

**Zeitschrift:** Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 50 (1997)  
**Heft:** 2: Archives des Sciences

**Artikel:** Des phénomènes karstiques dans une des régions les plus arides du globe : le désert d'Atacama, au Nord du Chili  
**Autor:** Sesiano, Jean  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-740271>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# DES PHÉNOMÈNES KARSTIQUES DANS UNE DES RÉGIONS LES PLUS ARIDES DU GLOBE: LE DÉSERT D'ATACAMA, AU NORD DU CHILI

PAR

**Jean SESIANO\***

*(Ms reçu le 23.5.1997, accepté le 7.9.1997)*

## ABSTRACT

The northern part of Chile has a very arid environment, due to the Humboldt cold current and to a particular meteorological situation in the Tropics.

In the Cordillera de la Sal, a small horst parallel to the Andes, one observes obvious karstic features in the evaporite deposits (halite), both on a large and a small scale. They were developed in an environment which does not look favourable for such phenomena. Their present evolution is very slow, and they were probably formed during a much more humid period.

**Key-words:** Chile, Atacama, Cordillera de la Sal, Karst, Evaporites.

## INTRODUCTION

La partie nord du Chili, à la latitude de l'important port d'Antofagasta, est traversée par le tropique du Capricorne. Les zones tropicales étant le siège de hautes pressions presque permanentes, la subsidence de l'air mène à son réchauffement et à sa dessiccation, d'où l'aridité de ce secteur. A cela vient s'ajouter le fait qu'un courant froid, celui de Humboldt, issu de l'Antarctique, longe la côte occidentale de l'Amérique du Sud, et des remontées d'eaux froides profondes sont observées (phénomène d'up-welling). Cela explique la faiblesse de l'humidité absolue des masses d'air côtières, mais cela n'exclut pas une humidité relative élevée qui se traduit par la présence très fréquente de brouillards côtiers, identiques quant à leur origine à ceux observés, par exemple, sur les côtes de Namibie.

Finalement, en s'éloignant des rives de l'océan Pacifique pour se diriger vers l'intérieur du continent, avant les Andes, on rencontre deux cordillères: une chaîne longeant la côte s'élevant à 1000 voire 2500 m; une seconde chaîne culminant à 4000 m lui succède, pour enfin atteindre les Andes, avec des sommets de 5000 et 6000 m. Plus on se dirige vers l'est, plus on se trouve en position d'abri. D'où l'extrême aridité de ces régions internes.

Les reliefs les plus hauts sont d'origine volcanique, d'âge Cénozoïque, mais on note aussi la présence de roches plutoniques et métamorphiques.

---

\* Dépt de Minéralogie, Université de Genève, Maraîchers 13, 1211 Genève 4.

Des cuvettes à fond plat séparent ces trois chaînes; elles ne sont rien d'autre que des fossés d'effondrement servant de pièges aux sédiments issus des reliefs voisins. Ces dépressions, souvent endoréiques, donnent naissance aux fameux «salares», vastes marais salants naturels parsemant la région de taches blanches caractéristiques sur les photos aériennes.

C'est sur la bordure ouest du Salar de Atacama, dont la surface atteint 3500 km<sup>2</sup> et l'altitude 2350 m, que s'élève la Cordillera de la Sal (voir la carte de situation, Fig. 1).

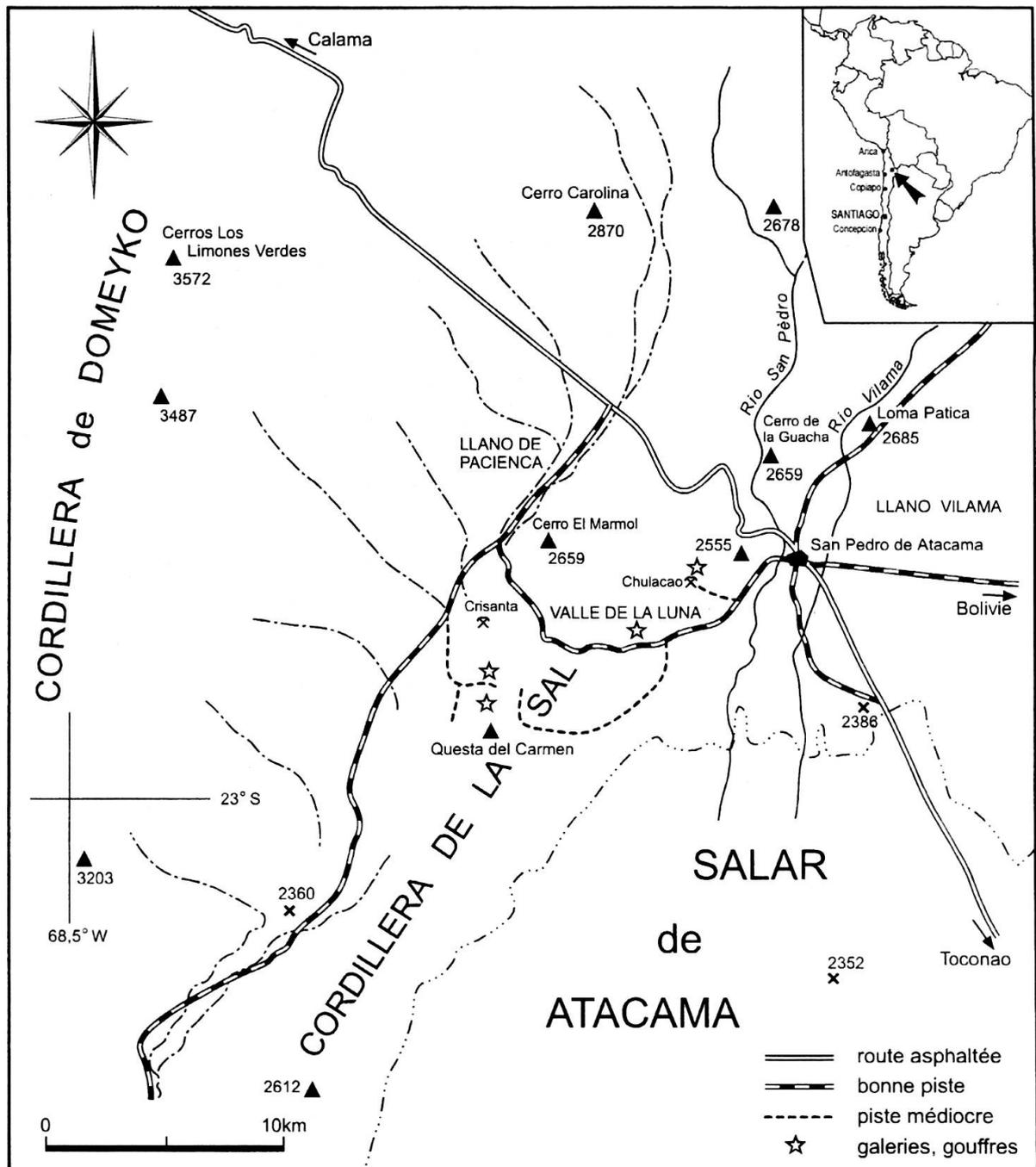


FIG. 1.

Carte de situation de la Cordillera de la Sal.

C'est en fait un horst encadré de deux grabens. Cette petite chaîne s'étend du nord au sud sur une longueur de 100 km environ, avec une largeur de 10 km au maximum. Elle est constituée de dépôts sédimentaires (argiles, arènes, conglomérats, épaisses couches de sel et de gypse) d'âge Miocène et plus jeune. On y rencontre quelques affleurements hydrothermaux de cuivre sous forme de carbonates.

Ces dépôts se sont accumulés au fond du Salar de Atacama, puis ont été fortement soulevés et déformés. La structure plissée, dont le relief est parfois inversé, a donné naissance à un drainage orienté nord-sud. D'étroites cluses permettent la communication ouest-est. Des dômes d'évaporites (Fig. 2), formés par instabilité gravitationnelle (sic! DINGMAN, 1962) ont affecté ponctuellement l'édifice. Cet auteur exclut donc une



FIG. 2.

Vue générale de la région avec un dôme d'évaporites à l'arrière-plan.

origine diapirique, car il observe un parallélisme entre les couches de sel et les strates de débris d'origine clastique et constate l'absence de fragments de roches plus anciennes à l'intérieur du sel.

L'ensemble est tectoniquement actif, puisque les cônes de déjection des cours d'eau actuels (rio S. Pedro, par ex.) ont été soulevés.

Aucun relevé systématique des paramètres météorologiques n'a été fait tant à S. Pedro de Atacama, petite bourgade au pied de la chaîne, que dans la Cordillera de la Sal, mais d'après des renseignements obtenus au poste des Carabiniers de cette localité,

la quantité annuelle moyenne des précipitations atteindrait 6 à 8 mm. Cependant, d'après le Professeur M. Richter qui a travaillé dans la région, des relevés fiables donnent 28 mm / an à S. Pedro. Les valeurs pour la cordillère de la Sal sont donc à peu près semblables. Par contre, sur les reliefs voisins, on atteint à 3000 m, près du double de cette valeur. On est donc largement en climat désertique (dans les plaines de Romandie, on a 900 à 1000 mm / an). D'autre part, la sécheresse de l'air, encore amplifiée par l'altitude, permet de larges écarts de température entre le jour et la nuit. C'est ainsi qu'au mois de juillet 1996, hiver austral, nous avons relevé des maxima diurnes de 15 à 20°C et des minima nocturnes de -5 à -10°. On verra leur importance plus loin.

L'ancienne piste conduisant de la petite ville de Calama, célèbre par la gigantesque mine de cuivre à ciel ouvert de Chuquicamata, à S. Pedro de Atacama, traverse transversalement la Cordillera de la Sal, empruntant la Valle de la Luna. Comme son nom l'indique, cette vallée présente des formes spectaculaires sculptées dans une succession de roches tour à tour solubles, tendres ou résistantes à l'érosion.

### LES PHÉNOMÈNES KARSTIQUES

C'est à la suite d'un récent article sur les karsts du Chili (SALOMON, 1995) que nous nous sommes intéressés aux évaporites du nord de ce pays.

Vue l'aridité actuelle, on pourrait s'attendre à des formes d'érosion et de corrosion modestes, voire presque inexistantes pour les secondes. Or, il n'en est rien. Mais ce sont surtout les dépôts de sel gemme qui sont affectés, les gypses manquant en général de puissance. L'halite, dont l'épaisseur est de plusieurs dizaines de mètres et les strates de pendages variés, a du reste fait l'objet d'exploitations artisanales (mine, ou plutôt carrière, de Crisanta, par ex.); elles ont toutes été abandonnées. Tant les strates que les dômes présentent des phénomènes karstiques.

En ce qui concerne la corrosion, on constate d'abord la présence d'un modelé de surface sous la forme de lapiés plus ou moins acérés, de dimensions centimétriques à décimétriques, aussi bien sur les surfaces obliques que verticales. Ils commencent du reste à affecter les fronts d'exploitation des anciennes carrières. Sous nos climats, d'après nos propres observations, l'apparition de ces caractéristiques prend quelques années, mais les précipitations sont dans un rapport de 30 environ. Comme on a, intercalées entre les couches d'évaporites, des argiles, voire des marnes, des concentrations d'écoulement ont pu se développer sur ces roches imperméables, menant à des cours d'eau éphémères. Les précipitations étant le plus souvent de type orageux (rares fronts d'hiver venant du sud, et orages convectifs d'été), ceux-ci peuvent prendre un caractère torrentiel tant par la soudaineté que par l'intensité (=flash-flood). C'est ainsi qu'une érosion intense va se produire, par transport de sable et de galets.

De plus, les larges amplitudes thermiques auxquelles il a été fait allusion plus haut, sont à l'origine de décollements d'écailles et de blocs que l'on trouve aux pieds des parois. Leur chute récente est attestée par le fait qu'ils reposent sur le sable amené par les dernières crues des cours d'eau. Le soir et le matin, ce sont des craquements

continuels de la roche se dilatant ou se contractant tour à tour, effet accentué par le fait que l'halite n'est en général pas pure, mais qu'elle contient de l'argile la rendant plus sombre, donc plus propice à l'échauffement.

Elle est d'autre part affectée par une fracturation bien visible sur les photos aériennes, malgré sa plasticité légendaire; on observe des diaclases, principalement d'orientation NW, dont le tracé n'est pas toujours rectiligne. Il est évident qu'il affecte l'écoulement de surface aussi bien que celui hypogée. Exploitant ces zones de moindre résistance, un réseau d'écoulement souterrain s'est mis en place. Il a débuté par un réseau superficiel sur des argiles, avec des vallées assez peu sinueuses, de quelques dizaines de mètres de creux et des flancs inclinés de 25 à 40°. Le soulèvement régional de la cordillère se poursuivant, cet écoulement s'est enfoncé jusqu'à atteindre l'halite sous-jacente: c'est le phénomène d'antécédence. Le réseau de diaclases a alors guidé la capture progressive des eaux. C'est ainsi que de larges méandres souterrains se sont développés, alors que les vallées originelles de surface, dont on observe des tronçons fossiles et suspendus, étaient relativement plus rectilignes. Des terrasses y sont bien visibles, témoins de l'enfoncement des eaux.

L'accentuation des méandres se traduit par des mises en surplomb suivies d'affaissements de strates. Ceux-ci peuvent gagner de proche en proche la surface, engendrant des lucarnes ou des gouffres. Des galeries parfois rectilignes et des salles atteignent des dimensions plurimétriques voire décamétriques (Fig. 3), comme dans le secteur de l'ancienne mine de cuivre de Chulacazo. On peut souvent observer des surcreusements (section des galeries en «trou de serrure»).

Un rare concrétionnement s'est mis en place sous forme de stalactites de sel. Le sable étant omniprésent dans la cordillère de la Sal (fréquentes dunes de sable de dizaines de mètres de hauteur), un transport éolien actif empâte les réseaux aux points de communication avec l'extérieur. Les rares écoulements torrentiels se chargent de déblayer temporairement ces barrages meubles, laissant des dépôts ornés de «ripple-marks» dans les galeries et dans les gorges.

Lorsque le phénomène de circulation souterraine, puis à l'air libre, puis à nouveau souterraine se répète, on parle de cours d'eau «à éclipses». Dans la plupart des cas, il est clair que la portion à l'air libre était auparavant souterraine, avant que la voûte, ayant été mise en porte-à-faux par érosion et corrosion de la base, ne s'écroule. Un tel exemple de cours d'eau a été topographié et est donné avec la figure 4; les coordonnées ont été obtenues à l'aide d'un récepteur GPS, des cartes détaillées de la région faisant défaut. Des cas similaires ont été observés en quelques autres endroits de la chaîne: on les trouvera sur la carte de situation de la figure 1.

Lorsque les cours d'eau quittent le relief, ils vont soit s'épandre dans des cuvettes pouvant atteindre 1 km de diamètre, sorte de poljés sans point d'absorption de l'eau pour former des lacs temporaires, soit s'engouffrer dans de véritables pertes impénétrables à l'homme.

Sur le flanc oriental de la cordillère de la Sal, la physionomie de la circulation karstique est différente. On se trouve ici sur le flanc déjeté d'un anticlinal, faillé normale-



FIG. 3.

L'une des galeries dans le sel gemme.

ment, le côté abaissé étant le Salar de Atacama. Dans les couches d'évaporites subverticales à renversées, se sont développées de profondes gorges et un réseau de gouffres (zone de la mine de Chulacao; voir Fig. 1). Des cours d'eau temporaires y disparaissent. Le niveau de base n'est pas connu, mais il se peut que des résurgences se situent à l'extérieur de la chaîne, sous l'épais manteau alluvial tapissant la bordure du Salar.

Finalement, il est utile de relever qu'un repère métallique a été scellé dans une paroi de halite bordant le petit cours d'eau dont le plan est donné fig. 4. Il est situé à 1 m du sol. Avec une base de temps suffisante (la décennie?), il sera peut-être possible d'évaluer tant la corrosion due aux précipitations que l'érosion mécanique due au cours d'eau.

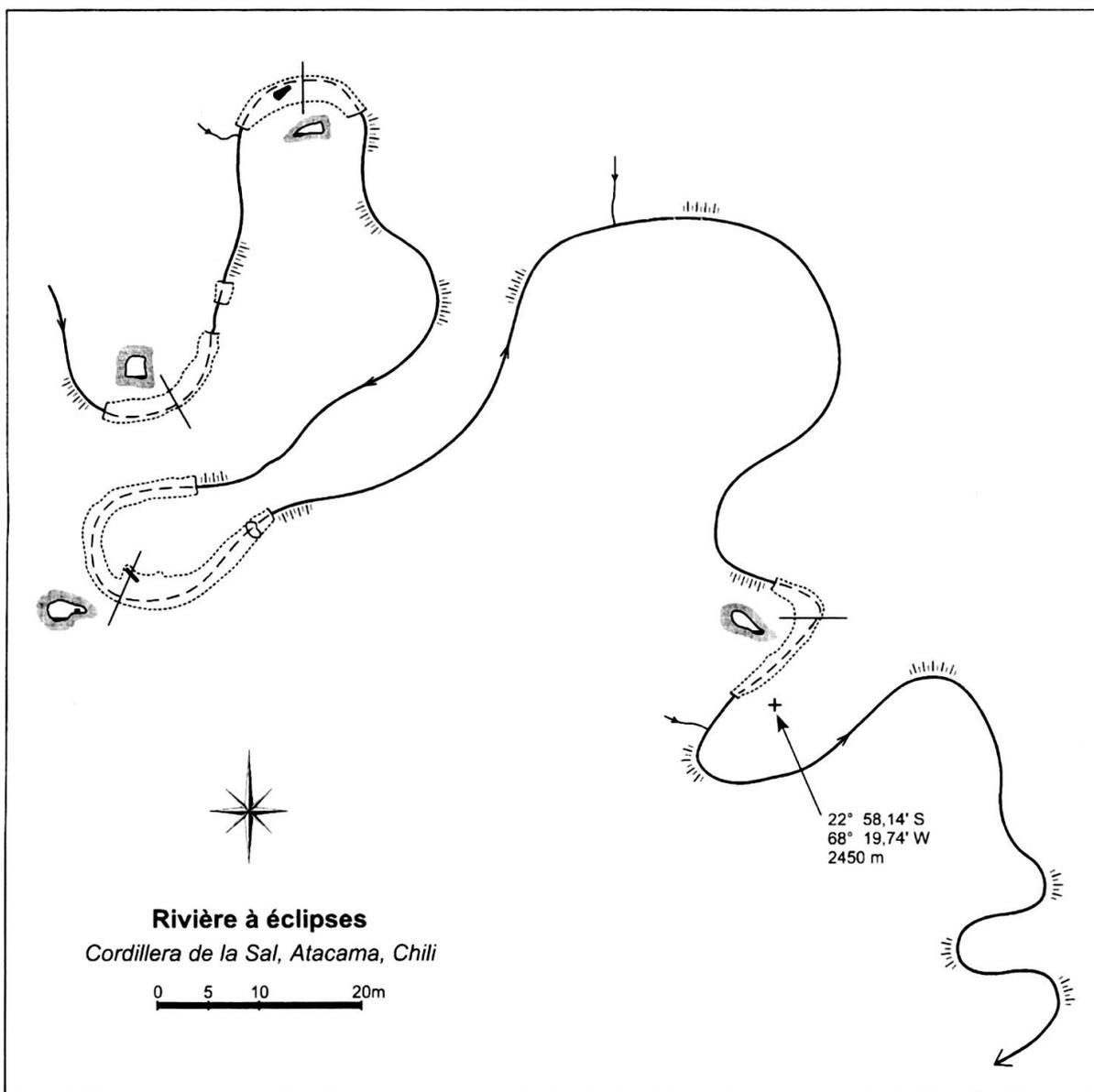


FIG. 4.

Rivière à éclipses de la zone de la mine de Chulacao.

## CONCLUSIONS

Il semble très surprenant d'observer des caractéristiques karstiques bien développées dans un des environnements les plus arides du globe. Il est vrai qu'en ce qui concerne l'halite, d'autres régions de la Terre présentent des phénomènes similaires: citons le Rocher de sel de Djelfa, en Algérie, sur le versant sud de l'Atlas; les nombreux diapirs et glaciers de sel (namakiens) dans la chaîne du Zagros, en Iran, près de Bandar Abbas, et le Mont Sedom en Israël. Sans nous prononcer sur ce dernier site que nous n'avons pas visité, dans les deux autres cas, nous avons constaté des phénomènes similaires à ceux décrits dans cet article. Cependant, la différence majeure vient du fait qu'ils sont situés à des latitudes plus élevées et que les précipitations y sont plus abondantes, d'un facteur 5 à 10.

Même si ces phénomènes évoluent infiniment plus rapidement dans les évaporites, halite surtout, que dans les roches carbonatées (d'un facteur 100 à 1000, approximativement), il faut prendre en considération leurs dimensions, impressionnantes parfois, pour des roches mécaniquement peu stables et plastiques, comme le sel gemme. Les conditions climatiques actuelles de cette région du Chili semblent difficilement compatibles avec un tel développement, même pour des évaporites. Il est donc probable que le phénomène n'est que l'héritage d'une période climatiquement plus favorable à la corrosion et à l'érosion, donc plus humide.

Actuellement, le relief ne subit plus que des retouches apportées occasionnellement, au gré des rares mais fortes averses d'orages, et l'évolution ne se fait donc plus qu'au ralenti.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions J. Metzger, géologue-graphiste à la Section des Sciences de la Terre à l'Université de Genève, pour la réalisation des figures de ce travail, le Professeur L. Fontboté, du Département de Minéralogie, dans la même université, pour ses conseils, ainsi que le Professeur M. Richter de l'Université Friedrich-Alexander à Erlangen, Nürnberg, pour ses informations.

## RÉSUMÉ

La partie nord du Chili présente une aridité remarquable, tant par la présence du courant froid de Humboldt que par des facteurs météorologiques et une position d'abri.

Dans la cordillère de la Sal, petit horst parallèle aux Andes, des phénomènes karstiques bien évidents affectant des évaporites (halite) sont observables: modelé caractéristique de surface, réseaux hydrographiques de surface et souterrains, tout ceci semblant incompatible avec le climat actuel. Il semble bien que l'on soit en présence de formes héritées d'un climat plus humide.

**Mots-clés:** Chili, Atacama, Cordillère de la Sal, Karst, Evaporites.

## BIBLIOGRAPHIE

- DINGMAN, R.J. 1962. Tertiary salt domes near San Pedro de Atacama, Chile. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 450-D: 92-94.
- SALOMON, J.N. 1995. Le Chili, pays de karsts extrêmes. *Karstologia*, 24: 52-56.