

## Sur l'évolution géomorphologique du grand escarpement côtier du désert chilien

## About the geomorphic evolution of the high cliff along the arid coast of Chile

## Sobre la evolución geomorfológica del gran acantilado costero del Norte Grande de Chile

Roland P. Paskoff

Volume 32, numéro 4, 1978

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1000333ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1000333ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Paskoff, R. P. (1978). Sur l'évolution géomorphologique du grand escarpement côtier du désert chilien. *Géographie physique et Quaternaire*, 32(4), 351–360. <https://doi.org/10.7202/1000333ar>

Résumé de l'article

Le grand escarpement côtier du désert chilien qui est haut en moyenne de 700 m et se suit sur plus de 800 km constitue un trait géomorphologique majeur à l'échelle du Globe. Au Nord d'Iquique, il recule encore sous l'action des vagues mais, ailleurs, il prend l'aspect d'une falaise morte au pied de laquelle s'étend une plate-forme d'abrasion. L'abrupt dérive probablement de failles verticales à fort rejet, apparues à la fin du Miocène, qui ont reculé par érosion marine lors d'une importante transgression du Pliocène moyen à supérieur. Il a peu évolué pendant le Quaternaire. Les pulsations transgressées de l'Océan l'ont à peine retouché et la persistance de l'aridité, malgré l'occurrence de périodes à averses, lui a conféré une remarquable immunité. Une tendance à la subsidence s'est manifestée.

# SUR L'ÉVOLUTION GÉOMORPHOLOGIQUE DU GRAND ESCARPEMENT CÔTIER DU DÉSERT CHILIEN

Roland P. PASKOFF, Département de géographie, université de Tunis, 94, boulevard du 9 Avril 1938, Tunis, Tunisie.

**RÉSUMÉ** Le grand escarpement côtier du désert chilien qui est haut en moyenne de 700 m et se suit sur plus de 800 km constitue un trait géomorphologique majeur à l'échelle du Globe. Au Nord d'Iquique, il recule encore sous l'action des vagues mais, ailleurs, il prend l'aspect d'une falaise morte au pied de laquelle s'étend une plate-forme d'abrasion. L'abrupt dérive probablement de failles verticales à fort rejet, apparues à la fin du Miocène, qui ont reculé par érosion marine lors d'une importante transgression du Pliocène moyen à supérieur. Il a peu évolué pendant le Quaternaire. Les pulsations transgressives de l'Océan l'ont à peine retouché et la persistance de l'aridité, malgré l'occurrence de périodes à averses, lui a conféré une remarquable immunité. Une tendance à la subsidence s'est manifestée.

**ABSTRACT** *About the geomorphic evolution of the high cliff along the arid coast of Chile.* The marine cliff of northernmost Chile, about 700 m high and 800 km long, represents a major geomorphic feature of the Earth. North of Iquique it is still an active cliff retreating under wave action but elsewhere it is an abandoned cliff with a wave cut platform lying at its foot. The high cliff probably derives from important fault scarps of Upper Miocene age which have retreated during a major middle to upper Pliocene transgression. It has been only slightly modified by glacio-eustatic oscillations of sea level during Quaternary time. Persistent aridity in spite of some more humid periods also accounts for its good preservation. There is evidence supporting a post-Pliocene subsidence of the coastal area.

**RESUMEN** *Sobre la evolución geomorfológica del gran acantilado costero del Norte Grande de Chile.* El gran acantilado costero del desierto del Norte de Chile que se extiende sobre más de 800 km de largo y tiene una altura de 700 m en promedio representa un rasgo geomorfológico mayor del Globo. Al norte de Iquique es por lo general un acantilado activo que las olas del Océano hacen retroceder; al sur de esta ciudad una terraza marina emergida se interpone entre su pie y la costa actual. El gran acantilado deriva probablemente de grandes fallas verticales, aparecidas en el Mioceno superior, que han retrocedido por efecto de la erosión marina durante una importante transgresión en el Plioceno medio a superior. El gran acantilado ha sido poco modificado por las variaciones glacio-eustáticas del nivel del Océano durante el Cuaternario. La ocurrencia de épocas caracterizadas por chubascos más frecuentes que en la actualidad no ha verdaderamente alterado la tendencia árida que ha prevalecido desde fines del Terciario y que explica la buena conservación del acantilado. Hay evidencias en favor de una subsidencia de la zona costera durante el Cuaternario.

## INTRODUCTION

D'Arica (18°28'S) à Taltal (25°26'S), soit sur plus de 800 km, la côte du Nord du Chili est caractérisée par l'existence d'un escarpement d'orientation méridienne dont la hauteur dépasse presque toujours 500 m et peut atteindre jusqu'à 2 000 m. En moyenne, la dénivellation est de l'ordre de 700 m. Comme cet abrupt a été taillé par la mer qui, par endroits, le fait encore reculer aujourd'hui, on peut parler de *mégafalaise* (GUILCHER, 1966). Par sa longueur et sa hauteur, l'escarpement côtier qui borde vers l'Ouest le grand désert chilien constitue un trait géomorphologique majeur à l'échelle du Globe. Il se situe sur une marge active, au contact d'un océan profond et d'un grand continent, marquée par la subduction de la plaque de Nazca sous celle de l'Amérique du Sud (SCHOLL *et al.*, 1970; RUTLAND, 1971). L'étude de la formation et de l'évolution de l'escarpement côtier du Nord chilien peut aider à mieux comprendre les modalités de cette convergence<sup>1</sup>.

## LA CORDILLÈRE DE LA CÔTE

La cordillère de la Côte est, avec la cordillère des Andes proprement dite et la dépression longitudinale (Pampa del Tamarugal), l'une des trois unités morpho-structurales d'orientation méridienne qui se partagent le Nord du Chili (fig. 1). Elle apparaît à partir d'Arica et atteint en moyenne une cinquantaine de kilomètres de large. Les sommets se situent vers 1 500 m, mais ils peuvent dépasser 3 000 m dans la Sierra Vicuña Mackenna (24°30'S). Cependant le relief n'est pas celui d'une montagne: la topographie est molle, faite de bassins remblayés et de hauteurs lourdes. Le réseau des oueds, appelés ici *quebradas*, est mal hiérarchisé. Seuls quelques appareils hydrographiques provenant de la haute cordillère traversent par surimposition le massif côtier dans des gorges profondes: trois entre Arica et Iquique (20°13'S), un seul — le Rio Loa — entre Iquique et Taltal, c'est-à-dire sur une distance d'environ 600 km. La retombée abrupte de la cordillère de la Côte sur l'Océan à l'Ouest contraste avec son contact festonné et parfois peu marqué du côté de la dépression longitudinale.

La géologie du massif est connue dans ses grandes lignes (ZEIL, 1964; RUIZ, 1965; CORVALÁN, 1965; CECIONI, 1970; MUÑOZ-CRISTI, 1973). Le gros du matériel appartient à deux grandes catégories de roches:

1. Les recherches sur le terrain ont eu lieu au cours de plusieurs missions, la dernière en 1977, dans le cadre des travaux de la R.C.P. 339 du C.N.R.S. (cordillères américaines; responsable: J. Aubouin). Au Chili, elles ont bénéficié de l'appui logistique de l'Instituto de Investigaciones Geológicas et de l'aide amicale du G<sup>al</sup> (C.R.) Jorge León V., ancien directeur de l'Instituto Geográfico Militar. Cet article est dédié à M.M.

d'une part d'épaisses accumulations volcano-sédimentaires, marines et continentales, d'âge mésozoïque, surtout jurassique; d'autre part de grands batholites granodioritiques datés du Jurassique supérieur. Des restes

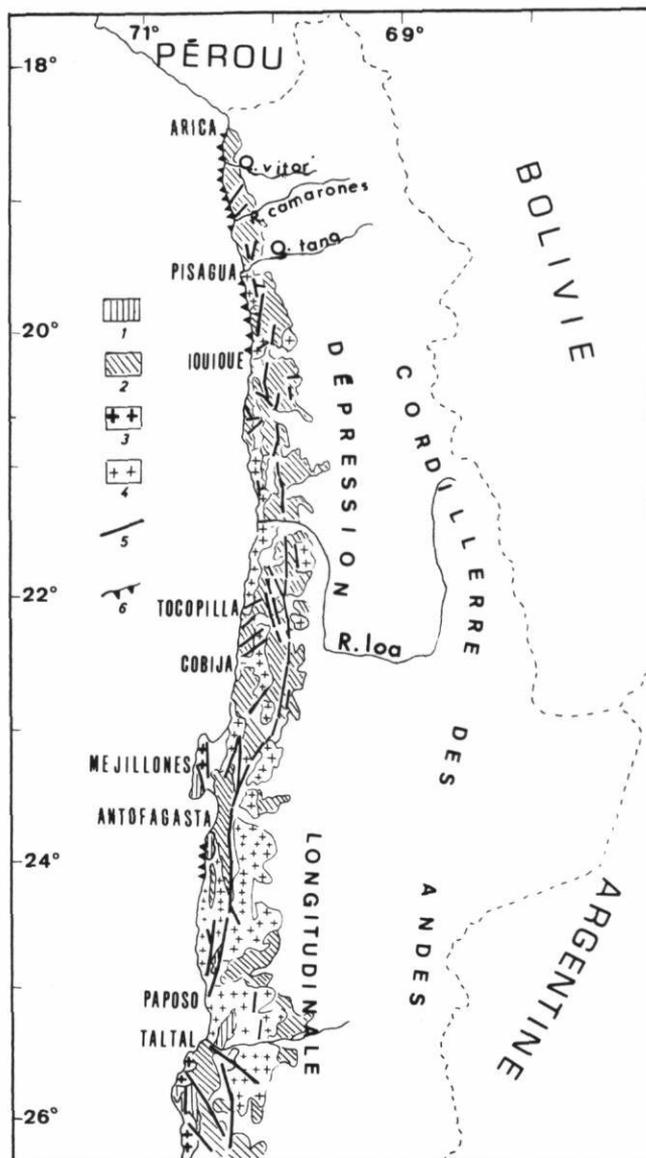


FIGURE 1. La cordillère de la Côte dans le Grand Nord du Chili: croquis de localisation et esquisse structurale (d'après la carte géologique du Chili à 1/1 000 000 simplifiée): 1) roches métamorphiques primaires et précambriennes; 2) roches volcano-sédimentaires mésozoïques; 3) granites primaires; 4) granites mésozoïques; 5) mégafalaise vive.

The Coastal Range in northernmost Chile: location map showing the main faults and the simplified geology (from the geological map of Chile at 1: 1,000,000 scale): 1) Paleozoic and Precambrian metamorphic rocks; 2) Paleozoic granites; 3) Paleozoic granites; 4) Mesozoic granites; 5) active high cliff.

d'un socle ancien affleurent près d'Antofagasta (23°40'S), en particulier dans la péninsule de Mejillones. Au cours de phases tectoniques successives ces roches n'ont pas vraiment été plissées, seulement déformées. Elles ont avant tout été faillées. Au Nord du Rio Loa (21°25'S) des failles N-S sont recoupées par des accidents E-O plus récents (MORTIMER et SARIĆ, 1972). Entre Tocopilla (22°06'S) et Antofagasta, l'orientation préférentielle varie entre le NE et le NO. Au Sud d'Antofagasta, la direction N-S est prédominante. De fait la cordillère de la Côte du Nord du Chili est le siège d'un accident très important, l'*Atacama fault zone* (ALLEN, 1975) qui se suit depuis Copiapó (27°S) jusque près d'Iquique, soit sur plus de 700 km (ARABASZ, 1970). Il s'agit d'un faisceau de failles qui ont surtout connu des mouvements verticaux et qui s'expriment dans la topographie (OKADA, 1971). Depuis la fin du Crétacé, l'évolution du massif a été subaérienne. Selon MORTIMER et SARIĆ (1976), une longue phase de pédiplaniation pendant le Paléogène a conduit à l'élaboration d'un aplanissement étendu (*Coastal Tarapacá Pediplain*). Celui-ci a été dénivélé à la fin de l'Oligocène ou au début du Miocène, époque à partir de laquelle s'ébauche la division tripartite du Nord du Chili. À la cordillère de la Côte ainsi individualisée, une tectonique cassante, qui se poursuit pendant le Néogène, donne une topographie de blocs et de fossés. Celle-ci évolue sous climat désertique par recul des versants et remblaiement corrélatif des dépressions.

Sur la frange littorale, règne un climat hyperaride à atmosphère brumeuse qui s'explique à la fois par l'anticyclone du Pacifique sud et l'existence du courant froid de Humboldt: pour ainsi dire pas de pluie, des températures fraîches toute l'année, des amplitudes thermiques atténuées, des vents dominants du SO, une humidité relative élevée et une forte nébulosité. C'est cette atmosphère humide qui permet à quelques buissons et cactus de s'accrocher vers le haut du grand escarpement côtier. Cependant, très épisodiquement, de forts abatements d'eau peuvent se produire, soit par suite d'une avancée exceptionnelle des perturbations hivernales du front polaire austral jusqu'au Nord d'Antofagasta, soit par suite d'une extension estivale anormale des eaux chaudes du contre-courant équatorial jusqu'au Sud d'Arica.

### LE PROCHE OCÉAN

Le proche océan est caractérisé par une plate-forme continentale peu développée au-delà de laquelle se situe une fosse profonde.

L'étude des cartes marines montre que la plate-forme continentale (considérée comme l'espace sous-marin s'étendant jusqu'à -200 m) est étroite puisque sa largeur est généralement inférieure à 5 km (OKADA, 1971). Commence ensuite le talus dont la pente moyen-

ne est de l'ordre de 5 à 6°; mais sa topographie est complexe, car il montre des paliers et aussi de petites dépressions. La grande fosse, qui longe la côte du Pérou et du Chili, se situe ici à moins de 100 km du littoral (FISHER et RAITT, 1962; HAYES, 1966). Elle s'oriente N-S, et à son axe correspond une anomalie de gravité très nette. Sa largeur varie de quelques kilomètres à quelques dizaines de kilomètres. Sa profondeur, de l'ordre de 6 000 m, dépasse 8 000 m au NO d'Antofagasta. Elle contient peu de sédiments et, là où on en a repéré, ils apparaissent non déformés (SCHOLL *et al.*, 1968). Un plan de Benioff incliné à 28° depuis la fosse vers la cordillère des Andes a été mis en évidence.

Les données dynamiques à propos du milieu océanique sont fragmentaires. Les marées sont modestes puisque le marnage moyen est de l'ordre du mètre. La houle dominante du SO, remarquable par sa constance et souvent sa puissance, peut occasionnellement être renforcée, soit par des *bravezas*, ondes de tempête nées de lointaines perturbations dans le Pacifique sud, soit par les tsunamis, assez fréquents (six entre 1946 et 1964), parfois gigantesques tels ceux d'août 1868 à Arica et de mai 1877 à Iquique. Au total la côte du Nord du Chili représente un environnement littoral à haute énergie.

### LES DIFFÉRENTS SECTEURS DE LA CÔTE

La côte du désert chilien entre Arica et Taltal, au tracé grossièrement méridien, peut être divisée en plusieurs secteurs.

#### *D'Arica à Iquique*

L'escarpement côtier est une falaise vive, haute de 400 à 1 000 m suivant les endroits, qui recule sous l'action des vagues (fig. 2A), sauf entre 19°15' et 19°40'S où une plate-forme émergée s'interpose entre son pied et le littoral rocheux actuel. La partie supérieure de l'escarpement est entaillée par des quebradas perchées du type valleuse. La continuité de la muraille est interrompue seulement à l'embouchure des trois cours d'eau andins (Quebrada Vitor, Rio Camarones, Quebrada de Tana) qui traversent la cordillère de la Côte dans ce secteur.

#### *D'Iquique à l'embouchure du Rio Loa*

L'abrupt côtier devient une falaise morte qui a quelque peu perdu de sa raideur. À son pied, s'étend une terrasse à écueils (fig. 2B), large en moyenne de 2 à 3 km, sauf là où s'avancent en mer quelques promontoires rocheux. Elle s'élève vers l'escarpement sans le plus souvent dépasser 50 m d'altitude. Ici l'abrupt est continu, qu'il soit taillé dans des granodiorites ou dans des roches volcano-sédimentaires. De petites quebradas très suspendues échancrent souvent le haut de la fa-

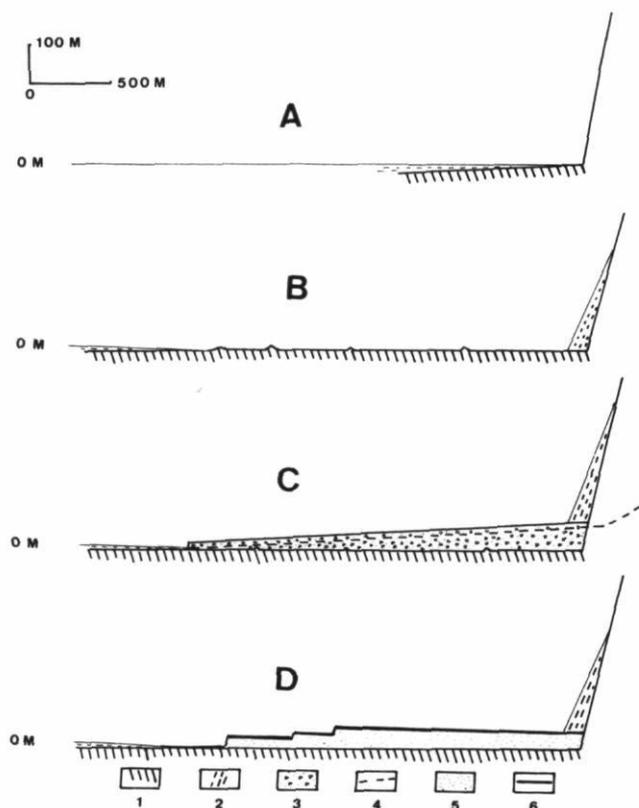


FIGURE 2. Différents aspects du pied du grand escarpement côtier du désert chilien: A. mégafalaise vive; B. mégafalaise morte; rasa à écueils; C. mégafalaise morte; gros cône de déjection inactif reposant sur la rasa; D. mégafalaise morte; terrasses quaternaires étagées taillées dans des dépôts marins pliocènes. 1) Plate-forme d'abrasion marine; 2) éboulis de pente; 3) déjections torrentielles; 4) lit de quebrada; 5) dépôts marins pliocènes; 6) dépôts marins quaternaires.

*Various aspects of the foot of the sea cliff of the Chilean desert: A. active high cliff; B. abandoned high cliff; wave-cut platform with stacks; C. abandoned high cliff; non-active alluvial fan built up on the wave-cut platform; D. abandoned high cliff; step-like Quaternary terraces cut into marine Pliocene deposits. 1) Wave-cut platform; 2) slope deposits; 3) torrential deposits; 4) longitudinal profile of an ephemeral stream; 5) Pliocene marine deposits; 6) Quaternary marine deposits.*

laise: elles témoignent de l'insigne carence de l'érosion continentale.

#### *De l'embouchure du Rio Loa à Antofagasta*

Au-delà de l'embouchure du Rio Loa, l'escarpement côtier conserve son caractère de falaise morte, avec une dénivellation qui varie entre 500 et 1 200 m. Mais la plate-forme émergée, qui se trouve à son pied, a tendance à se rétrécir et surtout elle porte de gros cônes de déjection aujourd'hui inactifs. (fig. 2C). Ils ont été construits par des quebradas qui arrivent à se raccorder au niveau de l'Océan au prix d'une forte déclivité à

l'aval. À partir de Cobija (22°34'S), la plate-forme s'élargit de nouveau; elle est couverte par des dépôts marins pliocènes dans lesquels la mer a taillé des niveaux de terrasses dont les plus élevés atteignent une centaine de mètres de hauteur (fig. 2D). Dans la péninsule de Mejillones ces dépôts pliocènes deviennent très épais. Ils ont été protégés de l'érosion marine par un horst (point culminant 1 148 m) de roches anciennes à l'abri duquel ils s'étaient mis en place. D'où cette protubérance du tracé de la côte qui, ailleurs dans tout le Nord du Chili, présente un aspect à peu près rectiligne.

#### *D'Antofagasta à Taltal*

Au Sud d'Antofagasta, l'escarpement côtier retrouve le caractère d'une falaise vive, haute en moyenne de 500 m jusqu'à la Caleta el Cobre (24°15'S). Il redevient ensuite, pour le rester jusqu'à Taltal, une falaise morte. Celle-ci, bien que parfois très haute — 2 000 m de dénivellation au Nord de Paposo (25°03'S) — n'offre plus l'aspect d'une muraille continue, car elle est profondément échancrée par de nombreuses quebradas nées dans la cordillère de la Côte et se raccordant à l'Océan. Ici aussi, elles ont construit à leur débouché d'énormes cônes de déjection. Parce que ces accumulations torrentielles ont été édifiées sur une plate-forme émergée généralement étroite, leur front a été taillé en falaise haute de plusieurs mètres.

On le voit, c'est bien le grand escarpement qui constitue le trait majeur de la côte du Nord du Chili. Il faut essayer maintenant d'en expliquer la genèse et l'évolution.

## L'ORIGINE DU GRAND ESCARPEMENT CÔTIER

### 1. HYPOTHÈSES ANTÉRIEURES

BRÜGGEN (1950) est le premier auteur à avoir proposé une interprétation de la mégafalaise: elle correspondrait fondamentalement à un grand escarpement de faille que l'Océan n'a guère fait évoluer en raison de son extrême jeunesse et que l'érosion continentale, inefficace dans un milieu très aride, n'a pas dégradé. En fait il ne s'agirait pas d'un seul accident, mais d'un faisceau de failles à fort rejet vertical, disposées en échelons et en marches d'escalier. Un tel agencement structural expliquerait la très haute falaise vive qui caractérise la côte entre Arica et Iquique. Il rendrait compte aussi de l'espace émergé qui, au Sud d'Iquique, sépare le pied de l'escarpement du rivage rocheux actuel: ce cas se présente lorsqu'un gradin faillé, à la base du grand abrupt, occupe une position altimétrique voisine de celle de l'Océan qui a pu le recouvrir et même le retoucher. Un âge quaternaire est suggéré pour la mise en place de ces structures car des dépôts continentaux considérés — à tort, on le verra — comme

pléistocènes apparaissent parfois tranchés par la falaise. En résumé, pour Brüggén, la côte du désert chilien serait le type même d'un littoral escarpé à influence tectonique puissante, directe et récente (fig. 3A).

Une autre interprétation a été récemment proposée par Mortimer et Sarič (SARIČ, 1971; MORTIMER, 1972; MORTIMER et SARIČ, 1972, 1976). Pour eux, l'impressionnant abrupt serait une vraie falaise marine taillée par l'Océan conformément à la théorie classique: elle résulterait du recul et du raidissement d'un versant initial sous l'action mécanique des vagues (fig. 3B). L'essentiel du travail de l'érosion marine aurait pris place pendant le Pliocène et aurait été favorisé par une subsidence littorale. La présence ou l'absence d'une plate-forme d'abrasion émergée s'expliquerait par l'effet de mouvements tectoniques quaternaires.

## 2. NOUVELLE HYPOTHÈSE

Il est difficile d'admettre l'une ou l'autre des deux hypothèses qui viennent d'être rappelées. La première qui fait de l'escarpement côtier un abrupt de faille se heurte à deux objections: d'abord le tracé de la falaise est trop sinueux dans le détail pour correspondre à des accidents cassants d'allure nécessairement plus rectiligne; ensuite des levés géologiques de détail, dans la région d'Iquique par exemple (THOMAS, 1970), n'ont pas apporté la preuve de l'existence de failles au pied de l'escarpement. La seconde hypothèse qui explique l'abrupt côtier uniquement par l'action de l'érosion marine paraît tout aussi invraisemblable compte tenu du volume rocheux qui aurait dû être déblayé et de l'efficacité limitée que les spécialistes s'accordent généralement à reconnaître à l'érosion marine (GUILCHER 1954; ZENKOVICH, 1967). Aussi suggérons-nous une troisième voie (PASKOFF, 1976) qui se situe à mi-chemin entre les deux précédentes: la mégafalaise dériverait d'escarpements tectoniques en échelons de grande ampleur qui auraient plus ou moins reculé sous l'effet de l'érosion marine (fig. 3C). Une telle hypothèse rend compte à la fois du tracé, dans ses grandes lignes et dans le détail, de l'abrupt côtier, de l'absence de faille à sa base et de sa hauteur, tout en assignant à l'Océan une action érosive qui reste dans les limites du raisonnable.

## LA FORMATION DU GRAND ESCARPEMENT CÔTIER

### 1. SA NAISSANCE

On peut essayer de fixer l'époque pendant laquelle se sont produites les grandes dénivellations verticales qui ont donné à la cordillère de la Côte son volume orographique et qui sont aussi à l'origine du grand escarpement côtier. Celui-ci tranche parfois, comme au Nord et au Sud d'Iquique, d'épais dépôts continentaux, détritiques, évaporitiques et volcaniques, que BRÜG-

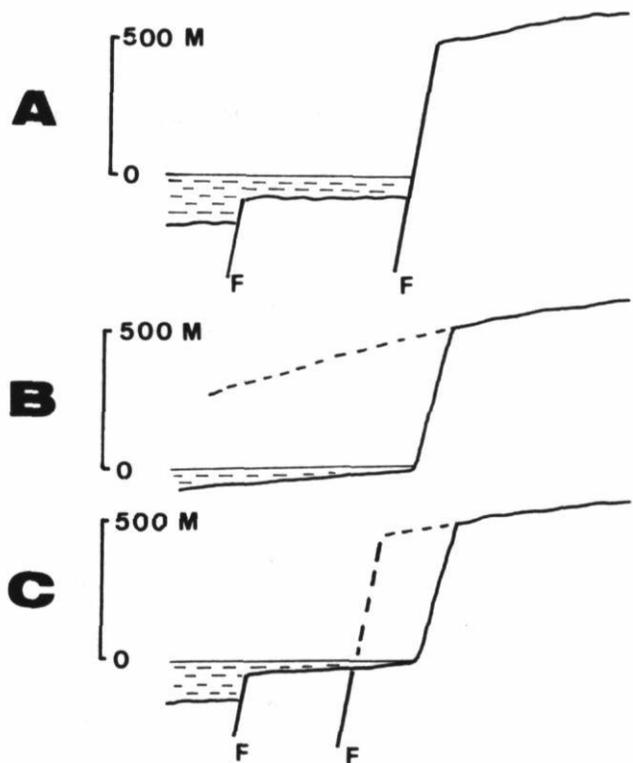


FIGURE 3. Différentes hypothèses à propos de l'origine du grand escarpement côtier du désert chilien: A) selon BRÜGGÉN (1950); selon MORTIMER et SARIČ (1972); selon PASKOFF (1976).

*Different hypothesis on the origin of the high sea cliff of northernmost Chile: A. according to BRÜGGÉN (1950); B. according to MORTIMER and SARIČ (1972); according to PASKOFF (1976).*

GEN (1950) avait rapportés au Quaternaire. En fait, ils se sont accumulés dans des dépressions fermées lors de l'importante phase de pédiplanation qui au Tertiaire, probablement pendant l'Oligo-Miocène, a précédé la mise en place des grandes unités actuelles du relief. À Pisagua (19°35'S), une coupe très intéressante (fig. 4) a été décrite par SILVA (1977). Elle montre de tels dépôts, puissants de plus de 200 m, recoupés par la haute falaise et, en arrière de celle-ci, par une faille de direction N-S qui a plus de 400 m de rejet. Or, au milieu de ces dépôts, se trouve un niveau ignimbrétique dont la datation par la méthode K/Ar a donné un âge de 21,3 millions d'années  $\pm 0,3$  (MORTIMER *et al.*, 1974), soit du Miocène inférieur. C'est donc à la fin du Miocène, ou au plus tard au tout début du Pliocène (*cf.* paragraphe suivant), tout comme plus au Sud dans le Chili semi-aride (PASKOFF, 1970) que se place une phase tectonique en extension de grande ampleur. Elle est responsable du faisceau d'accidents méridiens — la faille de Pisagua en est un élément — qui va fixer dans

ses grandes lignes la position du littoral dans le Nord du Chili. Les failles E-O à rejet plus modeste, qui, au Nord du Rio Loa, recoupent les failles N-S, sont plus récentes et expliquent certaines indentations du trait de côte.

## 2. SON REcul

Une importante transgression marine a affecté la côte du Nord du Chili à partir du Pliocène moyen (HERM, 1969). Elle a dû jouer un rôle essentiel dans le recul des grands escarpements de faille littorales apparus à la fin du Miocène. Aucun point de repère ne permet d'évaluer avec précision ce recul encore que la largeur de la plate-forme continentale d'une part, celle de la terrasse d'abrasion qui frange le pied de la mégafalaise là où elle n'est plus vive d'autre part, permettent de s'en faire une idée: il a pu être en moyenne de l'ordre de 6 à 7 km. Un tel retrait qui a transformé des escarpements tectoniques en vraies falaises a été rendu possible par l'élévation progressive et continue du niveau de l'Océan. Ainsi était annulé l'effet de freinage sur les vagues qu'aurait exercé l'élargissement de la plate-forme d'abrasion si le niveau marin était resté fixe. La durée de la transgression — du Pliocène moyen au Pliocène supérieur — et le milieu littoral à forte énergie ont été d'autres facteurs favorables. Des dépôts de grès tendres fossilifères (formation de Coquimbo) attestent par endroits cette transgression. Réduits à l'état de témoins au Sud d'Iquique (Caleta Caramucho 20°42'S) et au Nord de Taltal (Las Lozas 25°07'S), les affleurements de Pliocène marin sont au contraire bien développés au Nord d'Antofagasta depuis la Caleta Gático (22°30'S) jusqu'à la péninsule de Mejillones où ils sont à la fois épais et étendus (HERM, 1969).

Ainsi le trait caractéristique de l'espace côtier du Nord du Chili — sa mégafalaise — était-il acquis dès la fin du Pliocène au moment où s'amorce une régression (HERM, 1970). Seules de discrètes retouches seront apportées pendant le Quaternaire.

## L'ÉVOLUTION PENDANT LE QUATÉNAIRE

### 1. LES CYCLES MARINS GLACIO-EUSTATIQUES

Des recherches menées plus au Sud, le long de la côte du Chili semi-aride, ont fait apparaître que six cycles marins, très probablement d'origine glacio-eustatique, chacun caractérisé par une transgression suivie d'une régression, ont marqué le Quaternaire (HERM et PASKOFF, 1967). Le résultat final a été une régression par rapport à la ligne de rivage atteinte lors du maximum de la transgression pliocène. Autour de la baie de Coquimbo (30°S), région connue pour sa relative stabilité (PASKOFF, 1970) les cycles marins pléistocènes ont taillé dans les grès marins pliocènes cinq

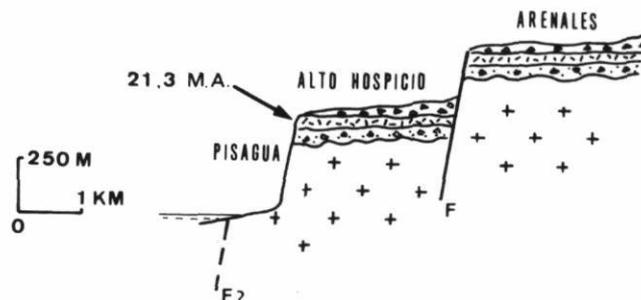


FIGURE 4. La coupe de Pisagua, d'après SILVA (1977): explication dans le texte.

*The Pisagua section according to SILVA (1977): explanation in the text.*

terrasses d'abrasion étagées entre 120 m et la plage actuelle, et séparées entre elles par des falaises mortes.

Les secteurs de la côte du désert chilien, qui montrent un tel système de terrasses étagées, sont l'exception. Au Sud d'Iquique par exemple, plusieurs niveaux d'origine marine sont disposés en marches d'escalier à Bahía Chiquinata (20°10'S), Caleta Toyos (20°25'S), Caleta Caramucho (20°39'S) et Punta Patache (20°48'S). En ce dernier endroit, quatre niveaux sont clairement visibles, à 80 m au pied du grand escarpement, puis à 40 m, 20 m et 5 m. On rencontre également des terrasses d'abrasion étagées au Sud de Tocopilla, à partir de la Caleta Gático (22°30'S) jusqu'à la péninsule de Mejillones. À la Playa de los Hornos (22°55'S), HERM (1969) a décrit quatre plates-formes, taillées dans les grès marins pliocènes, qui culminent à 95 m, 55 m, 45 m et 8 m. Il les assigne respectivement au Sérénien I, Sérénien II (Quaternaire ancien), Herradurien I (Quaternaire moyen) et Cachaguien (Quaternaire récent). Le plus bas niveau a été réoccupé par l'Océan au moment du maximum de la transgression holocène et partiellement exondé depuis.

Hormis les secteurs qui viennent d'être signalés, partout ailleurs où le grand escarpement côtier n'est pas atteint par les vagues, une seule plate-forme d'abrasion marine s'étend à son pied en s'abaissant vers la côte actuelle (fig. 5). Cette plate-forme entre dans la catégorie des *rasas* du premier genre pour reprendre la terminologie proposée par GUILCHER (1974). Par rapport au modèle, elle présente cependant quelques imperfections: du côté de l'Océan, elle n'est que faiblement perchée (quelques mètres en général) et même dans certains cas, rares il est vrai, elle aboutit sans rupture de pente au littoral rocheux actuel. Le petit abrupt externe correspond presque toujours à une falaise morte qui domine un bas niveau holocène émergé, et très rarement à une falaise vive. Cette *rasa* présente des caractères morphologiques bien définis: sa continuité qu'interrompent seulement quelques promontoires rocheux, sa largeur variable de un à plusieurs kilomètres,

son altitude à l'amont rarement supérieure à 50 m. Sa topographie est souvent accidentée de pointements rocheux, d'aspect ruiniforme, parfois gîtes de *guano* fossile, qui correspondent de toute évidence à d'anciens écueils. L'origine marine de la rasa est enfin attestée par des placages de formations de plage fossilifères (galets, sables, coquilles).

Peut-on proposer un âge pour l'élaboration de cette plate-forme? Il est raisonnable de supposer qu'elle est polychronique. Due fondamentalement au recul du grand escarpement lors de l'importante transgression du Pliocène moyen à supérieur, elle a probablement été retouchée à plusieurs reprises pendant les pulsations transgressives du Quaternaire ancien et aussi du Quaternaire moyen. À l'occasion de ces retours offensifs de l'Océan, la mégafalaise a sans doute continué à reculer mais, parce qu'ils ont été brefs, le retrait au cours du Pléistocène a été, selon toute vraisemblance, limité. À la Playa de los Hornos (22°55'S), par exemple, on peut même considérer qu'il a été nul puisque des dépôts pliocènes fossilisent encore le pied de l'escarpement.

## 2. LES MOUVEMENTS TECTONIQUES

À l'exception de la péninsule de Mejillones sur laquelle on reviendra, il est remarquable de constater qu'aucune faille à expression topographique n'a été repérée, à l'occasion de l'enquête sur le terrain et de l'examen des photographies aériennes, sur la frange côtière du Nord du Chili. Le fait avait déjà été noté par MORTIMER et SARIĆ (1972) dans la région d'Iquique. Les mêmes failles qui, dans la cordillère de la Côte, se

traduisent par des escarpements ne sont plus, sur la plate-forme au pied de l'escarpement, que des cicatrices dégagées par l'action des vagues à proximité du rivage actuel. Cette observation suggère que ces accidents sont à tout le moins antérieurs à l'élaboration finale de la rasa et qu'ils n'ont pas rejoué récemment.

Par contre, à en juger par les variations de son altitude maximale à l'amont, la plate-forme a été affectée par des mouvements à grand rayon de courbure. Ce sont de tels gauchissements qui expliquent sa disparition entre Arica et Iquique et, sur une courte distance, au Sud d'Antofagasta, là où l'abrupt côtier évolue encore aujourd'hui comme une falaise vive. En outre, la comparaison avec la position altitudinale et le nombre des terrasses marines quaternaires dans un secteur littoral situé plus au Sud, entre 30° et 33°S — dans lequel alternent des segments assez stables et d'autres au contraire fortement soulevés (PASKOFF, 1970) — fait apparaître que toute la côte du Nord du Chili, d'Arica à Taltal, a probablement connu une subsidence modérée mais généralisée pendant le Quaternaire.

Ces considérations ne s'appliquent pas à la péninsule de Mejillones. Ici au contraire des failles verticales post-pliocènes, à l'origine de soulèvements de plusieurs centaines de mètres, ont affecté le horst de roches anciennes qui limite à l'Ouest l'excroissance de la côte (fig. 6). L'exhaussement et le basculement des terrasses marines quaternaires sont particulièrement spectaculaires (OKADA, 1971). Mais c'est là un cas exceptionnel comme l'est la situation — en avant du grand escarpement — et la nature lithologique — morceau de socle — du môle à l'origine de la péninsule.



FIGURE 5. Plate-forme d'abrasion à écueils du type rasa, au pied du grand escarpement côtier du Nord du Chili; au deuxième plan, cône de déjection dissecté de la Quebrada Iquique (21°42'S).

*Wave-cut platform with scattered stacks at the foot of the high sea cliff of Northernmost Chile; in the middle ground the dissected alluvial fan of the Quebrada Iquique (21°42'S).*

### 3. LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Au Sud du Rio Loa, on l'a vu, de gros cônes de déjection ont été édifiés sur la plate-forme émergée au pied du grand escarpement, là où débouchent des quebradas nées dans la cordillère de la Côte et profondément encaissées dans leur cours aval. La brutale rupture de pente à la base de la haute falaise a été évidemment un facteur favorable à l'accumulation de matériaux détritiques (fig. 7).

Le plus souvent on ne rencontre qu'un seul gros cône, aujourd'hui entaillé par des écoulements très épisodiques. À l'aval, il est tronqué par une falaise, presque toujours morte: elle date du maximum de la transgression holocène. Quelquefois un modeste cône s'emboîte dans le gros cône: il est lui aussi incisé, et sur son front la mer modèle une falaise vive: c'est le cas, par exemple, au débouché de la Quebrada Iquique (21°42'S) ou de la Quebrada Botija (24°30'S). Exceptionnellement, le dispositif peut être complété par un petit cône actuel (Quebrada Palo Parado, 25°13'S).

Les gros cônes attirent l'attention par leur volume. Ils sont parfois coalescents: ils constituent alors un glacis alluvial comme entre la Punta Urcú (21°45'S) et le Cabo Paquica (21°55'S).

Ces cônes imposants, dont le matériel en profondeur n'est pas altéré, sont morts. On a déjà dit qu'ils sont actuellement disséqués par de rares écoulements et que, fréquemment, une falaise morte très bien conservée les tronque à l'aval. Leur pente indique une construction en fonction d'un niveau de l'Océan plus bas que l'actuel, correspondant donc à une période de régression. Enfin l'état de leur surface — un pavage désertique aux cailloux patinés — montre qu'ils ne reçoivent plus de matériel; au contraire, ils en perdent par déflation.

Il est important d'essayer de déterminer la cause de la dissection de ces gros cônes. On pense d'emblée à l'effet de mouvements tectoniques de surrection. Mais le phénomène est si général qu'à la réflexion l'explication apparaît peu vraisemblable d'autant plus que, on l'a dit, c'est la subsidence qui, pendant le Quaternaire, l'a emporté sur la frange côtière. L'amputation du front des cônes (*toe trimming*; WILLIAMS, 1973), lors de la transgression de l'Océan à l'Holocène, a pu favoriser la dissection par accentuation de la pente à l'aval, donc par démarrage d'une érosion régressive. Mais comme on note aussi une incision — moins marquée sans doute — là où les cônes n'ont pas été tronqués, comme par exemple au Sud de Cobija, cette cause ne semble pas avoir été la seule ni la plus importante. Finalement on se trouve conduit à faire intervenir des changements climatiques. On peut penser avec LUSTIG (1965) que les accumulations se sont produites pendant des périodes de plus fortes précipitations au cours desquelles

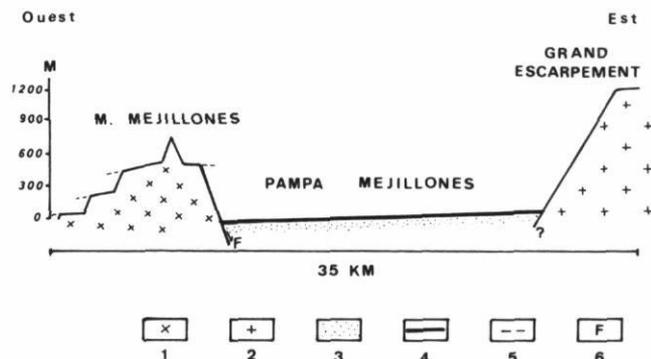


FIGURE 6. Coupe schématique à travers la péninsule de Mejillones' 1) roches anciennes; 2) granodiorite jurassique; 3) Pliocène marin (formation de Coquimbo); 4) dépôts marins quaternaires; 5) terrasses d'abrasion marine; 6) faille.

*Schematic section across the Mejillones Peninsula; 1) old rocks; 2) Jurassic granodiorite; 3) marine Pliocene (Coquimbo Formation); 4) Quaternary marine deposits; 5) wave cut platforms; 6) fault.*

le rapport débit/charge était relativement élevé, ce qui permettrait le transport et l'étalement du matériel détritico livré par les versants. Au contraire l'incision interviendrait lorsque les pluies sont plus localisées et moins fréquentes: le rapport débit/charge bas donne des écoulements boueux capables d'une action d'érosion au détriment de l'accumulation antérieure.

Il semble donc que les gros cônes de la frange littorale du désert chilien aujourd'hui inactifs aient une origine climatique. Ils témoignent, sinon d'un authentique pluvial, du moins d'une période à averses qui a affecté la cordillère de la Côte de l'embouchure du Rio Loa vers le Sud. Elle n'a pas fondamentalement modifié la tendance aride du climat, mais elle a activé pour un temps l'érosion torrentielle aujourd'hui en sommeil. Cette recrudescence des pluies trouve une explication dans un affaiblissement de l'anticyclone du Pacifique sud, peut être aussi dans une atténuation des remontées d'eaux froides du courant de Humboldt (TRICART *et al.*, 1969). Elle semble se placer dans la deuxième moitié du Würm/Wisconsin puisque au Sud d'Antofagasta, dans la Bahía Coloso (23°45'S), le gros cône torrentiel repose sur des dépôts de plage qui ont été datés, par la méthode du  $^{14}\text{C}$ , de  $37\,200 \pm 2\,200$  B.P. — 1 600

(PASKOFF, 1973).

Quant aux petits cônes, quelquefois emboîtés dans les cônes volumineux, ils témoignent très probablement d'une légère récurrence des averses pendant l'Holocène.

### L'ÉVOLUTION ACTUELLE DU GRAND ESCARPEMENT

Là où sa base est baignée aujourd'hui par l'Océan, l'escarpement est souvent proche de la verticale et il



FIGURE 7. Cônes de déjection coalescents au pied du grand escarpement côtier du Nord du Chili; ils sont tronqués par une falaise morte taillée à l'époque du maximum de la transgression holocène (22°S).

*Alluvial fans built up at the foot of the high sea cliff of northernmost Chile; the small cliff which cuts their toes dates back to the peak of the Holocene transgression and lies now beyond the reach of marine action (22°S).*

évolue comme une falaise marine selon des modalités difficiles à préciser, car on imagine que les conditions d'observation sur le terrain sont très scabreuses. Le rôle de l'action mécanique des vagues est malaisé à apprécier. À propos des mégafalaises d'Irlande, GUILCHER (1966) pense que le seul impact des paquets de mer ne peut les faire reculer sur des hauteurs très grandes. Il fait intervenir une fissuration qui se produit à l'intérieur de la roche du fait de l'existence d'une vaste paroi en porte-à-faux. Ce phénomène de décompression par appel au vide joue probablement aussi dans le cas de l'abrupt du Nord du Chili, mais ici le matériel est déjà très fissuré pour des raisons d'ordre tectonique et parfois même ameubli par des venues hydrothermales. Enfin les secousses sismiques provoquent des ruptures d'équilibre et aident au détachement de blocs, de plaques, voire de masses rocheuses plus considérables. L'examen des photographies aériennes donne la preuve de tels glissements, en particulier entre Pisagua et Iquique. En différents endroits, on remarque des niches de décollement sur la partie haute de l'escarpement et, plus bas, d'immenses pans, dénivelés les uns par rapport aux autres par des failles panamiennes, aboutissant à l'Océan. Mais aucune évaluation de la vitesse du recul de la grande falaise ne peut être proposée. L'existence de quebradas perchées du type valleuse n'indique pas un retrait rapide puisque l'érosion continentale est pratiquement inexistante dans ce milieu hyperaride.

Là où il est devenu une falaise morte, l'escarpement côtier a perdu de sa raideur et des éboulis empâtent son pied. Des coupes montrent des lits alternés

de petite pierraille et de sable, avec des encroûtements de sels. Ce type de dépôt colluvio-éolien, déjà décrit par DOLLFUS (1965) sur le littoral péruvien, continue probablement à se former aujourd'hui. Les gros blocs éboulés, de taille céphalique, qui çà et là gisent à la base de la falaise, se sont vraisemblablement détachés, lors de forts ébranlements telluriques, du mur rocheux le plus souvent très diaclasé. Les séismes ont aussi déclenché des décollements. THOMAS (1970) en a signalé un excellent exemple au Sud d'Iquique, près de la Caleta Sarmenia (20°27'S). La loupe de roches glissées s'est avancée jusque sur la plate-forme d'abrasion basale et présente un modelé en bourrelets très caractéristique. Quant aux surfaces rocheuses de l'escarpement, leur météorisation est liée essentiellement à l'haloclastie (MORTENSEN, 1927). Les alvéoles sont plus fréquents que les vrais taffonis.

## CONCLUSION

Ainsi le grand abrupt côtier, trait morphologique majeur du littoral du Nord du Chili, a-t-il une origine relativement ancienne. Au départ, il correspond à un ensemble d'escarpements de faille, d'orientation méridienne, dû à une puissante tectonique en extension qui s'est manifestée vers la fin du Miocène. L'importante transgression du Pliocène moyen à supérieur, en faisant reculer la ligne de rivage, lui a donné ses caractéristiques de falaise marine. Au Quaternaire, en dépit d'une tendance à la subsidence, les variations du niveau de l'Océan l'ont à peine retouché. Les effets des oscillations climatiques sont aussi restés très discrets. Parce

que le milieu ne s'est pas départi de sa tendance aride, il a conféré au grand escarpement côtier, même là où il n'est plus battu par l'Océan, une remarquable immunité.

(Manuscrit déposé le 14 août 1978)

#### BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN, C. R. (1965): Transcurrent faults in continental areas; *Royal Philosophical Soc. Trans.*, 258, p. 82-89.
- ARABASZ, W. J. (1970): *Geological and geophysical studies of the Atacama fault zone in northern Chile*, Ph.D., Calif. Inst. of Technology.
- BRÜGGEN, J. (1950): *Fundamentos de la geología de Chile*, Santiago, 374 p.
- CECIONI, G. (1970): *Esquema de de paleogeografía chilena*, Santiago, 143 p.
- CORVALAN, J. (1965): *Geología in Geografía económica de Chile*, 35-95, Santiago.
- DOLLFUS, O. (1965): *Les Andes centrales du Pérou et leurs piémonts (entre Lima et le Pérou), étude géomorphologique*, thèse lettres, Paris, 404 p.
- FISCHER R. L. et RAITT, R. W. (1962): Topography and structure of the Peru-Chile trench, *Deep Sea Research*, 9, p. 423-443.
- GUILCHER, A. (1954): *Morphologie littorale et sous-marine*, Paris, 216 p.
- (1966): Les grandes falaises et mégafalaises des côtes sud-ouest de l'Irlande, *Ann. Géogr.*, 407, p. 26-38.
- (1974): Les « rasas »: un problème de morphologie littorale générale, *Ann. Géogr.*, 455, p. 1-33.
- HAYES, D. E. (1966): A geophysical investigation of the Peru-Chile Trench, *Marine Geol.*, 4, p. 309-351.
- HERM, D. (1969): Marines Pliozän und Pleistozän in Nord- und Mittel-Chile, unter besonderer Berücksichtigung der Mollusken-Faunen, *Zitteliana*, 2, p. 1-159.
- (1970): *Bostryx variabilis n. sp.*, eine Landschnecke aus dem Altpleistozän von Mejillones, Nordchile, *Mitteilungen Bayerischen Staatsamml. Hist. Geol.*, 10, p. 189-198.
- HERM, D. et PASKOFF, R. P. (1967): Vorschlag zur Gliederung des marinen Quartärs in Nord- und Mittel-Chile, *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, 10, 577-588.
- LUSTIG, L. K. (1965): Clastic sedimentation in Deep Springs Valleys, California, *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 352-F, 131-192.
- MORTENSEN, H. (1927): *Der Formenschatz der nordchilenischen Wüste*, Berlin, 191 p.
- MORTIMER, C. (1972): The evolution of the continental margin of northern Chile, *24th Session Intern. Geol. Congress Canada*, Sect. 8, p. 48-52.
- MORTIMER, C. et SARIČ, N. (1972): Landform evolution in the coastal region of Tarapacá province, Chile, *Rev. Géomorphol. dynamique*, 21, p. 162-170.
- (1976): Cenozoic studies in northernmost Chile, *Geol. Rundschau*, 65, p. 395-420.
- MORTIMER, C., FARRAR, E. et SARIČ, N. (1974): K-Ar ages from Tertiary lavas of the northernmost Chilean Andes, *Geol. Rundschau*, 63, p. 484-490.
- MUÑOZ-CRISTI, J. (1973): *Geología de Chile*, Santiago, 209 p.
- OKADA, A. (1971): On the neotectonics of the Atacama fault zone region; preliminary notes on Late Cenozoic faulting and geomorphic development of the Coast Range of northern Chile, *Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo*, 3, p. 47-65.
- PASKOFF, R. (1970): *Recherches géomorphologiques dans le Chili semi-aride*, Bordeaux, 420 p.
- (1973): Radiocarbon dating of marine shells taken from the north and central coast of Chile; *IX Intern. INQUA Congress Abstracts*, Christchurch, p. 281-282.
- (1976): Sur l'origine du grand escarpement côtier du désert chilien, *XXIII Intern. Geogr. Congr. Abstracts*, Moscou, 1, p. 207-211.
- RUIZ, C. (1965): *Geología y yacimientos metálicos de Chile*, Santiago, 305 p.
- RUTLAND, R. W. R. (1971): Andean orogeny and ocean floor spreading, *Nature*, 233, 252-255.
- SARIČ, N. (1971): *Evolución cenozoica de la Cordillera de la Costa en la Provincia de Tarapacá, Chile*, thèse géologie Univ. du Chili, 176 p.
- SCHOLL, D. W., HUENE (von) R. et RIDLON, J. B. (1968): Spreading of the ocean floor: undeformed sediments in the Peru-Chile trench, *Science*, 159, p. 869-871.
- SCHOOL, D. W., CHRISTENSEN, M. N., HUENE (von) R. et MARLOW, M. S. (1970): Peru-Chile trench sediments and sea-floor spreading, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 81, p. 1339-1360.
- SILVA, L. I. (1977): *Carta geológica de Chile (1: 100 000), hojas Pisagua y Zapiga (I región)*, Inst. de Investigaciones Geológicas, Santiago.
- THOMAS, A. (1970): *Carta geológica de Chile (1: 50 000), Cuadrángulos Iquique y Caleta Molle (provincia de Tarapacá)*, Inst. de Investigaciones Geológicas, Santiago.
- TRICART, J., DOLLFUS, O. et CLOOTS-HIRSCH, A. R. (1969): Les études françaises du Quaternaire sud-américain, *Bull. Ass. Franç. Ét. Quat.*, suppl., p. 215-234.
- WILLIAMS, G. E. (1973): Late Quaternary piedmont sedimentation, soil formation and paleoclimates in arid South Australia, *Zeit. Geomorphol.*, 17, p. 102-125.
- ZEIL, W. (1964): *Geologie von Chile*, Berlin, 233 p.
- ZENKOVICH, V. P. (1967): *Processes of coastal development*, Edimbourg, 738 p.