

Mission ORSTOM en Bolivie
CP. 8714
La Paz

PROJET D'ETUDE DES RESSOURCES EN EAUX DE SURFACE
DANS LA 2ème REGION DU CHILI

ORSTOM - UNIVERSITE DU NORD (CHILI)

J. BOURGES
UR 2A - DEC

Septembre, 1989

SOMMAIRE

1. Le bassin de la LOA
 2. Le système SALAR
 3. Le problème de l'eau dans la 2ème région
 - 3.1 Les besoins
 - 3.2 Les ressources exploitées
 4. Propositions pour l'étude de la LOA
 - 4.1 Programme
 - 4.1.1 Inventaire des ressources en eaux de surface
 - 4.1.2 Inventaire des ressources en eaux souterraines
 - 4.1.3 Gestion des ressources
 - 4.2 Moyens
 - 4.3 Partenaires
 5. Propositions pour l'étude du système SALAR
 - 5.1-2 Inventaire des ressources
 - 5.3 Utilisation
 6. Conclusions
- Annexe : Compte Rendu de Mission.

PROJET D'ETUDE DES RESSOURCES EN EAUX DE SURFACE
DANS LA 2ème REGION DU CHILI

en collaboration entre l'ORSTOM et l'Université du Nord (Chili)

par J. BOURGES
UR 2A - DEC

Suite aux résultats positifs d'une mission exploratoire (BOURGES-DEJOUX) réalisée en Mars 1989, et à l'intérêt suscité auprès de la Direction Générale et de certains départements par une coopération avec le Chili, a été programmée une seconde mission afin de jeter les bases d'un projet de coopération scientifique et d'en étudier concrètement la réalisation.

La mission commune interdisciplinaire initialement prévue n'a pu se réaliser pour des contraintes de calendrier. Le volet "Ressources en eaux" de ce projet a fait l'objet d'une mission conjointe avec P. POURRUT en Juillet.

Cette note a pour but de décrire brièvement le milieu, de situer les problèmes de nos "partenaires" et de présenter un avant-projet d'étude dans le domaine des eaux de surface. De son côté, P. POURRUT a fait état dans son rapport de mission de conclusions auxquelles j'adhère.

Les conditions d'une coopération scientifique réussie avec l'Université du Nord semblent actuellement réunies sans que la charge en soit trop pesante pour l'ORSTOM. Ce retour dans une région d'où la recherche française a été absente durant 15 ans pourrait constituer les prémices d'une coopération élargie à tout le Chili.

NOTA : Certaines valeurs mentionnées dans cette note (débits captés, superficie) peuvent être différentes de celles indiquées par P. POURRUT dans son rapport. La différence vient du fait que les informations communiquées au cours de cette mission et celles transmises par écrit lors d'échanges postérieurs, n'étaient pas toujours concordantes.

1. Le bassin de la LOA

La Loa est l'un des rares cours d'eau de cette région qui, prenant sa source dans les Andes, parvient jusqu'à l'Océan mettant à profit une série de failles géologiques pour traverser les cordillères qui la séparent de la côte. Cette

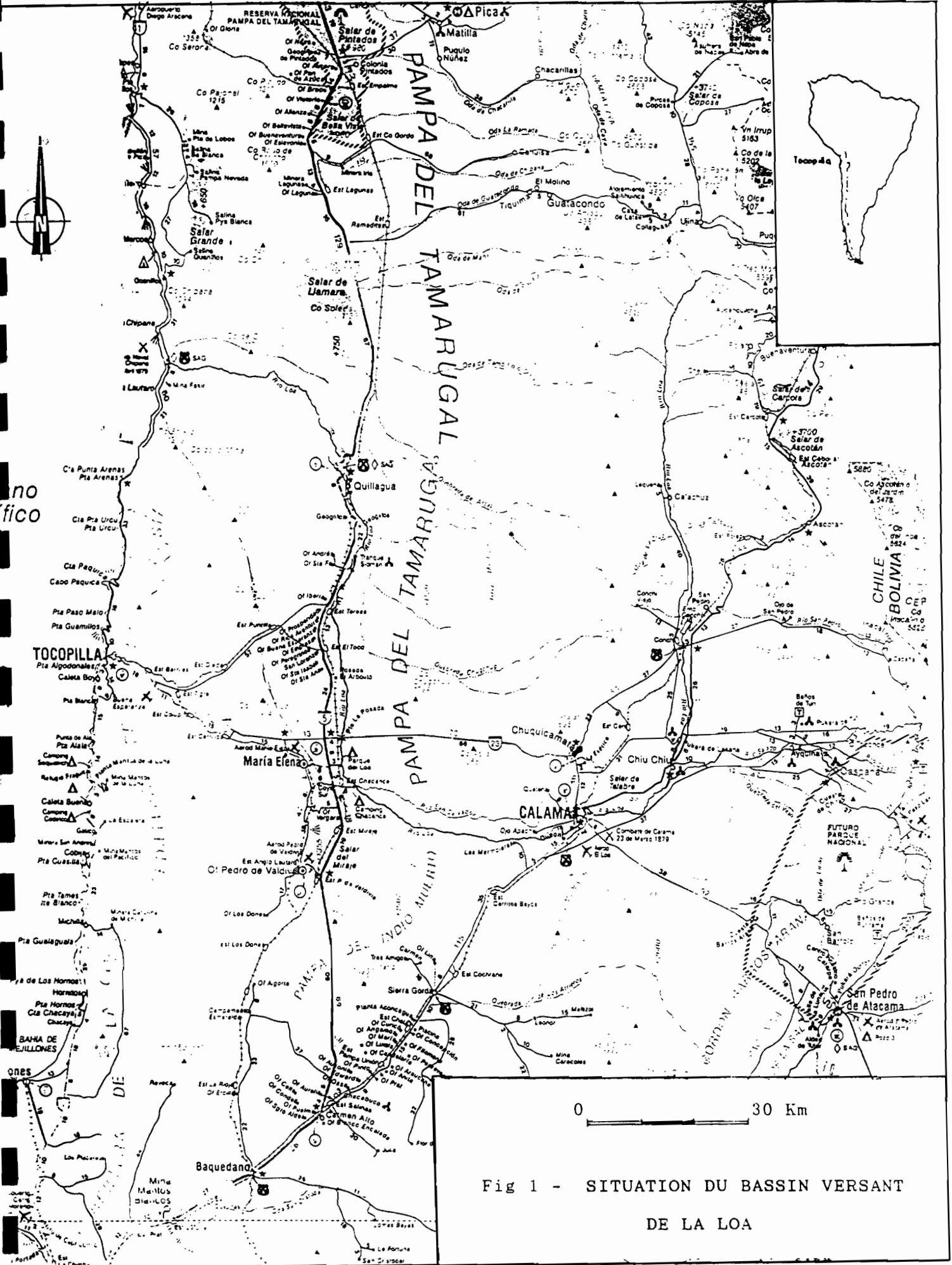


Fig 1 - SITUATION DU BASSIN VERSANT
DE LA LOA

morphologie particulière composée de reliefs et de dépressions successives parallèles à la cordillère des Andes, confère au cours de la Loa un tracé géométrique : Nord-Sud, puis Est-Ouest, et Sud-Nord avant de traverser la cordillère de la Côte pour se jeter dans l'Océan à la même latitude qu'elle prend sa source. Elle draine un bassin de 33860 Km² situé autour de 22° de latitude Sud.

En dehors de petits cours d'eau, principalement situés dans son cours supérieur, la Loa reçoit trois affluents importants: le río San Pedro, le río San Salvador et surtout, le río Salado.

L'importance des apports et les caractéristiques hydro-chimiques amènent à diviser ce bassin en trois sous-bassins:

- le bassin de la Loa supérieure qui englobe la partie amont jusqu'à la confluence avec le río Salado (3,020 Km²)
- le bassin du Salado avec ses eaux très salines (2,380 Km²)
- le bassin de la Loa inférieure qui est surtout une zone d'utilisation de l'eau.

Les apports proviennent principalement des deux premiers sous-bassins. Sans les prélèvements effectués sur le cours de la Loa supérieure, les apports de cette région seraient plus importants que ceux du río Salado. Selon une évaluation actuelle (H. Alonso) la participation du Salado représenterait 58% des apports à la Loa inférieure, avec seulement 44% de la superficie.

Sur le bassin de la Loa supérieure, les apports sont fournis par un réseau relativement dense d'affluents drainant la région de Ollague, et par le río San Pedro d'Inacalari.

Mais, les prélèvements sont nombreux puisqu'on ne compte pas moins de six aqueducs qui pompent l'eau de la Loa ou de ses affluents au niveau du pont de Conchi, dont deux, Lequena et Quinchamale, gérés par SENDOS pour l'approvisionnement urbain.

Une retenue a été construite à Conchi, à fin de régulariser les apports de ce bassin, particulièrement en vue des besoins agricoles.

Les eaux sont peu salées (0,5 g/l).

Le río Salado prend naissance à 4300 m d'altitude dans la

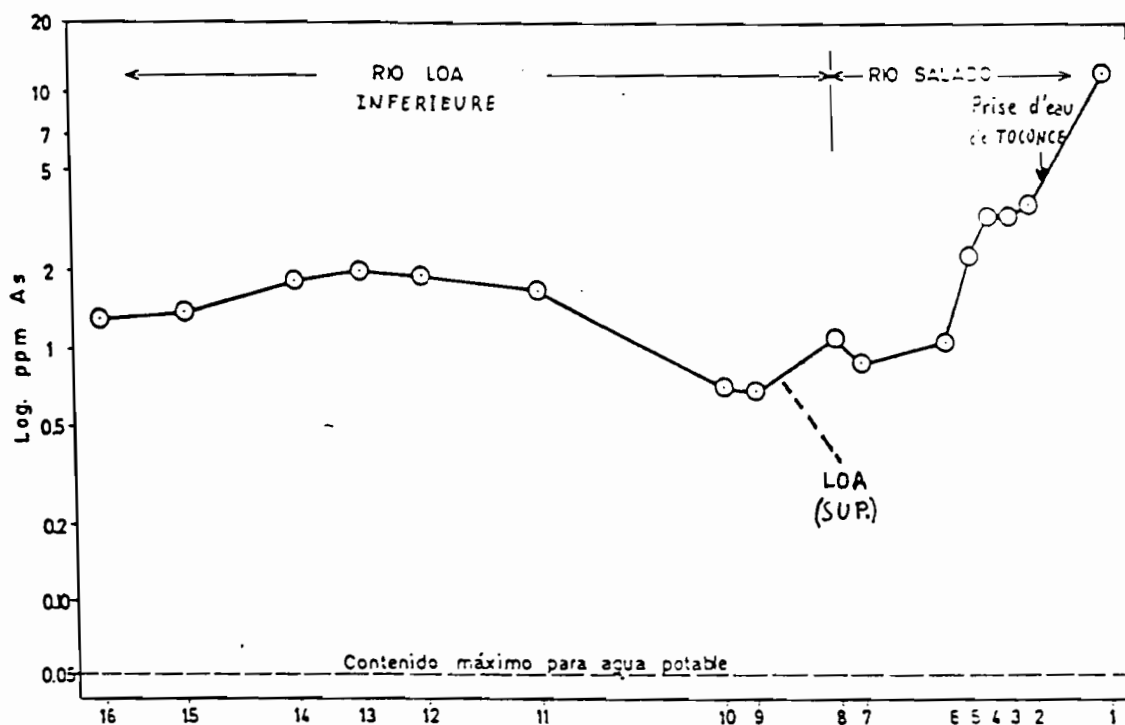


Fig. 2 - EVOLUTION DU CONTENU EN ARSENIC DU SYSTEME LOA-SALADO

Salado : 1 : Sortie du Tatio, 2 : avant le rio Toconce, 3 : après le rio Toconce, 4 : avant rio Curti, 6 : Ayquina, 7 : Yalqui, 8 : avant l'embouchure de la Loa
 Loa : 9 : Yalquincha, 10 : La Finca, 11 : avant le rio San Salvador, 12 : au pont de la Posada, 13 : Slowman, 14 : Quillagua, 15 : Calate, 16 : embouchure.

(d'après H. ALONSO, 1986)

région du Tatio, zone de volcanisme actif, d'où s'échappent de nombreux geysers qui déterminent les caractéristiques hydrochimiques de ce cours d'eau.

Au fur et à mesure de sa descente vers la plaine de Calama, il reçoit des affluents en rive gauche (Quebrada Caspana, Quebrada Curti) dont les eaux peu salées (0,7 g/l) diminuent sa salinité, et en rive droite des eaux d'origine volcanique, salées et chargées en métaux contaminants : As, Bo, Li... A sa confluence, le Salado possède des eaux dont la salinité oscille de 2 à 3 g/l.

En réalité, les eaux du haut-bassin du Salado, avant sa confluence avec la quebrada Caspana, sont entièrement pompées par CODELCO, sauf peut-être en saison des pluies, ce qui "améliore" la qualité des eaux à l'aval en enlevant une partie des eaux contaminées.

Deux autres pompages sont effectués sur ce bassin pour l'approvisionnement en eau potable, l'un sur le Lindsor de 50 litres par seconde (CODELCO), et l'autre sur le Toconce de 470 l/s.

Plusieurs communautés agricoles, utilisant les cultures en terrasse traditionnelles des Incas (los andenes), sont aussi des utilisateurs non négligeables. Leur réseau d'irrigation, parfaitement conservé, prélève l'eau sur des affluents en général moins salés que le Salado. Sur les deux sites visités, Caspana et Ayquina, se fait sentir les effets de l'exode de la population vers les centres miniers qui, aux dires de certains agriculteurs, serait causé par le manque d'eau, ce qui n'a pas semblé évident lors de notre passage...

Deux stations hydrométriques équipées de limnigraphes semblent être en fonctionnement dans la zone visitée : l'une de CODELCO, située sur la retenue de la prise d'eau du Salado, l'autre de la DGA, quelques kilomètres à l'aval, aménagée avec un seuil épais.

A partir de la jonction de la Loa et du Salado, la salinité des eaux ne fait que croître jusqu'à l'embouchure, marquée par les caractéristiques hydrochimiques des eaux du Salado. A cette augmentation, deux raisons :

- la concentration des sels par le drainage des eaux d'irrigation;
- l'augmentation de la solubilité avec la température.

Du point de vue quantitatif, la Loa inférieure ne reçoit pratiquement pas d'apports, à l'exception du San Salvador.

Le but de la mission n'étant pas de faire des mesures, nous nous sommes bornés, avec P. POURRUT, à estimer les débits aux trois stations visités :

- Au pont de la route de San Pedro à Calama, près de cette agglomération, le débit a été estimé le 19 juillet entre 1,5 et 1,7 m³/s avec une eau très claire. La salinité serait de 2,8 g/l (Alonso).

- A la station de Chacance, 80 Kms à l'aval de Calama, située à la jonction du San Salvador et de la Loa, les apports respectifs ont été évalués à 200 l/s et de 1,6 à 1,8 m³/s.

- Au pont de la Posada, le débit serait d'environ 2 m³/s avec une salinité de 5 g/l (Alonso). La turbidité est nulle. Ce débit qui, pour une région préoccupée par ses ressources en eaux, nous a paru important, s'explique par l'absence d'irrigation à cette époque de l'année.

Dans cette partie du cours, le plus grand utilisateur de l'eau est l'agriculture avec les zones maraichères de Calama et Quillagua. Sa consommation est difficile à mesurer étant donné l'éparpillement de petites exploitations.

Deux complexes industriels salpêtriers (Coya Sur et María Elena) tirent aussi un débit de l'ordre de 280 l/s.

Plus à l'aval de cette zone existe une retenue, le barrage de Sloman, destiné à fournir l'eau à la région agricole de Quillagua. Malgré la salinité très forte de l'eau (3 à 4 fois supérieure aux normes de l'US Salinity Laboratory Staff) l'agriculture traditionnelle dans cette zone a des bons rendements.

2. Le système Salar

Le salar d'Atacama occupe une dépression située à 2300 m d'altitude, entre la cordillère Occidentale et la cordillère de Domeyko. Ce système endoréique draine un bassin de 16000 Km² principalement formé par des cours d'eau provenant de la cordillère occidentale. Recouvert par le volcanisme, encore actif, de cette cordillère d'un manteau de laves et de scories, le versant occidental présente une surface plane, descendant en pente douce vers le Salar.

Les eaux d'origine pluviale et nivale s'infiltrent dans le matériau volcanique très perméable et réapparaissent en bas de pente formant des "quebradas" qui taillent de profonds thalwegs avant de déboucher sur le Salar. Sur chacune de ces quebradas s'est fixée une communauté agricole.

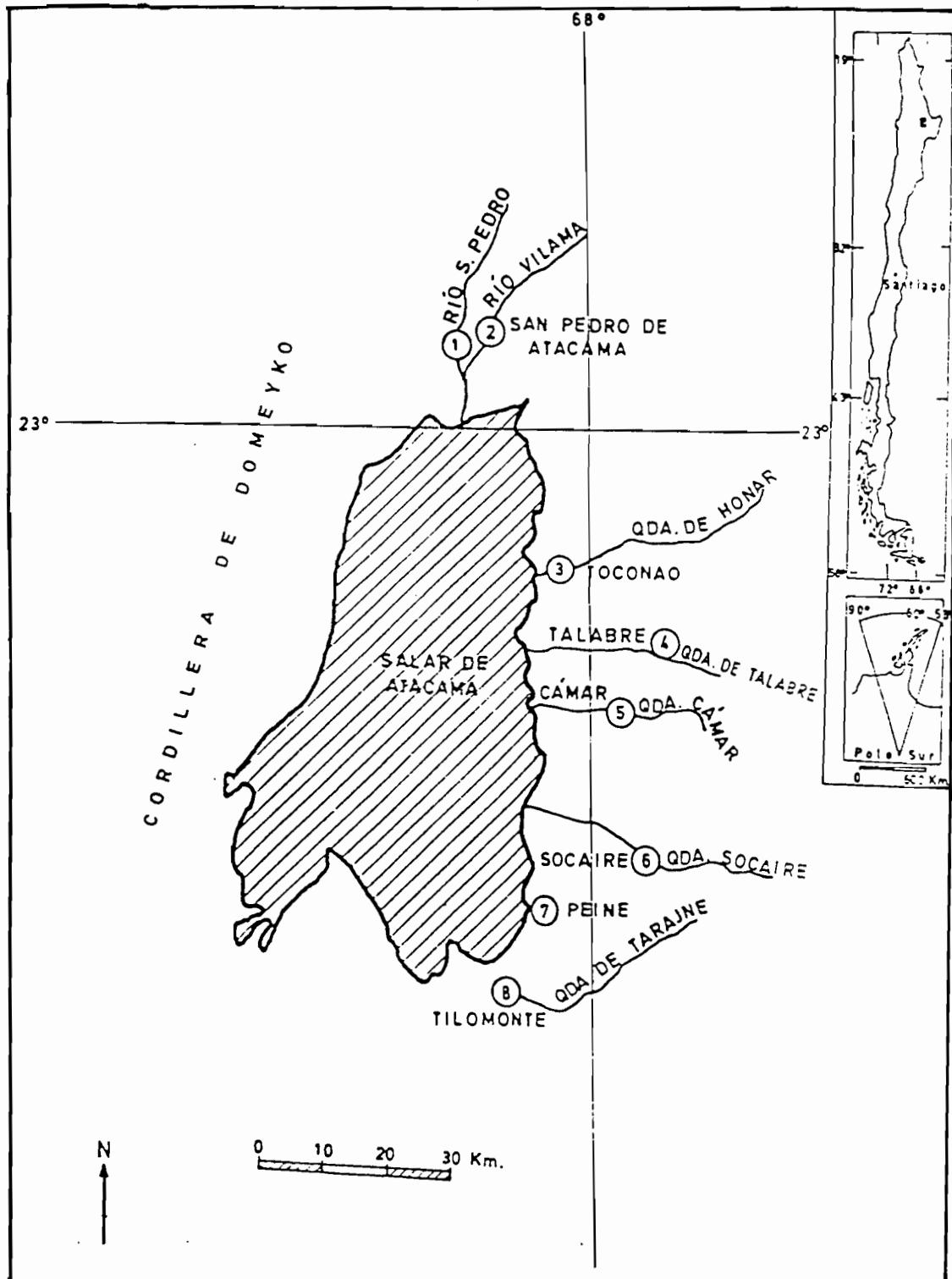


Fig. 3 - BASSIN VERSANT DU SALAR D'ATACAMA

C'est le cas de TOCONAO, où fonctionne un système de canaux d'irrigation, avec seuils et partiteurs, qui distribuaient un débit de l'ordre de 70 à 100 l/s dans un réseau complexe de jardins, souvent à l'abandon, ou parfois plantés d'arbres fruitiers, de luzerne ou de légumes. Ce jour là, dans la partie visitée, aucune parcelle n'était en irrigation; l'eau courait à travers les canaux et rejoignait le lit du río à la sortie du périmètre.

Même si, en hivernage, il est normal de ne pas irriguer, il ne semble pas, dans le cas présent, exister un problème quantitatif. Du moins pour l'instant car, là encore, se fait sentir la concurrence avec les mines à travers l'installation d'une mine de sel : MINSAL.

D'après la DGA (*), les ressources en eaux du système Salar seraient les suivantes (voir carte fig. 3) :

Tableau 1
Ressources en eau du système SALAR

Communauté	río/quebrada	Débits (l/s)
San Pedro de Atacama	Río San Pedro, y	660 - 840
	Río Vilama	200 - 250
Toconao	Quebrada Hónar	47 - 70
Talabre	Quebrada Talabre	18 - 49
Cámar	Quebrada Cámar	1 - 5
Socaire	Quebrada Socaire	150 - 180
Peine	Quebrada Peine	8 - 12
Tilomonte	Quebrada Tarajne	37 - 86

(Source : D.G.A. (*), II région)

Mais, aucun suivi régulier ne permet de confirmer ces débits, ni par des stations d'observation, ni même à partir de jaugeages occasionnels.

(*) DGA : Direction Générale des Eaux (cf. 4-3).

Au niveau de la qualité des eaux, on constate que les concentrations en cations nocifs relevés dans ces eaux augmentent avec la latitude, principalement en Arsenic et Bore. Ces éléments sont particulièrement nuisibles l'un pour la consommation et l'autre pour l'irrigation.

3. Le problème de l'eau dans la 2ème région

3.1 Les besoins

Selon les données de la DGA, la consommation dans la 2ème région en 1967, sur la base des ressources exploitées, se répartissait comme suit :

Consommation urbaine	1130 l/s	21%
Agriculture	2800 l/s	53%
Mines	1380 l/s	26%

Si on convient qu'il est difficile de diminuer la consommation urbaine, il reste, à défaut de nouvelles ressources, à définir les priorités des besoins des deux autres secteurs.

Du point de vue économique, il ressort que, avec 26% de la consommation, les mines participent pour 73% au Produit Régional Brut, alors que l'agriculture n'émarge que pour 0,2% de ce PRB.

Bien sûr, toutes les données ne sont pas quantifiables, et les pertes dues à la disparition de communautés ancestrales, essentiellement basées sur l'agriculture, sont difficiles à quantifier.

On notera qu'en 1989, la consommation s'est modifiée de la façon suivante :

Consommation urbaine	1300 l/s
Agriculture	non évaluée
Mines	4400 l/s

Il est probable qu'une partie des ressources supplémentaires des mines a été prélevée sur le quota de l'agriculture.

3.2 Les ressources exploitées

Le problème majeur de cette région vient de la localisation des sources d'approvisionnement en eau de surface, situées dans la cordillère occidentale et très éloignées des centres de consommation, industriels ou urbains, implantés sur la côte où vit 80% de la population de cette région.

Dès les premières exploitations salpêtrières dans le désert d'Atacama, à la fin du XIXème siècle, se posait le problème de l'approvisionnement en eau, tant pour l'extraction du minerai que pour la consommation du personnel et des animaux de traits.

D'abord assuré par des bateaux citernes qui amenaient l'eau de Valparaiso, puis lorsque la population augmenta par des usines de distillation d'eau de mer fonctionnant au charbon, l'approvisionnement en eau a été en partie résolu vers 1920 lors de la construction du chemin de fer La Paz-Antofagasta qui transportait l'eau depuis la cordillère, suivi quelques années plus tard par la pose du premier aqueduc.

Les aménagements actuels comprennent :

- pour l'eau potable, les prises d'eau de Lequena (550 l/s) et, plus récemment, Quinchamale (300 l/s) sur la Loa supérieure ainsi que Toconce (470 l/s) sur le Salado. Ces eaux, de qualité très différente, sont mélangées à Calama et redistribuées vers les centres urbains où elles sont traitées (extraction d'Arsenic) avant d'être distribuées. Tout ce réseau est géré par SENDOS;
- pour l'eau industrielle : la prise du Salado (540 l/s), de San Pedro (620 l/s) et de Calama (150 l/s) gérées par CODELCO pour ses besoins industriels ainsi que Lindsor (50 l/s) pour son eau potable. Un complément d'environ 450 l/s est assuré par des eaux souterraines. Tous ces débits sont basés sur des estimations ou des droits théoriques. Aucune mesure ne corrobore ces valeurs.

Plus à l'aval, des prélèvements d'eau pour un total de 280 l/s sont effectués par le complexe salpêtrier et 60 l/s par une autre unité chimique.

- pour l'eau d'irrigation, deux retenues de régulation : Conchi sur la Loa supérieure et Sloman sur la Loa inférieure. Les besoins des multiples implantations agricoles, depuis les communautés traditionnelles de la précordillère, comme Caspana ou Ayquina, jusqu'aux nombreux périmètres installés le long du cours de la Loa (Conchi, Calama,

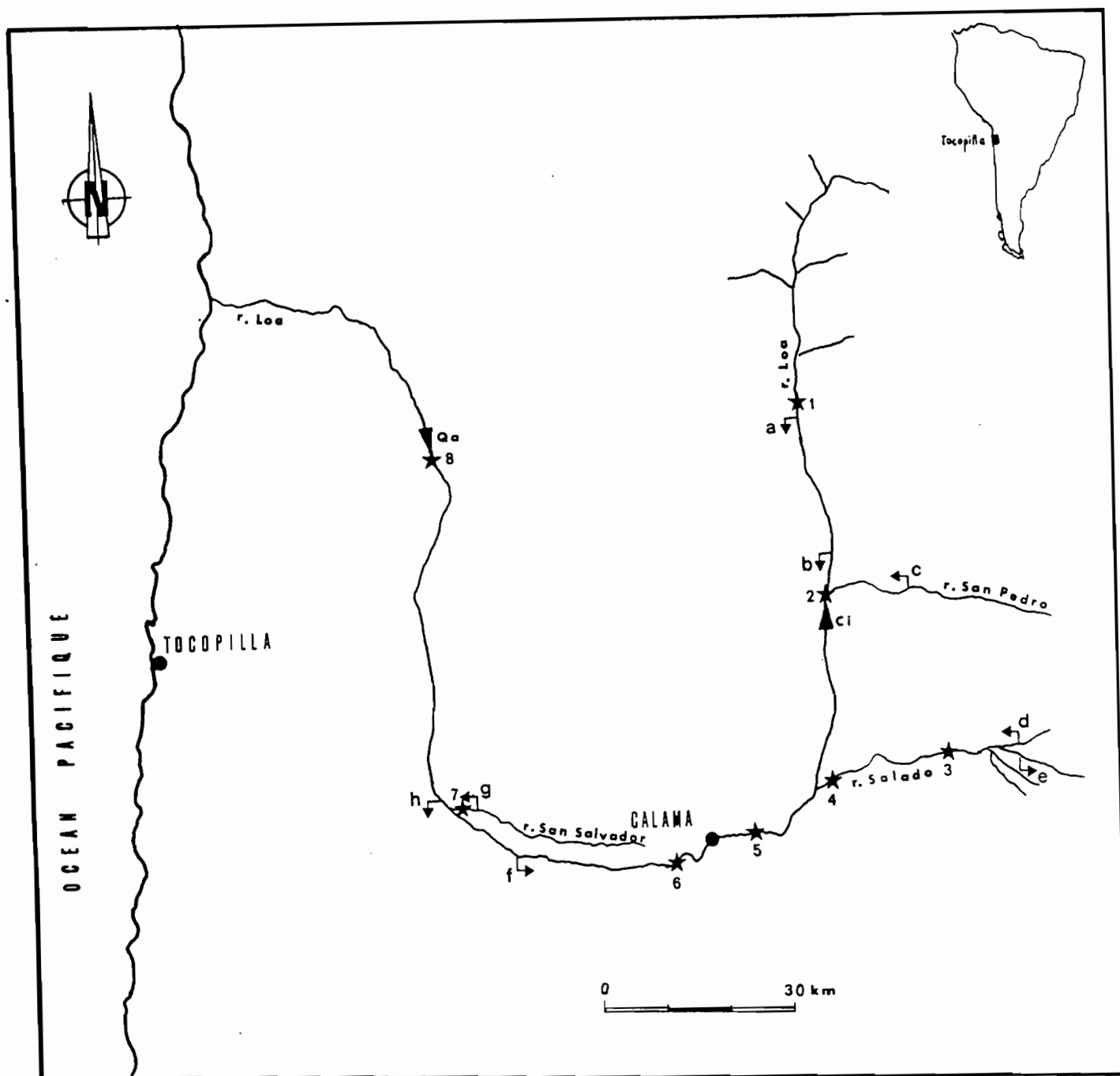


Fig. 4 - AMENAGEMENT DE LA LOA

- ★ : Stations hydrométriques : 1 : Lequena, 2 : Amont de Conchi, 3 : Ayquina, 4 : embouchure Salado, 5 : Valquincha, 6 : La Finca, 7 : embouchure San salvador, 8 : Amont Quillagua.
- ↗ : Prises d'eau : a : Lequena (SENDOS), b : Quinchamale (SENDOS), c : San Pedro d'Inacaliri (CODELCO), d : Toconce (SENDOS), e : Salado (CODELCO), f et h : Loa inférieure (SOQUIMICH), g : Salvador (SOQUIMICH).
- ↖ : Retenue : Ci : Conchi, Qa : Quillagua

Quillagua) sont beaucoup plus difficiles à évaluer. Par mesures différentielles, on estime que la zone de Calama absorbe à elle seule plus de 800 l/s.

4. Propositions pour l'étude de la LOA

4.1 Programme

4.1.1. Inventaire des ressources en eaux de surface (J. BOURGES)

Des mesures et des observations ont été faites antérieurement, avec plus ou moins de régularité, et quelques stations subsistent. A partir d'observations discontinues, la DGA a complété une chronique de débits mensuels et annuels depuis 1961 sur la base de corrélations. Du point de vue pluviométrique, il existe des séries de mesures complètes depuis 1970. Il n'y a pas eu de bilan et d'étude globale. Donc il conviendrait de :

- Suivre les stations existentes; actuellement le réseau comprendrait huit stations, irrégulièrement suivies, dont deux sur le Salado, deux sur la Loa supérieure et quatre sur la Loa inférieure (Voir carte fig. 4).
- Compléter ce dispositif afin de pouvoir évaluer les apports et les prélèvements tout le long du cours de la Loa et de celui du Salado. En particulier, les débits prélevés sont mal connus (agriculture) ou sujet à caution (CODELCO).
- Recueillir et retraiter les données existentes.
- Etablir un bilan, qualitatif et quantitatif, des ressources disponibles.

Concernant la qualité des eaux, H. ALONSO a déjà effectué de nombreuses campagnes de prélèvements et d'analyses sur le bassin de la LOA et du Salar. Il conviendrait néanmoins d'étudier si ces mesures doivent être poursuivies, auquel cas JL GUYOT pourrait y participer.

4.1.2. Inventaire des ressources en eaux souterraines (P. POURRUT)

4.1.3. Gestion des ressources

- Inventaire des besoins actuels, par secteur, en précisant la qualité de l'eau désirée.

- Evaluation des besoins à moyen terme
 - . augmentation de la demande des consommateurs actuels
 - . nouveaux utilisateurs
- Elaboration d'un plan de gestion prenant en compte:
 - . les priorités (économiques, politiques...)
 - . l'optimisation de l'utilisation de l'eau par les différents consommateurs (recyclage pour les besoins industriels, éducation du consommateur...)

4.2 Moyens

La partie chilienne assurerait la logistique et en particulier :

- le fonctionnement : véhicules, frais de personnel local, analyses, bureaux;
- l'investissement : appareillage scientifique d'observation et de mesure, équipement des stations.

La partie ORSTOM aurait à sa charge :

- la formation d'un jeune ingénieur ou d'un thésard aux techniques de terrain et de traitement des données;
- le suivi de l'étude et de la synthèse;
- un appui scientifique dans les techniques d'analyse et de planification des ressources.

En l'état actuel du projet, les charges relatives au personnel ORSTOM (voyages, indemnités mission, prestation service) n'ont pas fait l'objet de discussions.

En attendant l'affectation éventuelle d'un chercheur sur place, ou tout au moins au Chili, cet appui pourrait être apporté, comme déjà proposé par l'ORSTOM, à partir des missions des pays voisins (Bolivie, Equateur, Pérou).

4.3 Partenaires

La contrepartie chilienne serait l'Université du Nord mais élargirait la participation au projet à d'autres entités:

- la DGA (Direction Générale des Eaux) du Ministère des Travaux Publics (M.O.P.). Elle est l'organisme officiel chargé de la gestion et de la réglementation des ressources en eau;
- le SENDOS (Service National des Travaux Sanitaires) dépendant aussi du MOP qui est chargé de la captation et de l'adduction des eaux urbaines;
- les mines de Chuquicamata (CODELCO) et les nouvelles mines (La Escondida) qui sont les plus gros utilisateurs industriels.

Il est évident que ces collaborations sont souhaitables dans la mesure où elles permettront d'éviter des blocages au bon déroulement de l'étude.

5. Propositions pour l'étude du système Salar

Trois sites pourraient être choisis selon leur situation géographique et leur importance économique pour un suivi permanent : TOCONAO, SOCAILE et TILOMONTE. Les autres feraient l'objet de mesures à intervalles réguliers.

5.1 Inventaire des eaux de surface (J. BOURGES)

- Suivi sur deux ans des apports de ces trois quebradas :
 - implantation de stations hydrométriques aménagées (seuil, déversoir...) et de limnigraphes à l'amont et à l'aval des périmètres;
 - éventuellement suivi à l'intérieur des périmètres (selon besoins programme agro-climato);
 - relevés bimensuels de la qualité de l'eau.
- Bilan des apports; variabilité.

5.2 Etude d'un complément éventuel en eaux souterraines (POURRUT)

5.3 Utilisation des ressources

- Mesures ETR et besoins des plantes pour détermination des taux d'irrigation (VACHER)
- Adaptation des cultures et des façons culturales (VACHER)

- Problème de l'exode vers les centres miniers (anthropologue et sociologue Université du Nord).

6. Conclusions

Du côté "politique", l'Université du Nord a reçu l'accord écrit du CONICYT (Conseil National des recherches scientifiques et techniques) pour mener à bien ce projet. Le CONICYT est l'organisme public chargé de contrôler toute la coopération scientifique bilatérale ou internationale.

Le gouvernement régional, étant donné l'importance politique du problème, donne son plein appui.

Au niveau national, il semble que, quelque soit le gouvernement qui sortira des urnes en décembre, l'importance économique de la deuxième région plaide aussi pour un appui total.

Quant aux organismes techniques, comme le SENDOS, il est fortement motivé du fait que cette région du Chili absorbe à elle seule 42% de son budget total.

Au niveau de l'Université, les deux priorités de recherche affichées sont les ressources en eaux et les mines. Même en cas de changement de recteur, il semble peu probable que ces priorités soient remises en cause.

Du point de vue scientifique, l'étude de cette région désertique, hors du champs habituel d'intervention de l'ORSTOM, ne manque pas d'intérêt bien que la continuité évoquée par nos hôtes, entre l'Altiplano (Sud Lípez) bolivien et le versant chilien, soit inexistente du point de vue de l'hydrologie, sauf en ce qui concerne la qualité des eaux.

Hormis quelques projets ponctuels qu'il conviendrait d'inventorier, il ne semble pas exister d'étude générale de cette région.

L'intérêt manifesté par les responsables universitaires pour une recherche en coopération, intérêt déjà perçu et signalé lors de notre première mission, ainsi que la compétence de nos "contreparties" plaident en faveur d'un engagement de l'ORSTOM qui ne devrait pas se limiter à de simples missions mais s'orienter vers une présence permanente dans ce pays qui est l'un des plus dynamiques du continent.

A N N E X E

Compte rendu de la Mission au Chili effectuée du 17 au 22 Juillet 1989 auprès de l'Université du Nord

Participants : J. BOURGES
P. POURRUT

Pour des contraintes de temps, la mission interdisciplinaire prévue initialement n'a pu se réaliser. L. ORTLIEB a effectué une mission du 8 au 10 Juillet, principalement dans la zone côtière. J. VACHER doit visiter les communautés agricoles de l'intérieur, du 13 au 19 Août.

Objet : Etablir un avant-projet de programme de recherche en collaboration avec l'Université du Nord.
Pour mieux évaluer les demandes de nos hôtes, avait été prévue une tournée sur le terrain de trois jours.

Personnes rencontrées et Instituts visités :

Etant donné le programme de cette mission, principalement orienté sur la connaissance du terrain, nous n'avons pas eu l'occasion de rencontrer d'autres personnalités que nos "partenaires" de l'Université du Nord.

Etait prévu un contact avec la presse, le dernier jour de notre mission, mais, faute de temps, il a été annulé.

Déroulement de la mission :

17 Juillet : La Paz-Arica
18 Juillet : Arica-Antofagasta

Présentation générale de la 2ème région et de son importance économique pour le Chili, en particulier à travers les mines de cuivre. Description des problèmes existants dans le domaine de l'eau et de l'agriculture. Déjà exposées lors de la mission précédente et mentionnées dans le rapport, ces informations étaient destinées à broser un tableau général à P. POURRUT qui n'avait pas participé à la mission précédente.

19 Juillet : Antofagasta-Calama-San Pedro de Atacama-Toconoa

Traversée du désert d'Atacama (salpêtrières) et aperçu de la mine de Chuquicamata. A la sortie de Calama, on traverse la Loa. Le débit est estimé entre 1500 et 1700 l/s; l'eau est très claire, la salinité serait de 2,8 g/l.

Après passage de la cordillère de Domeyko (4000 m), on descend dans la dépression du salar d'Atacama, bordé de

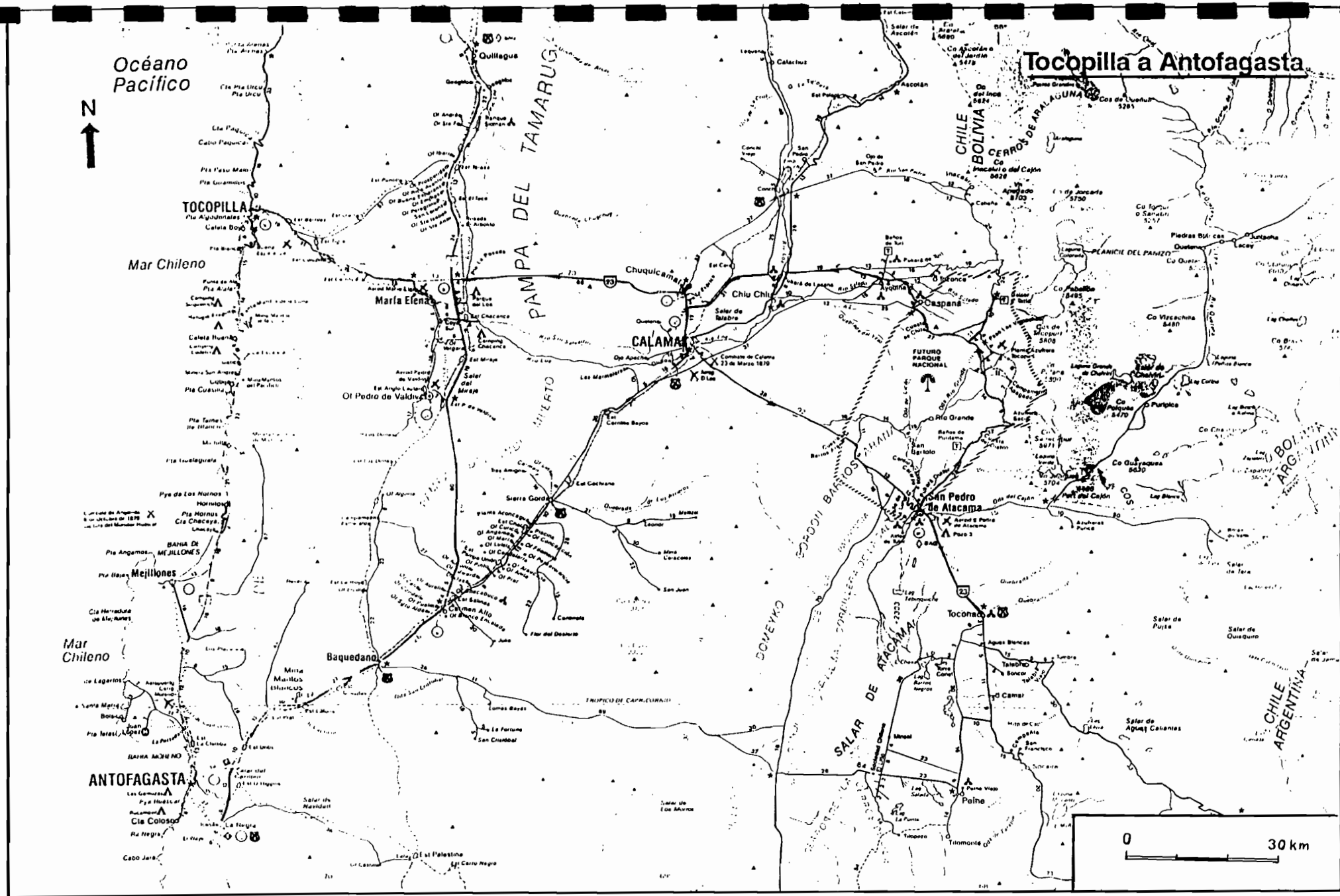


Fig. 5 - Parcours effectué durant la mission

l'autre côté par la cordillère Occidentale très volcanique. De cette cordillère descendent plusieurs quebradas qui, avec le río San Pedro, forment le bassin versant du salar.

Sur une de ces quebradas, à Toconoa, on visite un système de jardins irrigués, installé au fond de la gorge, et parcouru par un réseau de canaux qui ne sont pas sans rapeller les "seguias" des oasis d'Afrique du Nord. L'abandon manifeste de nombreux jardins est un des problèmes qui préoccupent les universitaires chiliens. Le débit disponible est de l'ordre de 70 à 100 l/s.

20 Juillet : San Pedro de Atacama-Tatio-Caspana-Calama

Cette journée est surtout destinée à montrer l'influence des eaux d'origine volcanique sur les apports du río Salado. Visite des champs de geysers du Tatio qui sont la tête du bassin du río Salado.

En descendant le long de ce río, on s'arrête à Caspana, situé sur le bord de la quebrada Caspana, affluent Sud du Salado. La visite des "andenes" (*) amène à la même constatation que la veille à Toconoa : les systèmes d'irrigation sont en état mais les terres sont abandonnées.

Après avoir vu sur le río Salado la prise d'eau de CODELCO, qui pompe la totalité du débit, on visite Ayquina et on traverse la Loa, à Lasana, avant sa confluence avec le Salado. Une station de mesure de la DGA contrôle les débits éventuellement lâchés par CODELCO. Un limnigraphe de CODELCO enregistre le niveau dans la petite retenue de la prise.

21 Juillet : CALAMA-TOCOPILLA-ANTOFAGASTA

En dehors des gorges de la Loa n'apparaît aucune trace de végétation. C'est le désert minéral. Nous visitons la Loa en deux sites de son cours inférieur :

- au pont de la Posada (route Calama-Tocopilla) le débit est estimé à 2 m³/s (Pourrut/Bourges) avec une salinité de l'ordre de 5 g/l.

- à la station de Chacance, situé à 15 Km en amont du pont de la Posada, près de la confluence de la Loa et du San Salvador.

(*) jardins en terrasse

Après une visite rapide des complexes chimiques de Coya Sur et Maria Elena (extraction de salpêtre), nous nous dirigeons vers Tocopilla, port principal d'exportation du salpêtre.

A l'approche de la côte apparaît la "Camanchaca", cette brume produite par l'évaporation de l'océan et qui, coincée sous les hautes pressions anticycloniques, ne peut franchir la cordillère de la côte pour humidifier l'intérieur.

Sur la côte, au Nord d'Antofagasta, nous est montrée la zone où vient d'être découvert un nouveau gisement de cuivre, encore plus important que Chuquicamata et La Escondida.

De retour à Antofagasta, nous nous réunissons, en l'absence de Pierre Pourrut obligé de partir le soir même, pour établir un projet d'étude des eaux de surface.

22 Juillet : ANTOFAGASTA - LA PAZ.

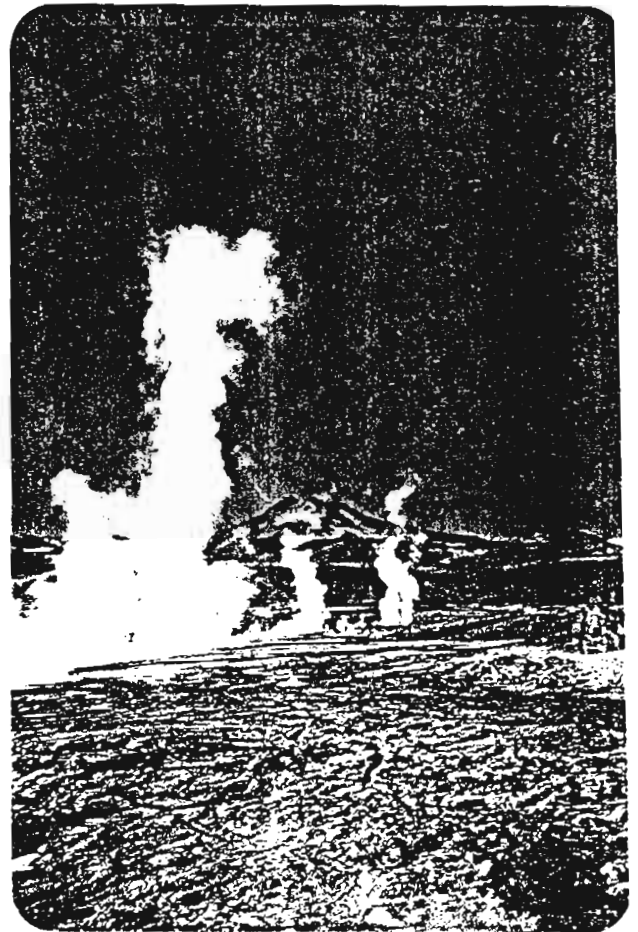
Fin de Mission.



- Désert d'Atacama -

APERCU des bassins (Salado)

- Geyser du Tatio -



- Hauts plateaux (Tête du bassin
du rio Salado)

- Geyser du Tatio -



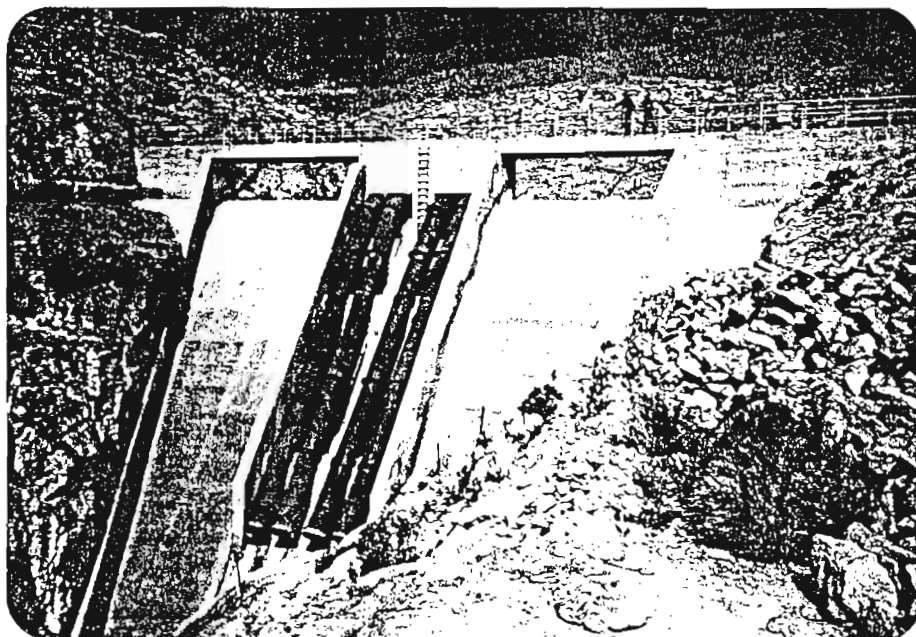
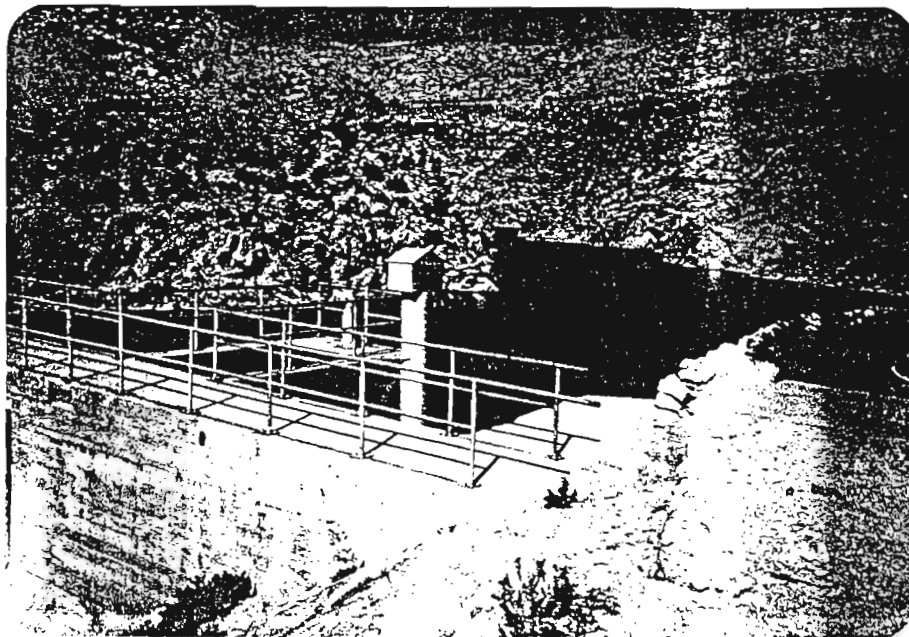
- Jardins en
terrasse à Caspana

L'AGRICULTURE



- Deux exemples
d'agriculture en
fond de vallée:
Caspana (en haut)
Toconao (à gauche)

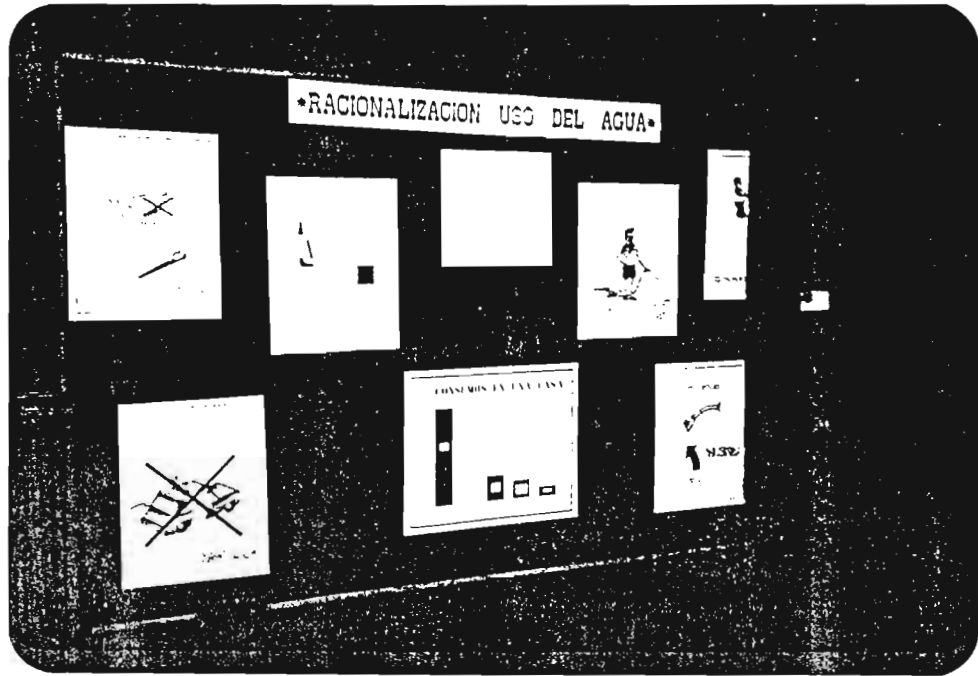
Prise d'eau du
Salado (à droite)
(et dessous)



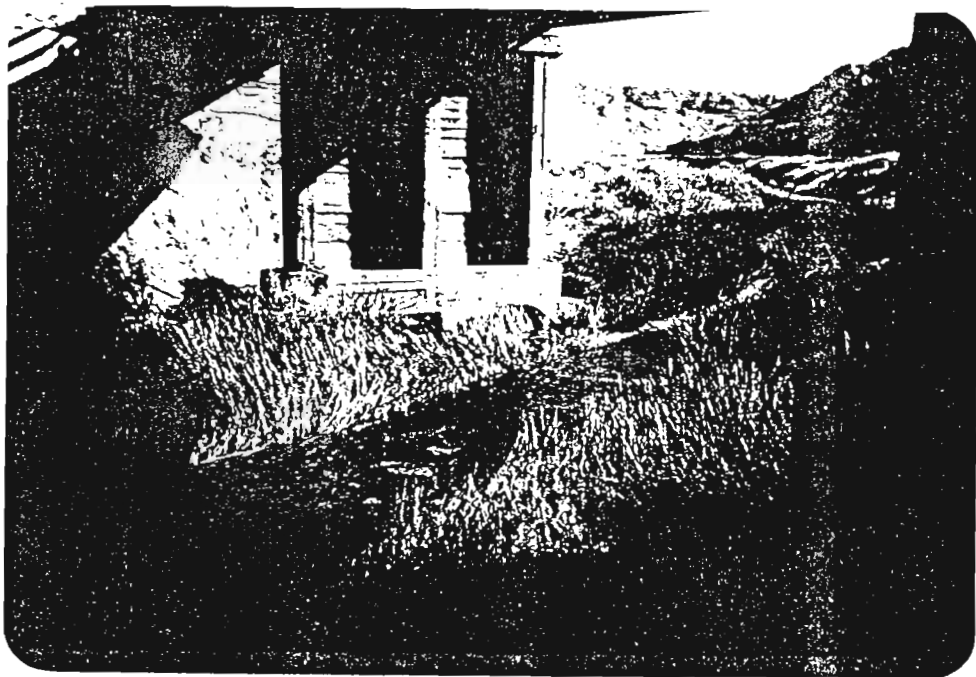
AMENAGEMENT

Station de
contrôle de la
DGA à l'aval
de la prise
d'eau





Panneau d'éducation des consommateurs
(Expo. Nairú Antofagasta)



La LOA intérieure au pont de la 1^{re} s^{de}