

Conductivité électrique et structure de la croûte dans la région du Golfe de Corinthe (Grèce) d'après les résultats de Sondage Magnéto-Tellurique (SMT)

Van Ngoc Pham, Danièle Boyer, Gerasimos Chouliaras et Pascal Bernard

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 323, série II a,
p. 651 à 656,
1996

Résumé Une première étude magnéto-tellurique dans la région du Golfe de Corinthe en Grèce centrale a permis de mettre en évidence le caractère électrique très hétérogène de la croûte, à cause de la superposition de la tectonique de compression EW pré-néogène de la chaîne des Hellénides et de la tectonique d'extension NS postérieure du Golfe. Elle montre, d'autre part, l'existence d'une zone relativement conductrice entre 10 et 20 km de profondeur, de caractère régional. Cette zone correspond probablement à une zone ductile favorisant le décollement de la croûte supérieure cassante et sismogène, suite à l'extension du Golfe.

V.N. P. et D. B. : IPGP,
Laboratoire de Géomagnétisme,
URA n° 729 du CNRS,
4, place Jussieu, Tour 24,
75252 Paris CEDEX 05, France ;

G. C. : Institute of Geodynamics, NOA,
PO Box 20048,
GR. 11810, Athens, Grèce ;

P. B. : IPGP, Département
de Sismologie,
4, place Jussieu,
75252 Paris CEDEX 05, France.

Mots-clés : Golfe de Corinthe, Magnéto-tellurique, Conductivité électrique, Croûte, Zone ductile.

Abstract **Electrical conductivity and structure of the crust around the Gulf of Corinth (Greece) from Magneto Telluric Sounding (MTS) results**

A first magnetotelluric survey around the Gulf of Corinth in central Greece indicates the presence of a strong heterogeneity of the electrical conductivity of the crust induced by the superposition of a prior EW compression phase of the Hellenides range and a later NS extension phase of the Gulf. It shows also the existence of a regional relatively conductive layer between 10 and 20 km deep. This layer corresponds probably to a ductile zone which favours the detachment of the brittle and seismogenic upper crust, following the extension of the Gulf.

Keywords: Gulf of Corinth, Magnetotellurics, Electrical conductivity, Crust, Ductile zone.

**Abridged
English
Version**

THE Gulf of Corinth in Greece, about 120 km long in the WNW-ESE direction and an average of about 20 km wide, is one of the most active tectonic areas of the Mediterranean region. It is an asymmetrical graben formed since the Miocene, with a subsiding northern coast and a rising southern coast, indicating the dominant activity of the normal faults dipping to the north (Armijo *et al.*, 1996). This results in the uprising of thick Plioquaternary deposits to the south (Doutsos *et al.*, 1988; Ori, 1989; Armijo *et al.*, 1996), and the outcropping of the bedrock on the northern coast. The geological structure around the Gulf of Corinth consists of a W-verging stack of flat-lying nappes belonging to the Hellenides range, striking NNW-SSE (Aubouin *et al.*, 1962; Bonneau, 1982; Doutsos and

Poulimenos, 1992). These thrusts have been deformed and folded, during the E-W compression phase, then uplifted and cut by the normal faults related to the Neogene extension phase, resulting in a set of nearly perpendicular structures.

The Gulf is at present opening at 1.5 cm/year, according to GPS measurements (Briole *et al.*, 1994), corresponding to a strain rate of 10^{-6} per year. The instrumental and historical seismicity is very high: 5 earthquakes with magnitudes greater than 6 in the last 30 years—the last one being the $M_s = 6.1$, June 15, 1995, Aigion earthquake—, and several destructive historical earthquakes with estimated magnitudes greater than 7 (Papazachos *et al.*, 1980). Melis *et al.* (1989) and King *et al.* (1985) speculated that the normal faults

Note

présentée par
Jean-Louis Le Mouél.

remise le 10 juin 1996,
acceptée le 17 juin 1996.

dipping north are rooted on a north-dipping, shallow angle plane at 10-15 km in depth. Rigo *et al.* (1996) showed that the microseismicity is mainly located between 4 and 13 km in depth, again suggesting the existence of a detachment zone under this seismogenic layer, dipping 10° - 20° to the north, and corresponding to a transition to a ductile lower crust.

In order to bring additional information on the crustal structure of the rift, IPGP and NOA conducted a magnetotelluric survey in October 1995: 15 MTS stations have been operated with 11 sites to the north, west of Itea, and 4 sites to the south, near Aigion (**fig. 1**). Magnetotelluric signals were recorded on two orthogonal directions, allowing the tensor analysis of the data (Chouliaras and Rasmussen, 1988; Pham *et al.*, 1990; Vozoff, 1993), which provides the broad-band MTS functions for two orthogonal principal directions in the period range 10^{-3} to 10^3 sec., spanning crustal depths from the subsurface to the bottom of the crust.

We present here the results for the LAK-AMI profile, about 38 km long, crossing the Gulf (dashed line in figure 1). The tensor analysis shows a strong two-dimensional anisotropy, with directions $N110^{\circ} \pm 10^{\circ}$ (labelled "EW" in the following), and $N20^{\circ} \pm 10^{\circ}$ ("NS"), corresponding to the main structural directions of the Gulf. The only exception is for PSA, with a $N55^{\circ} \pm 5^{\circ}$ strike, coinciding with the strike of a local active fault.

A simple one-dimensional model allows us to propose a resistivity profile versus depth under each site, for each principal direction.

Figure 2 presents the NS resistivity on the LAK-AMI profile.

The first striking observation is the strong heterogeneity of the crust, which persists also for the anisotropy, for which the conductive direction can be either NS, or EW, depending on the site and depth.

A second important result is the evidence for a relatively conductive layer about 7 km thick below 9 to 12 km in depth. Following Jones (1987) and Pham *et al.* (1990, 1992, 1995), we propose that this is due to the presence of fluids in zones of ductile shear, and more generally in the lower crust. The top of this layer coincides with the detachment zone deduced from seismicity studies which support this model (**fig. 2**). However, it does not present any evidence for a Northward, shallow dipping angle. Furthermore, this conductive layer is not restricted to the root of the active normal faults, but exists under all the studied sites. It could therefore be related to tectono-metamorphic processes due to the pre-Neogene activity of the thrusts. This inherited ductile layer would currently favour the detachment of the upper crust and the rifting. Finally, the electrical discontinuity at about 28 km in depth under AMI may well correspond to the Moho, observable at this site owing to a rather high resistivity of the crust.

These preliminary results, which provide clear evidence for a conductive layer in the middle crust and for a strong anisotropy related with the tectonic structure, should be refined by further studies, with denser arrays of sites, in order to better correlate the resistivities from site to site.

1. INTRODUCTION

Le Golfe de Corinthe en Grèce, de longueur environ 120 km suivant la direction WNW-ESE et de largeur moyenne 20 km, est une des régions tectoniques les plus actives du domaine continental méditerranéen. L'extension N-S qui a débuté dans cette région, au Miocène moyen, a abouti à la formation de ce graben asymétrique, dont la côte nord du Golfe est caractérisée par une subsidence et des failles normales à pendage

sud, tandis que la côte sud est caractérisée par un soulèvement et des failles plus actives à pendage nord (Armijo *et al.*, 1996).

Le Golfe s'ouvre actuellement à la vitesse d'environ 1,5 cm/an suivant la direction NNE-SSW, d'après les mesures GPS menées par l'IPGP et l'Université Technique d'Athènes (Briole *et al.*, 1994), ce qui correspond à un taux d'extension de 10^{-6} par an.

La sismicité de cette région est une des plus intenses du bassin méditerranéen, avec cinq séismes de magnitude supérieure à

6 depuis 30 ans, et plusieurs séismes historiques catastrophiques ayant des magnitudes estimées à plus de 7 (Papazachos *et al.*, 1980). Récemment, le 15 juin 1995, un séisme de magnitude $M_s = 6,1$ a touché la ville d'Aigion, faisant 26 victimes : des études préliminaires menées par l'IPGP, l'Observatoire National d'Athènes, et l'Université d'Athènes, indiquent que la faille activée est normale, d'azimut E-W, localisée sous la rive nord du Golfe à 20 km au NE d'Aigion (Bernard *et al.*, en préparation).

Malgré quelques études sismologiques récentes et détaillées (Rigo *et al.*, 1996 ; Le Meur, 1995 ; Bouin *et al.*, 1996), la structure crustale de ce rift remarquablement actif reste encore largement inconnue. Afin d'éclairer cette structure profonde, et de contribuer à la compréhension des mécanismes de sa déformation tectonique, l'IPGP a mené en octobre 1995 une prospection magnéto-tellurique, en association avec l'Observatoire National d'Athènes. Dans cet article, nous présentons et discutons les premiers résultats de cette étude, après avoir fait un point rapide sur l'apport des données géologiques et sismologiques à notre connaissance de la structure.

2. FAILLES ET STRUCTURE CRUSTALE DU RIFT DE CORINTHE

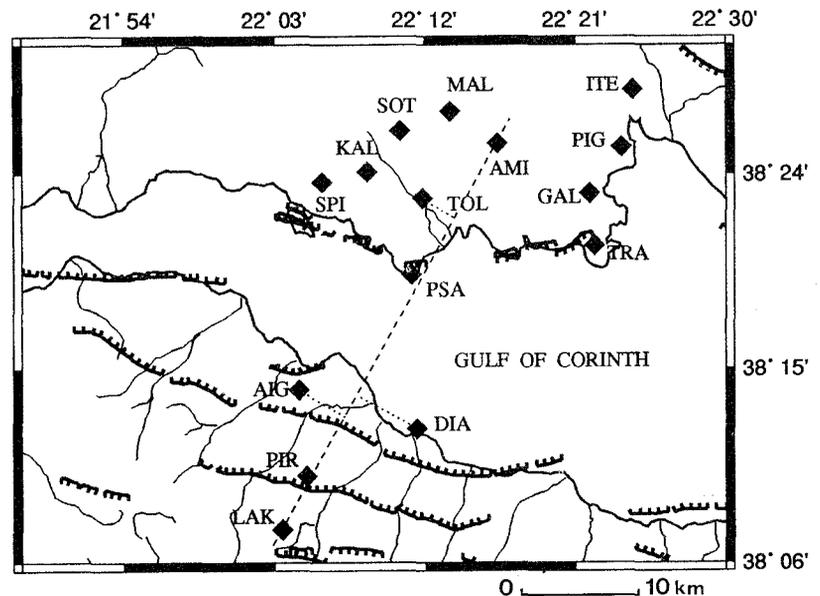
La structure géologique de la Grèce centrale est constituée par un empilement de nappes chevauchantes à vergence ouest appartenant à la chaîne des Hellénides, de direction générale NNW-SSE (Aubouin *et al.*, 1962 ; Bonneau, 1982). Chacune de ces nappes consiste en une série compétente de carbonates mésozoïques d'épaisseur 2 à 3 km et en une couverture fine incompétente de flysch d'épaisseur maximum 1,5 km (Doutsos et Poulimenos, 1992). Ces nappes ont été déformées et parfois replissées au Tertiaire, pendant la phase de compression E-W. Après le mouvement des nappes au Miocène moyen, la zone du golfe de Corinthe a été impliquée dans un soulèvement général et une extension N-S. Dans ce contexte géologique, ce rift est un système

de direction E-W, constitué de failles qui recoupent perpendiculairement toutes les anciennes structures plissées de la chaîne des Hellénides, indiquant que l'apparition du Golfe est postérieure aux dernières déformations tertiaires affectant les unités structurales des Hellénides (Rigo, 1994).

Le Golfe de Corinthe présente une dissymétrie morphologique, liée à la dissymétrie de la tectonique active. Le long de la côte sud et sur une bande de 20 à 30 km, les failles normales sont à pendage nord, de direction moyenne $N110^\circ$ et de longueur 15-25 km. Sur la côte nord, les failles sont principalement à pendage sud et plus courtes (5-10 km) et ne semblent pas organisées en un système cohérent (figure 1, d'après Armijo *et al.*, 1996). Les failles longeant la côte sud constituent les structures les plus actives du rift actuel et sont responsables du mode de remplissage des sédiments plio-quadernaires dont l'épaisseur est toujours plus grande au Sud qu'au Nord (Brooks et Ferentinos, 1984), en accord avec l'asymétrie générale du golfe. Pour la côte sud, il y a une inversion tectonique : d'abord en subsidence par l'activité des failles du Sud permettant le dépôt d'épais sédiments plio-quadernaires (Doutsos *et al.*, 1988 ; Ori, 1989), puis un soulèvement par l'activité

Fig. 1 Emplacement des 15 stations magnéto-telluriques sur fond de carte tectonique simplifiée du Golfe de Corinthe donnant la position des failles normales (d'après Armijo *et al.*, 1996). En tireté : Profil LAK-AMI montré sur la figure 2.

Location of the 15 MT stations on a simplified tectonic map showing the position of normal faults (from Armijo *et al.*, 1996). Dashed line represents the LAK-AMI profile on the figure 2.



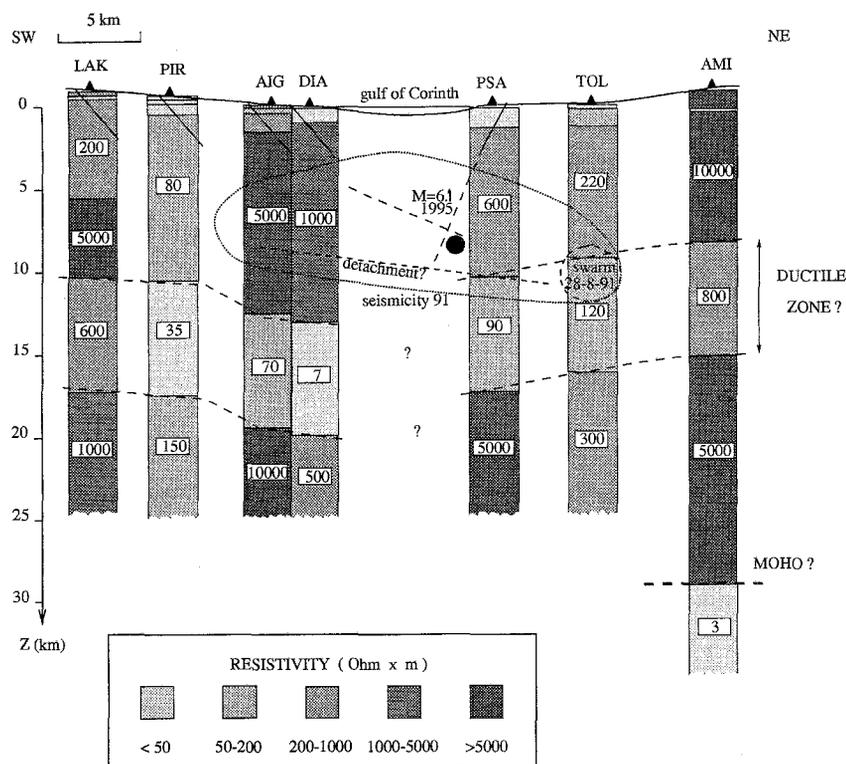


Fig. 2 Coupe géoélectrique du profil LAK-AMI, sur laquelle sont superposés la trace des failles normales à pendage 50°, la zone d'activité microsismique étudiée en 1991 (en particulier l'essai du 28.8.1989), le plan de décollement supposé (Rigo, 1994) et la localisation approximative du séisme de 1995 (disque noir), ainsi que ses deux plans de faille possibles représentés en tireté.

Goelectrical section of the LAK-AMI profile with the normal fault trace of 50° dip, the active microseismicity zone studied in 1991, particularly the 28.8.1991 swarm, the supposed detachment plane (Rigo, 1994), the approximate location of the 1995 earthquake (black disk) and the two possible corresponding fault planes in dashed line.

plus récente des failles longeant actuellement la côte (Armijo *et al.*, 1996). Pour la côte nord, l'épaisseur des sédiments est plus réduite et le socle pré-néogène est pratiquement affleurant.

Melis *et al.* (1989) et King *et al.* (1985) proposent, à partir des observations sismologiques, l'existence d'un plan à 10-15 km de profondeur, de pendage nord, sur lequel viennent se raccorder les failles normales à pendage nord observées en surface. Les données de microsismicité de la campagne de 1991 (Rigo *et al.*, 1996) dans la partie ouest du Golfe montrent que les séismes sont localisés principalement entre 4 et 13 km de profondeur (zone entourée de pointillés sur la figure 2). Ils se regroupent pour la plupart en essaims, à des profondeurs comprises entre 7 et 11 km (exemple de l'essai du 28 août 1991, **fig. 2**). Ceci suggère l'existence d'une croûte sismogène cassante, d'épaisseur 13-14 km environ, et d'une zone de décollement à pendage nord de 15°-20° à sa base, marquant la transition à une croûte inférieure plus ductile (Rigo *et al.*, 1996).

Un des objectifs de la campagne de prospection magnéto-tellurique était précisément de tester et de contraindre ce modèle encore spéculatif de la structure crustale du rift.

3. RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE MAGNÉTO-TELLURIQUE

Un total de 15 stations SMT a pu être réalisé en octobre 1995, d'une part sur la côte nord où 11 stations ont été réparties dans une large région située à l'Ouest de Galaxidi (GAL) et d'Itéa (ITE), d'autre part sur la côte sud, où 4 stations ont été placées dans la région d'Aigion (*cf. fig. 1*).

A chaque station, les signaux magnéto-telluriques (MT) ont été enregistrés suivant deux directions perpendiculaires, permettant le traitement tensoriel des données (Chouliaras et Rasmussen, 1988 ; Pham *et al.*, 1990 ; Vozoff, 1993). Ce traitement fournit deux courbes SMT suivant les deux directions principales, couvrant six décades de périodes (10^{-3} - 10^3 s). Les courbes SMT ainsi obtenues, donnant les résistivités apparentes en fonction des périodes, révèlent l'image électrique du sous-sol depuis la surface (pour les courtes périodes) jusqu'à la base de la croûte (pour les longues périodes). De plus, elles peuvent mettre en évidence les propriétés d'anisotropie électrique des roches, d'après leurs différences relatives suivant les deux directions principales.

Nous nous concentrons dans cet article sur les résultats des stations placées sur le profil LAK-AMI (tracé en tireté sur la figure 1) long de 38 km environ, recoupant transversalement le golfe à l'Est d'Aigion et sur lequel sont projetées 7 stations qui sont, du SW au NE : LAK, PIR, AIG, DIA, PSA, TOL et AMI.

Le traitement tensoriel de ces stations confirme tout d'abord le caractère anisotrope bidimensionnel de la conductivité électrique crustale, lié à la structure générale du Golfe, les deux directions principales étant approximativement N110° ± 10°, que nous appellerons désormais E-W, et N20° ± 10°, appelée N-S. Une exception toutefois est la station PSA, sur la côte nord, pour laquelle

les deux directions sont respectivement $N55^\circ \pm 5^\circ$ et $N145^\circ \pm 5^\circ$, significativement différentes des autres, mais en bon accord avec la direction du segment de faille normale active qui passe à proximité du site.

Une première image électrique du sous-sol peut être fournie par une coupe géoélectrique du profil LAK-AMI, obtenue par un modèle simple : pour chaque station, on considère un modèle à une dimension, afin de transformer les résistivités apparentes fonction de la période, en résistivité fonction de la profondeur, pour chacune des deux directions principales. Sur la coupe de la figure 2, on a reporté, sous chaque station, la résistivité des différentes couches correspondant à la direction principale N-S. On peut constater le caractère électriquement très hétérogène de la croûte le long du profil. Cette hétérogénéité se retrouve également dans la direction principale de l'anisotropie (direction de faible résistivité) qui peut être aussi bien N-S que E-W, suivant les profondeurs et les stations. Notons, cependant, que les plus fortes anisotropies électriques observées ont une direction de plus forte conductivité, parallèle à la direction structurale N-S (exemple de la station AMI).

Mais le résultat le plus remarquable est l'existence d'une zone relativement plus conductrice dont le toit est à 9-12 km de profondeur, d'épaisseur d'environ 7 km, observée tout le long du profil. L'origine de cette zone peut s'expliquer par la présence de fluides, généralement observée dans les zones de cisaillement ductile (Pham *et al.*, 1995), notamment à la base des nappes de chevauchement (Pham *et al.*, 1988), et plus généralement au niveau de la croûte inférieure (Jones, 1987 ; Pham *et al.*, 1990, 1992). Il est intéressant de constater que le toit de cette zone conductrice se situe au niveau de la zone de décollement suggérée par les études de sismicité (*cf.* fig. 2). Cependant, les nouveaux résultats MT apportent des précisions supplémentaires d'ordre structural concernant l'origine de cette zone.

Tout d'abord, le toit de cette zone relativement conductrice ne semble pas présenter

un pendage systématique vers le Nord : sous le Golfe, sur le profil LAK-AMI, le pendage serait plutôt vers le Sud. De plus, cette zone n'a pas une extension limitée à la racine des failles normales actives du golfe : elle existe sous toutes les stations dans la région étudiée, sur une épaisseur d'environ 7 km. Elle a donc un caractère régional et pourrait être l'empreinte de la tectonique pré-néogène des nappes chevauchantes de la chaîne des Hellénides. Elle serait donc d'origine tectono-métamorphique, et favoriserait actuellement le décollement de la croûte supérieure lors des mouvements d'extension plus récents du Golfe de Corinthe.

Signalons enfin un dernier résultat intéressant, montré sur la figure 2 : l'existence d'une discontinuité électrique sous la station AMI vers 28 km de profondeur. Cette discontinuité pourrait correspondre au Moho, qui ne serait atteint sous cette station que grâce à la forte résistivité locale de la croûte. Cette profondeur paraît compatible avec une épaisseur de la croûte de 32 km au Nord de l'Eubée et de 20 km en mer de Crète, d'après les résultats de sondage sismique profond (Makris, 1978).

4. CONCLUSION

La présente campagne est la première étude MT importante dans le Golfe de Corinthe. Malgré le nombre limité de stations, ses résultats permettent d'avoir un aperçu général de la structure profonde de la croûte.

1) La croûte sous le Golfe est électriquement très hétérogène et anisotrope, probablement en raison de la superposition de la tectonique de chevauchements de la chaîne des Hellénides, de compression E-W, et de celle, postérieure, d'extension N-S du Golfe.

2) Il existe une zone relativement plus conductrice entre 10 et 20 km de profondeur, de caractère régional, probablement plus ductile et favorisant le décollement de la croûte supérieure et l'extension actuelle du rift. Elle est sans doute héritée de la tectonique pré-néogène de la mise en place des nappes.

Ces premiers résultats MT, bien que préliminaires, sont très encourageants. Ils montrent clairement l'intérêt d'effectuer une étude plus détaillée sur les deux rives du Golfe, avec une densité plus élevée de stations, afin de pouvoir corrélérer les mesures d'une station à l'autre. Il s'agira tout d'abord de cartographier plus précisément les discontinuités électriques en surface et en profondeur, ce qui pourrait préciser la géométrie de la couche conductrice, l'épaisseur et la séquence verticale des nappes. Un regard particulier sera porté sur les caractéris-

tiques anisotropes de la conductivité électrique, que l'on comparera à l'anisotropie des structures N-S et E-W, liées aux différentes phases tectoniques, ainsi qu'à l'anisotropie de fissuration des premiers kilomètres de la croûte, révélée par la biréfringence des ondes de cisaillement (Bouin *et al.*, 1996). Enfin, une telle étude permettra d'aider au choix des sites appropriés pour la surveillance en continu des signaux électromagnétiques d'origine crustale en liaison avec l'activité sismique, dans le cadre du projet européen GAIA, coordonné par l'IPGP.

Ce travail a bénéficié de l'aide du Programme « DBT Fluides dans la croûte » de l'INSU et du Laboratoire de Géomagnétisme de l'IPGP.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARMIJO, R., MEYER, B., KING, G.C.P., RIGO, A. et PAPANASTASSIOU, D., 1996. Quaternary evolution of the Corinth Rift and its implication for the late Cenozoic evolution of the Corinth Rift and of the Aegean, *Geophys. J. Int.* (sous presse).
- AUBOUIN, J., BRUNN, J.H., CELET, P., DERCOURT, J., GODFRIAUX, I. et MERCIER, J.L., 1962. Esquisse de la Géologie de la Grèce, *Mém. hors sér. de la Soc. géol. France au Prof. P. Fallot*, II, p. 583-610.
- BERNARD, P. *et al.*, 1996. The $M_s = 6.1$, June 15, 1995 Aigion earthquake (in preparation).
- BONNEAU, M., 1982. Évolution géodynamique de l'arc égéen depuis le Jurassique supérieur jusqu'au Miocène, *Bull. Soc. géol. France*, 7, XXIV, 4, p. 785-792.
- BOUIN, M.P., TELLEZ, J. et BERNARD, P., 1996. Seismic anisotropy around the Gulf of Corinth, Greece, deduced from three-component seismograms of local earthquakes and its relationship with crustal strain, *J. Geophys. Res.*, 101, n° B3, p. 5797-5811.
- BRIOLE, P. *et al.*, 1994. Active deformation of the Gulf of Corinth, Greece. Results from repeated GPS surveys between 1990 and 1993, *Ann. Geophys.*, 12, suppl. 1, C65.
- BROOKS, M. et FERENTINOS, G., 1984. Tectonics and sedimentation in the Gulf of Corinth and the Zakynthos and Kefallinia Channels, Western Greece, *Tectonophysics*, 101, p. 25-54.
- CHOULIARAS, G. et RASMUSSEN, T., 1988. The application of the magnetotelluric impedance tensor to earthquake prediction research in Greece, *Tectonophysics*, 152, p. 119-135.
- DOUTSOS, T., KONTOPOULOS, N. et POULIMENOS, G., 1988. The Corinth-Patras rift as the initial stage of continental fragmentation behind an active island arc (Greece), *Basin Research*, 1, p. 177-190.
- DOUTSOS, T. et POULIMENOS, G., 1992. Geometry and kinematics of active faults and their seismotectonic significance in the western Corinth-Patras rift (Greece), *Journal of Structural Geology*, 14, 6, p. 689-699.
- KING, G.C.P., OUYANG, Z.X., PAPADIMITRIOU, P., DESCHAMPS, A., GAGNEPAIN, J., HOUSEMAN, G., JACKSON, J.A., SOUFLERIS, C. et VIRIEUX, J., 1985. The evolution of the Gulf of Corinth (Greece): an aftershock study of the 1981 earthquakes, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 80, p. 677-683.
- LE MEUR, H., 1994. Tomographie tridimensionnelle à partir des temps des premières arrivées des ondes P et S, application à la région de Patras (Grèce), *Thèse*, Univ. Paris-VII, en dépôt au Service des Thèses, Jussieu, Paris.
- MAKRIS, J., 1978. The crust and upper mantle of the Aegean region from deep seismic soundings, *Tectonophysics*, 46, p. 269-284.
- MELIS, N.S., BROOKS, M. et PEARCE, R.G., 1989. A microearthquake study in the Gulf of Patras region, western Greece, and its seismotectonic interpretation, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 98, p. 515-524.
- ORI, G.G., 1989. Geologic history of the extensional basin of the Gulf of Corinth (? Miocene-Pleistocene), Greece, *Geology*, 17, p. 918-921.
- PAPAZACHOS, B.C. et PAPAZACHOS, C.B., 1989. The earthquakes of Greece, *Ziti Publications*, Thessaloniki, 356 p.
- PHAM, V.N., 1988. Propriétés électriques et structure de la croûte sous le Bassin Parisien par sondage magnéto-tellurique profond, In: *Étude de la croûte terrestre par sismique profonde. Profil Nord de la France*, Technip, Paris, p. 141-156.
- PHAM, V.N., BOYER, D. et CAZES, M., 1990. Deep seismic and magnetotelluric sounding in Northern France, In: *The potential of deep seismic profiling for hydrocarbon exploration*, Technip, Paris, p. 105-116.
- PHAM, V.N., BOYER, D. et QOMARUDIN, M., 1992. Étude magnéto-tellurique de la partie nord du profil ECORS-PYRÉNÈES, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 315, série II, p. 1091-1096.
- PHAM, V.N., BOYER, D., NGUYEN, V.G. et NGUYEN, T.K.T., 1995. Propriétés électriques et structure profonde de la zone de la faille du Fleuve Rouge au Nord Viêt-Nam d'après les résultats de sondage magnéto-tellurique, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 320, série II a, p. 181-187.
- RIGO, A., 1994. Étude sismotectonique et géodésique du Golfe de Corinthe (Grèce), *Thèse*, Univ. Paris-VII, 281 p., en dépôt au Service des Thèses, Jussieu, Paris.
- RIGO, A., LYON-CAEN, H., ARMIJO, R., DESCHAMPS, A., HATZFELD, D., MAKROPOULOS, K. et PAPA-DIMITRIOU, P., 1996. A microseismic study in the Western part of the Gulf of Corinth (Greece): Implications for Large-scale Normal Faulting Mechanisms, *Geophys. J. Int.* (soumis).
- VOZOFF, K., 1993. The magnetotelluric method, In: *Electromagnetic methods in applied geophysics*, NABIGHIAN, M.N., éd., Investigation in Geophysics, n° 3, SEG, p. 641-711.