-24**

- Annexe 21 Procès-verbal de la première réunion du groupe de travail chilo-bolivien sur la question du Silala, 6 mai 2004
- Annexe 22 Procès-verbal de la deuxième réunion du groupe de travail chilo-bolivien sur les affaires bilatérales, 17 juillet 2006
- Annexe 23 Procès-verbal de la troisième réunion du groupe de travail chilo-bolivien sur la question du Silala, 10 juin 2008
- Annexe 24 Minutes of the Twenty-Second Meeting of the Bolivia-Chile Political Consultation Mechanism, 14 July 2010

**CORRESPONDANCE DIPLOMATIQUE ENTRE LE CHILI ET LA BOLIVIE
ANNEXES 25-39**

- Annexe 25
- 25.1 Lettre en date du 8 octobre 1992 adressée au président de la commission bolivienne sur la souveraineté et les frontières par le directeur national des frontières et des limites du Chili
 - 25.2 Lettre en date du 8 octobre 1992 adressée au consul général du Chili à La Paz par la direction chilienne des frontières et des limites de l'Etat
- Annexe 26 Note n° 474/71 en date du 20 mai 1999 adressée au ministère des affaires étrangères et des cultes de la République de Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz
- Annexe 27 Note n° GMI-656/99 en date du 3 septembre 1999 adressée au consulat général du Chili par le ministère des affaires étrangères et des cultes de

la République de Bolivie

- Annexe 28 Note n° 017550 en date du 15 septembre 1999 adressée au ministère des affaires étrangères et des cultes de la République de Bolivie par le ministère des affaires étrangères de la République du Chili
- Annexe 29 Note n° GMI-815/99 en date du 16 novembre 1999 adressée au ministère des affaires étrangères de la République du Chili par le ministère des affaires étrangères et des cultes de la République de Bolivie
- Annexe 30
- 30.1 Note n° 1084/151 en date du 14 octobre 1999 adressée au ministère des affaires étrangères et des cultes de la République de Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz
 - 30.2 Note n° 022314 en date du 3 décembre 1999 adressée au ministère des affaires étrangères et des cultes de la République de Bolivie par le ministère des affaires étrangères de la République du Chili
- Annexe 31 Note n° 006738 en date du 27 avril 2000 adressée au ministère des affaires étrangères et des cultes de la République de Bolivie par le ministère des affaires étrangères de la République du Chili
- Annexe 32
- 32.1 Note n° 74 en date du 19 décembre 2000 adressée au consulat général de Bolivie à Santiago par le ministère chilien des affaires étrangères
 - 32.2 Note n° CGB/19/2001 en date du 17 janvier 2001 adressée au ministère chilien des affaires étrangères par le consulat général de Bolivie à Santiago
 - 32.3 Note n° CGB/48/2001 en date du 9 février 2001 adressée au ministère chilien des affaires étrangères par le consulat général de Bolivie à Santiago
 - 32.4 Profil en long du Silala (sans date, réalisé par le Chili en 2001)
- Annexe 33
- 33.1 Note n° 973/224 en date du 16 novembre 2001 adressée au ministère bolivien des affaires étrangères par le consulat général du Chili à La Paz
 - 33.2 Note n° VREC-185/2001-0020 en date du 4 janvier 2002 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère bolivien des affaires étrangères
 - 33.3 Note n° 019/05 en date du 18 janvier 2002 adressée au ministère bolivien des affaires étrangères par le consulat général du Chili à La Paz
- Annexe 34 Note n° 199/39 en date du 7 mai 2012 adressée au ministère des affaires étrangères de l'Etat plurinational de Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz
- Annexe 35 Note n° 389/149 en date du 9 octobre 2012 adressée au ministère des affaires étrangères de l'Etat plurinational de Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz
- Annexe 36 Note n° VRE-DGRB-UAM-020663/2012 en date du 25 octobre 2012 adressée au consulat général du Chili par le ministère des affaires étrangères de l'Etat plurinational de Bolivie
- Annexe 37
- 37.1 Note n° 586/206 en date du 21 décembre 2012 adressée au ministère des affaires étrangères de la Bolivie par le consulat

général du Chili à La Paz

- 37.2 Note n° VRE-DGLF-UMA-000715/2013 en date du 17 janvier 2013 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère des affaires étrangères de la Bolivie
- 37.3 Note n° 003933 en date du 9 avril 2013 adressée au consulat général de Bolivie à Santiago par le ministère des affaires étrangères du Chili
- 37.4 Note n° VRE-DGLF-UMA-008107/2013 en date du 9 mai 2013 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère des affaires étrangères de la Bolivie
- 37.5 Note n° 269/134 en date du 25 septembre 2013 adressée au ministère des affaires étrangères de la Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz
- 37.6 Note n° VRE-DGLF-UMA-017599/2013 en date du 2 octobre 2013 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère des affaires étrangères de la Bolivie
- 37.7 Note n° 323/157 en date du 29 octobre 2013 adressée au ministère des affaires étrangères de la Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz
- 37.8 Note n° VRE-DGLF-UMA-020899/2013 en date du 19 novembre 2013 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère des affaires étrangères de la Bolivie
- 37.9 Note n° 362/180 en date du 28 novembre 2013 adressée au ministère des affaires étrangères de la Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz
- 37.10 Note n° VRE-DGLF-UMA-022856/2013 en date du 16 décembre 2013 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère des affaires étrangères de la Bolivie
- 37.11 Note n° 63/51 en date du 12 février 2014 adressée au ministère des affaires étrangères de la Bolivie par le consulat général du Chili à La Paz
- 37.12 Note n° VRE-DGLFAIT-UAIT-Nv-7/2014 en date du 19 février 2014 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère des affaires étrangères de la Bolivie
- Annexe 38 38.1 Note n° 96/72 en date du 27 mars 2014 adressée au ministère des affaires étrangères de l'Etat plurinational de Bolivie par le ministère des affaires étrangères du Chili
- 38.2 Note n° VRE-DGLFAIT-UAIT-Cs-136/2014 en date du 10 avril 2014 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère des affaires étrangères de l'Etat plurinational de Bolivie
- Annexe 39 39.1 Note n° 29/17 en date du 7 février 2017 adressée au ministère bolivien des affaires étrangères par le consulat général du Chili à La Paz
- 39.2 Note n° VRE-Cs-47/2017 en date du 24 mars 2017 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère bolivien des affaires étrangères

- 39.3 Note n° VRE-Cs-117/2017 en date du 25 mai 2017 adressée au consulat général du Chili à La Paz par le ministère bolivien des affaires étrangères

VOLUME 3 (ANNEXES 40-76)

COMMUNICATIONS ET DOCUMENTS OFFICIELS DE LA BOLIVIE

ANNEXES 40-53

- Annexe 40 Travaux de la commission des limites Chili-Bolivie, rapport du 14 août 1906 signé par le chef de la commission bolivienne chargée de la démarcation, Quintín Aramayo Ortíz (p. 14-18)
- Annexe 41 Acte de concession (no 48), par la Bolivie, des eaux du Siloli en faveur de l'Antofagasta (Chili) and Bolivia Railway Company Limited, en date du 28 octobre 1908
- Annexe 42 Communication n° 71 en date du 9 août 2010 adressée à la FCAB par le Gouvernement bolivien
- Annexe 43 Report by Major Carlos Graña & C. on the Revision of the Boundary with Chile, La Paz, 20 June 1924
- Annexe 44 44.1 Bolivie, décret n° 11.239, 13 décembre 1973
44.2 Bolivie, décret n° 18.313, 14 mai 1981
- Annexe 45 Communiqué de presse émanant du ministère des affaires étrangères de la Bolivie, 7 mai 1996, *El Diario*, La Paz (Bolivie)
- Annexe 46 Arrêté n° 71/97 de la préfecture du département de Potosí (Bolivie), 14 mai 1997
- Annexe 47 Chambre des députés de la Bolivie, bulletin n° 308, 27 avril 1999
- Annexe 48 Contrat de concession de l'utilisation et de l'exploitation des sources du Silala, conclu le 25 avril 2000 entre le surintendant bolivien des installations sanitaires de base et DUCTEC S.R.L.
- Annexe 49 Communiqué de presse du ministère des affaires étrangères de la Bolivie en date du 26 février 2002
- Annexe 50 Bolivian Administrative Resolution N° 75/2003 by the Superintendency of Basic Sanitation, 30 May 2003
- Annexe 51 Bolivian Information Sheet on Ramsar Wetlands – 2009-2012 Version, 4 May 2009
- Annexe 52 Communiqué de presse du ministère des affaires étrangères de la Bolivie en date du 1^{er} octobre 2010
- Annexe 53 53.1 Etat plurinational de Bolivie, note n° OEA-SG-111-11 en date du 9 juin 2011, à laquelle était annexé l'instrument de ratification du «pacte de Bogotá», daté du 14 avril 2011
53.2 Etat plurinational de Bolivie, note n° MPB-OEA-ND-039-13 en date du 8 avril 2013, à laquelle était annexé l'instrument de retrait de la réserve au «pacte de Bogotá», reçue le 10 avril 2013

COMMUNICATIONS ET DOCUMENTS OFFICIELS DU CHILI

ANNEXES 54-62

- Annexe 54 Chilean Law of 21 January 1888

- Annexe 55 Acte de concession (n° 1892), par le Chili, des eaux du Siloli en faveur de l'Antofagasta (Chili) and Bolivia Railway Company Limited, en date du 31 juillet 1906
- Annexe 56 République du Chili, arrêté n° 1.324 du 25 juin 1958
- Annexe 57 République du Chili, décret n° 526 du 21 août 1967, publié le 6 septembre 1967
- Annexe 58 Acte de concession émis le 22 janvier 1990 par le Chili, régissant les droits de la FCAB sur le Silala conformément aux dispositions du code de l'eau de 1981
- Annexe 59 République du Chili, arrêté n° 239 du 22 mars 1990
- Annexe 60 Communiqué de presse du ministère des affaires étrangères du Chili en date du 4 mars 2002
- Annexe 61 République du Chili, arrêté n° 5571 en date du 28 novembre 2002, signé par le directeur de la santé d'Antofagasta
- Annexe 62 République du Chili, objection à la réserve formulée par l'Etat plurinational de Bolivie, en date du 10 juin 2011

**DOCUMENTATION DE L'ANTOFAGASTA (CHILI) AND BOLIVIA
RAILWAY COMPANY LIMITED (FCAB)
ANNEXES 63–69**

- Annexe 63 Letter from the General Manager of FCAB in Chile to the Secretary of the Board of Directors of FCAB in London, 15 December 1905
- Annexe 64 Letter from the General Manager of FCAB in Chile to the Secretary of the Board of Directors of FCAB in London, 28 June 1906
- Annexe 65 Request from FCAB to the Government of Bolivia, 3 August 1910
- Annexe 66 Letter from the General Manager of FCAB in Chile to the Secretary of the Board of Directors of FCAB in London, 23 November 1910
- Annexe 67
- 67.1 Letter from the General Manager of FCAB in Chile to the Secretary of the Board of Directors of FCAB in London, 27 January 1928
 - 67.2 Letter from the General Manager of FCAB in Chile to the Secretary of the Board of Directors of FCAB in London, 29 June 1928
- Annexe 68 Letter from the General Manager of FCAB in Chile to the Chairman of the Board of Directors of FCAB in London, 3 September 1942
- Annexe 69
- 69.1 Notice of Termination of Water Supply by FCAB to Baquedano, 5 October 2010
 - 69.2 Notice of Termination of Water Supply by FCAB to Sierra Gorda, 5 October 2010

**ARTICLES DE PRESSE
ANNEXES 70–73**

- Annexe 70 La Época, "Bolivia Asks Chile for Compensation for Collecting the Waters of the Silala River", La Paz, 21 May 1996
- Annexe 71 Interview donnée par M. Teodosio Imaña Castro, ambassadeur de la Bolivie, le 31 mai 1996, *Presencia*, La Paz (Bolivie)

- Annexe 72 72.1 «Le président Morales donne pour instruction d’explorer les différentes voies juridiques ouvertes au pays pour défendre les eaux du Silala», *Prensa Palacio*, La Paz, 23 mars 2016
- 72.2 «Evo Morales annonce que la Bolivie saisira la justice internationale concernant les eaux du Silala», *La Nación*, La Paz, 23 mars 2016
- 72.3 «La Bolivie compte introduire une instance contre le Chili à La Haye au sujet du Silala», *Página Siete Digital*, La Paz, 26 mars 2016
- 72.4 «Evo montre au monde entier que les eaux du Silala appartiennent à la Bolivie» *Camiri.net*, La Paz, 29 mars 2016

Annexe 73 La Razón, “The Minister of Foreign Affairs Foresees Two Years to Prepare the Claim for the Silala”, La Paz, 8 April 2016

AUTRES DOCUMENTS

ANNEXES 74–76

- Annexe 74 Transaction Contract Celebrated Between CODELCO and FCAB, 6 November 1989
- Annexe 75 Robert H. Fox, The Waterworks Department of the Antofagasta (Chili) & Bolivia Railway Company, South African Journal of Science, 1922
- Annexe 76 Invoice N° 003/00 from DUCTEC to CODELCO, 5 May 2000

VOLUME 6 (ANNEXES 77-91)

ATLAS

ANNEXES 77–91

- Annexe 77 A. Bertrand, Map of the Mountain Ranges in the Atacama Desert and Adjacent Regions, 1884
- Annexe 78 J. Leigue Moreno, Geographic and Chorographic Map, 1890
- Annexe 79 L. Brackebusch, Map of the Republic of Argentina, 1891
- Annexe 80 F. Fuentes, Map of the Province of Antofagasta, 1897
- Annexe 81 E. Idiaquez, Map of the Republic of Bolivia, 1901
- Annexe 82 Map Appended to the Treaty of Peace and Amity, 20 October 1904
- Annexe 83 L. García Mesa, General Map of Bolivia, 1905
- Annexe 84 Chilean Boundary Commission, Antofagasta Sheet, 1907
- Annexe 85 J. J. Heuisler, Map of the Saltpetre Region of Chile Comprised Between El Toco and Copiapó, 1907
- Annexe 86 Land Measuring Office of Chile, Map (untitled), in: The Boundary Line with the Republic of Bolivia, 1910
- Annexe 87 Bolivian Military Geographical Institute (I.G.M.), Cerro Silala Chico Sheet 5927 I Series H731, 1st ed., 1971
- Annexe 88 88.1 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Annex N° 34 to Minutes N° 38, 28 April 1992
- 88.2 Chile-Bolivia Mixed Boundary Commission, Annex N° 34-A to Minutes N° 38, 28 April 1992
- Annexe 89 Bolivian Geology and Mining Survey (SERGEOMIN), Geological Map

- of Bolivia, Sheet 5927-6027 Silala-Sanabria, ed. March 1997
- Annexe 90 Bolivian Military Geographical Institute (I.G.M.), Map of South America (Bolivia) Volcán Juriques, 1st ed., reissued May 1997
- Annexe 91 Chilean Military Geographical Institute (I.G.M.), Inacaliri Sheet, 3rd ed., 2014

LISTE DES ANNEXES DES RAPPORTS DES EXPERTS

VOLUMES 4, 5 ET 6

VOLUME 4 (ANNEXES I-III)

- ANNEXE I Alcayaga, H., 2017. Characterization of the Drainage Patterns and River Network of the Silala River and Preliminary Assessment of Vegetation Dynamics Using Remote Sensing
- ANNEXE II Arcadis, 2017. Detailed Hydrogeological Study of the Silala River
- ANNEXE III Herrera, C. and Aravena, R., 2017. Chemical and Isotopic Characterization of Surface Water and Groundwater of the Silala Transboundary Basin, Second Region, Chile

VOLUME 5 (ANNEXES IV-X)

- ANNEXE IV Latorre, C. and Frugone, M., 2017. Holocene Sedimentary History of the Río Silala (Antofagasta Region, Chile)
- ANNEXE V Mao, L., 2017. Fluvial Geomorphology of the Silala River, Second Region, Chile
- ANNEXE VI McRostie, V., 2017. Archaeological First Baseline Study for the Silala River, Chile
- ANNEXE VII Muñoz, J. F., Suárez, F., Fernández, B., Maass, T., 2017. Hydrology of the Silala River Basin
- ANNEXE VIII SERNAGEOMIN (National Geology and Mining Service), 2017. Geology of the Silala River Basin
- ANNEXE IX Suárez, F., Muñoz, J. F., Maass, T., Mendoza, M., 2017. Evapotranspiration Estimation in the Silala River Basin — Methods Review and Estimation of Wetland Evaporation
- ANNEXE X Suárez, F., Sandoval, V., Sarabia, A., 2017. RiverAquifer Interactions Using Heat as a Tracer in the Transboundary Basin of the Silala River
- Data CD CD-ROM containing supporting data to Annexes I–X

VOLUME 6 ATLAS

(APPENDICES E-G À L'ANNEXE VIII)

- Appendice E SERNAGEOMIN, Geology of the Silala River Area, 2017
- Appendice F SERNAGEOMIN, Simplified Compilation of the Geology in the Silala River Area, 2017

Appendice G Sellés, D. and Gardeweg, M., Geology of the Area Ascotán-Inacaliri Hill.
SERNAGEOMIN, Geological Map of Chile, Basic Geology Series, Santiago
(in edition)

ATTESTATION

Je certifie par la présente que les annexes et les rapports joints sont des copies conformes des documents auxquels il est fait référence et que les traductions fournies sont exactes.

L'agent de la République du Chili,
(*Signé*) Ximena FUENTES T.

Le 3 juillet 2017.
