

Caractérisation de signaux électriques observés dans la région de Ioannina (Grèce)

Sylvie Gruszow, Jean-Claude Rossignol, Claude Pambrun, Andréas Tzanis et Jean-Louis Le Mouél

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 320, série II a,
p. 547 à 554,
1995

S. G. et A. T. : University of Athens,
Department of Geology,
Geophysics-Geothermy Division,
Panepistimioupolis-Illissia,
Athens 15784, Greece.

J.-C. R. et J.-L. Le M. : Institut
de Physique du Globe de Paris,
4, place Jussieu,
75252 Paris Cedex 05, France ;

C. P. : CRHEA (LPSES)-CNRS,
parc de Sophia-Antipolis,
rue Bernard-Gregory,
06560 Valbonne, France.

Résumé Deux stations ont été installées en Grèce, à 10 et 6 km au NNW de la ville de Ioannina, capitale de l'Épire, la première en juillet 1993, enregistrant les variations du champ électrique, l'autre en avril 1994, enregistrant celles du champ magnétique. On analyse, en s'aidant des magnétogrammes, les différentes composantes du signal électrique. On caractérise d'abord les composantes ordinaires, toujours présentes, de ce signal. On peut ensuite détecter et caractériser les événements plus rares, dont l'origine est inconnue, qui pourraient être engendrés par l'activité industrielle, mais pourraient aussi bien être des signaux naturels, tectonoélectriques. La station VAN de IOA, à 5,5 km de notre station électrique, est celle qui a enregistré le plus grand nombre d'événements qualifiés de signaux sismo-électriques (SES) par le groupe VAN ; des SES ont été annoncés certains jours où nous avons détecté nos événements singuliers. Les enregistrements se poursuivent.

Mots-clés : Géophysique, Séismes, Électricité tellurique, Préviation, Grèce, Expérimental.

Abstract Characterization of electric signals observed in the Ioannina region (Greece)

One electric and one magnetic station were installed in Greece, near the city of Ioannina, the capital of Epirus, in July 1993 and April 1994 respectively. In this paper, we first analyse the different regular components, always present, of the electric signal using magnetograms. It is then possible to detect and characterize rarer events whose source is unknown. They may be generated by industrial activities, but may also be natural, tectonoelectric signals. The VAN station of IOA, 5.5 km from our telluric station, is the one which provided the largest number of events claimed to be Seismo Electric Signals (SES) by the VAN group. In some cases, SES were announced on the same days as we observed these rare events. Recordings are continuing.

Keywords: Geophysics, Earthquakes, Earth electric field, Prevision, Greece, Experiments.

Abridged English Version INTRODUCTION

ELECTRIC and magnetic signals possibly associated with seismic and volcanic activity have been investigated for a long time. Variations of the geomagnetic field clearly related to volcanic activity (e.g. Pozzi *et al.*, 1979 ; Sasai, 1990 ; Zlotnicki and Le Mouél, 1990 ; Zlotnicki *et al.*, 1992 ; Nagao *et al.*, 1994) or to tectonic activity (e.g. Shapiro *et al.*, 1978 ; Rossignol, 1982) have been observed. Many examples of electric signals attributable to tectonic activity have been reported but in most cases they are isolated events observed erratically (except for the observed variation of resistivity observed before earthquakes). The longest, most comple-

te, most intriguing experiment is undoubtedly the one carried out by Greek physicists in their country, which led its initiators to propose and currently run a prediction method, the VAN method (Varotsos and Alexandropoulos, 1984 ; Varotsos and Lazaridou, 1991, Varotsos *et al.*, 1993). Similar signals have not been unambiguously reported outside Greece and the VAN method is highly controversial. We have installed a station to observe the telluric electric field near Ioannina in Greece.

THE JAN E AND JAN M STATIONS

The city of Ioannina is located in a NW-SE basin within the Pindus chain, in the Ionian

Note

présentée par
Jean-Louis Le Mouél.

remise le 4 novembre 1994,
acceptée après révision
le 2 février 1995.

isopeak zone, embedded in a neritic limestone environment extensively and pervasively karstified. A VAN station, 7 km north of Ioannina, has been continuously working for years and has reported the largest number of SES (Seismo Electric Signals) which, according to the VAN prediction method, are related to earthquakes occurring in Western Greece.

We have installed our telluric station, JAN E, near the village of Likotrikion, in a location far from anthropogenic activity, 5.5 km from the IOA station and in a similar geological context. The electric field sensor system comprises two sets of orthogonal electric lines C_1 and C_2 , laid down in a NS-EW configuration at a separation of approximately 30 m (see figure 4); non-polarizable Pb/PbCl₂ electrodes have been used and driven 60 cm into the clayey ground. The sampling rate is three points per minute.

A 3-component, observatory-type, fluxgate variometer with a sensitivity of a tenth of nT was installed in April 1994 at JAN M, Ioannina airport.

RESULTS

In order to be able to detect seismoelectric or tectonoelectric signals, if any, it is first necessary to identify and characterize the regular components of the recorded signal. This analysis allows us to clearly distinguish three components of the regular signal :

(a) A class of signals which can be attributed to electric fields induced within the earth by primary external ionospheric or magnetospheric sources. The signals exhibit high correlation with the magnetograms from the Greek observatory of Penteli, 400 km SE of JAN E, as well as of the nearby magnetic station JAN M (installed in April 1994). The polarization of these class (a) signals is linear and frequency independent along the direction N15°-25°W. Induced electric currents are channelled along this direction according to a

well-known mechanism (see e.g. Le Mouél and Menvielle, 1982) (figure 3).

(b) A class of signals due to anthropogenic activity. This class (b) comprises powerful transient events with amplitudes varying from five to a few tens of millivolts per kilometre, consistently polarized in the directions N45°E (C_1) and N60°E (C_2). This observation probably indicates nearby source(s).

(c) A low amplitude (< 3 mV/km), uniform background noise [class (c)].

Are signals of another kind observable in the recordings ? Yes; they are polarized in the general direction of class (a) signals, with an amplitude varying between a few and a few tens of millivolts per kilometre on the NS lines, and a duration varying between 2 and 20 min. These transient events cannot be correlated with any magnetic field variations, in marked contrast to class (a) signals. Approximately 15 such events have been observed during August-October 1993 and April-May 1994, a few examples of which are given in figure 5.

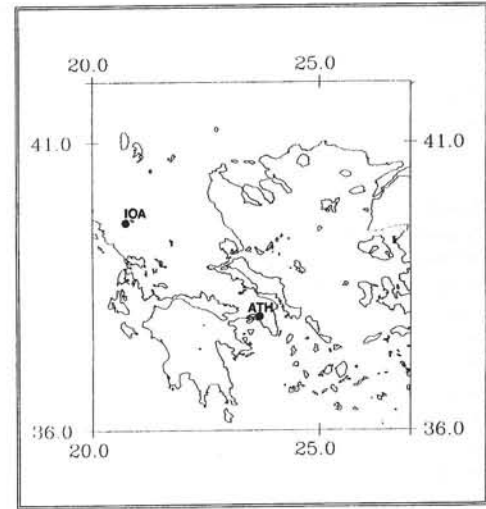
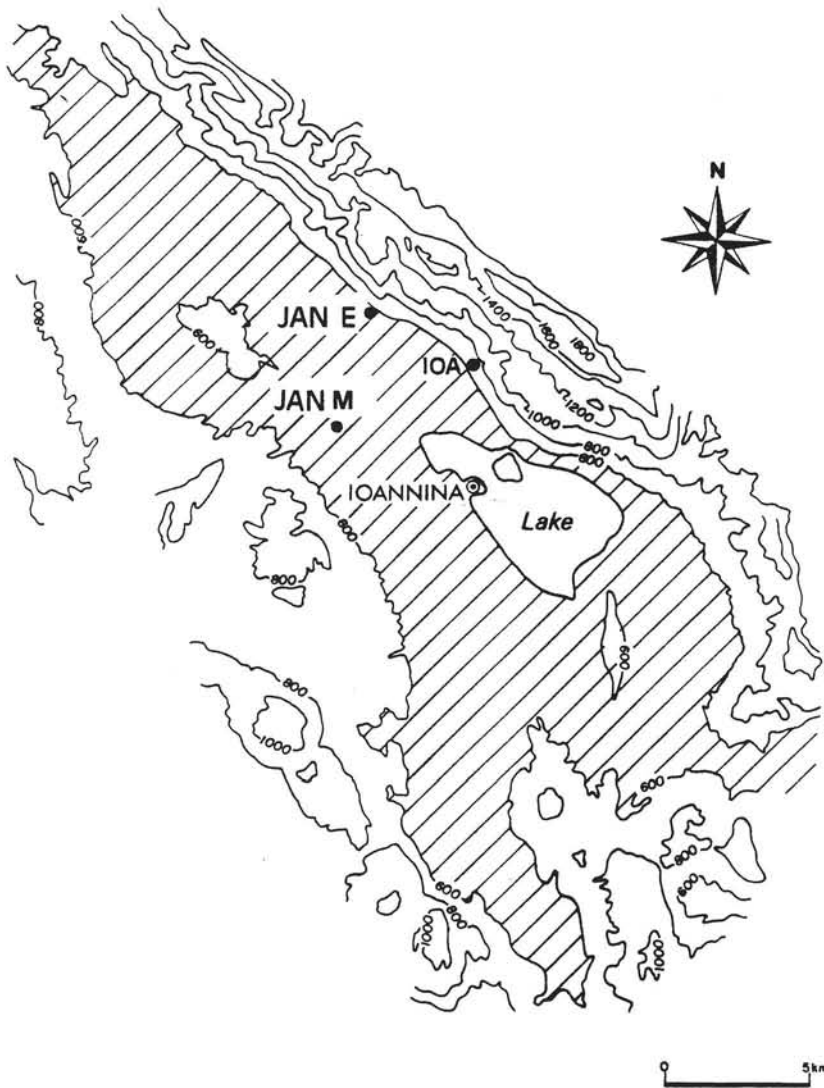
CONCLUSION

Our analysis has identified more than 15 sporadic events during two selected periods, which cannot be classified in any of the classes (a), (b) or (c) defined above. These signals are polarized in the general direction of class (a) signals but cannot be explained in terms of magnetic field variations. Their amplitudes vary between a few to few tens of millivolts per kilometre. They may be generated by some industrial source, but it cannot be excluded, at the present state of the analysis, that they might as well be tectonoelectric effects. Some of them were observed on days (e.g. August 22, October 23 and 31) when SES (Seismo Electric Signals) were announced by the VAN group. Future recordings will hopefully allow us to determine the source of these sporadic signals.

INTRODUCTION

Il y a bien longtemps que l'on recherche les signaux électriques et magnétiques qui pourraient être associés à l'activité sismique ou à l'activité volcanique, avec l'espoir de pouvoir

s'en servir comme précurseurs des crises. On a enregistré de nombreuses variations anormales du champ magnétique sur les volcans, dues soit à des variations du champ de température, soit à des variations de l'état de contrainte (e.g. Pozzi *et al.*, 1979; Sasai, 1990; Zlotnicki *et al.*, 1992). De tels signaux ont



également été observés dans les régions tectoniques (e.g. Shapiro *et al.*, 1978; Rossignol, 1982). Les signaux électriques ont fait l'objet d'une littérature plus vaste encore, mais celle-ci rapporte souvent des observations isolées qui sont faites une fois sur un site, une fois sur un autre (Rikitake *et al.*, 1966 ; Myachkin *et al.*, 1972 ; Sobolev, 1975 ; Corwin et Morrisson, 1977 ; Miyakoshi, 1985), et sont donc peu assurées (à l'exception des observations portant sur la variation de la

résistivité électrique avant un séisme (Ma Zongjin *et al.*, 1989 ; Madden, 1994, communication personnelle), et de celle de signaux TBF lors du tremblement de terre de Loma Prieta en 1989 (Fenoglio *et al.*, 1993). L'expérience la plus longue, la plus complète, qui suscite le plus d'intérêt, est celle que mènent depuis plus de 10 ans trois physiciens grecs. Ils ont bâti sur leurs observations une méthode de prédiction, au demeurant fort discutée, la méthode VAN (Varotsos et

Figure 1 Carte simplifiée du bassin de Ioannina et position des stations IOA, JAN E et JAN M.

Simplified map of Ioannina basin and location of stations IOA, JAN E and JAN M.

Figure 2 Disposition des électrodes installées à la station JAN E. St = station d'acquisition.

Array of electrodes at station JAN E station = acquisition system.

Figure 3 a) Enregistrements des composantes X et Y du champ magnétique à la station JAN M, le 19-04-94 entre 00 00 et 02 30 (TU). b) Enregistrements telluriques à la station JAN E, le 19-04-94 entre 00 00 et 02 30 (TU) sur les dipôles NS (1-6 et 2-5) eg EW (3-8 et 4-7). Diagramme de polarisation pour les croix C_1 et C_2 (cat. a).

a) Magnetic recordings at JAN M station on 19-04-94 between 00 00 a.m. and 02 30 a.m. (UT). b) Telluric recordings at station JAN E on 19-04-94 between 00 00 a.m. and 02 30 a.m. UT (NS: 1-6 and 2-5; EW: 3-8 and 4-7). Polarization diagrams for C_1 and C_2 crosses (cat. a).

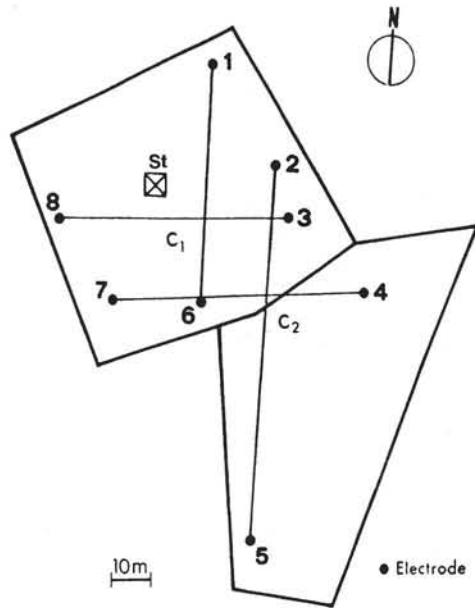


Figure 2

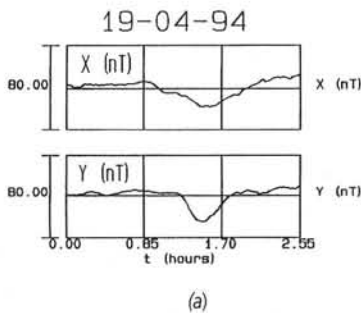
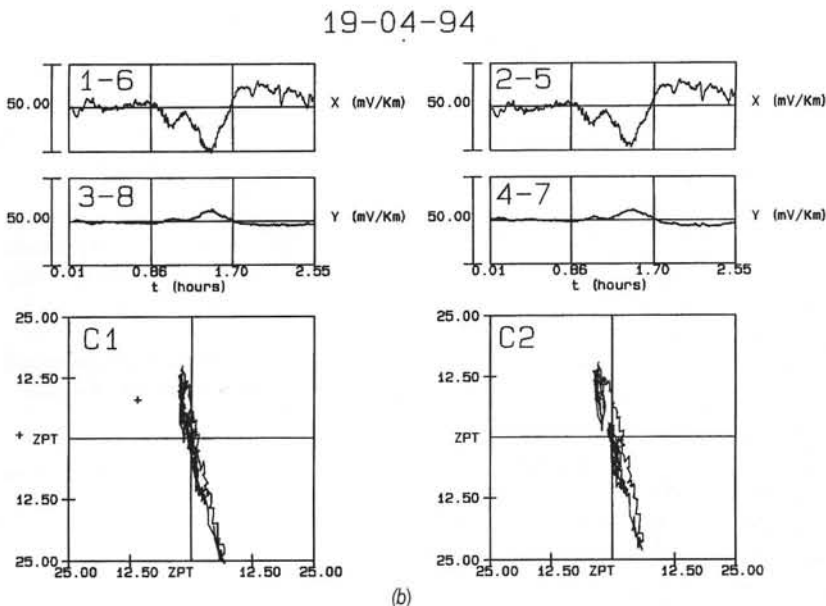


Figure 3



Alexopoulos, 1984 ; Varotsos et Lazaridou, 1991 ; Varotsos *et al.*, 1993). Les signaux électriques recueillis en Grèce, interprétés par le groupe VAN comme des signaux précurseurs de séismes qui se produisent parfois à des centaines de kilomètres de la station de mesures électriques, n'ont guère été retrouvés jusqu'ici, de façon convaincante, à l'extérieur de la Grèce (Kawase *et al.*, 1993). C'est pourquoi, nous avons installé dans ce pays une station électrique et une station magnétique qui fonctionnent continûment depuis juillet 1993 pour la première, avril 1994 pour la seconde.

LE BASSIN DE IOANNINA

Le bassin de Ioannina, dans la province de l'Epire (NW de la Grèce), est le bassin principal de la chaîne du Pinde. Les séries calcaires qui limitent ce bassin, orientées N35W-N45W, sont caractérisées par un réseau karstique de grandes dimensions. La région de Ioannina, est plus particulièrement le bassin de Ioannina, présente une faible sismicité, si on la compare à celle de l'ensemble de la Grèce (King *et al.*, 1983 ; Amorese *et al.*, 1992). De plus, les structures tectoniques qui entourent le bassin sont le siège d'une très faible déformation (< 3 mm/an ; King, 1993).

LES STATIONS DE JAN E ET DE JAN M

Pour arrêter le choix de notre station, nous avons fait des mesures en plusieurs points de la bordure du Mitsikeli (bord NE du bassin de Ioannina ; **figure 1**) et finalement retenu un site dans le voisinage du village de Likotrikion, pour lequel les conditions suivantes sont satisfaites : il n'y a pas dans le voisinage de pylône électrique ou d'usine ; on dispose d'un terrain assez vaste et de faible pente ; l'environnement géologique est semblable à celui de la station IOA du réseau VAN située à moins de 6 km, et cette station de IOA est celle qui a produit le plus grand nombre de signaux électriques interprétés comme des SES (Sismo-Electric

Signals), en relation avec les séismes se produisant dans la partie occidentale de la Grèce.

Nous avons implanté dans le sol 8 électrodes impolarisables Pb/PbCl₂ de type Petiau (Petiau et Dupuis, 1980), à 60 cm de profondeur, selon le plan représenté sur la figure 2. A cette profondeur, on atteint un niveau argileux surmonté d'un niveau de cailloutis. Les électrodes ont été reliées de manière à former deux dipôles N-S (1-6) et (2,5) de longueurs respectives 58 et 94 m, deux dipôles E-W (3-8) et (4-7) de longueurs 56 et 62 m, et un dipôle de direction NNW-SSE. On notera C₁ et C₂, les croix formées respectivement par les paires de dipôles (1-6)-(3-8) et (2-5)-(4-7). Le pas d'acquisition numérique est de trois points par minute. La station sera notée JAN E.

La station magnétique JAN M, installée à l'aéroport de Ioannina, en avril 1994, est équipée d'un variomètre à vanne de flux d'une sensibilité de 0,1 nT ; le pas d'acquisition est identique à celui retenu pour les données électriques. Il a été vérifié que les variations enregistrées dans cette station sont représentatives de celles qui peuvent être enregistrées en Grèce (sur les composantes horizontales).

CARACTÉRISATION DES COMPOSANTES DU POTENTIEL ÉLECTRIQUE

Il est bien connu que des sources diverses contribuent aux signaux électriques telluriques. Si l'on souhaite identifier des signaux sismoélectriques, ou sismotectoniques, s'il s'en trouve dans les enregistrements, il faut savoir d'abord reconnaître et caractériser les autres composantes du signal enregistré.

Cette analyse a été menée en traçant les hodogrammes des signaux recueillis indépendamment sur les croix C₁ ou C₂ et en utilisant les données magnétiques, d'abord celles des observatoires de Penteli et Chambon-la-Forêt (Chambon-la-Forêt est bien éloigné ; mais Penteli, à 25 km d'Athènes et à 400 km de Ioannina, ne fournit que des signaux analogiques de faible sensibilité), puis, depuis 1994, celles de notre station numérique de JAN M. Nous la résumons ici.

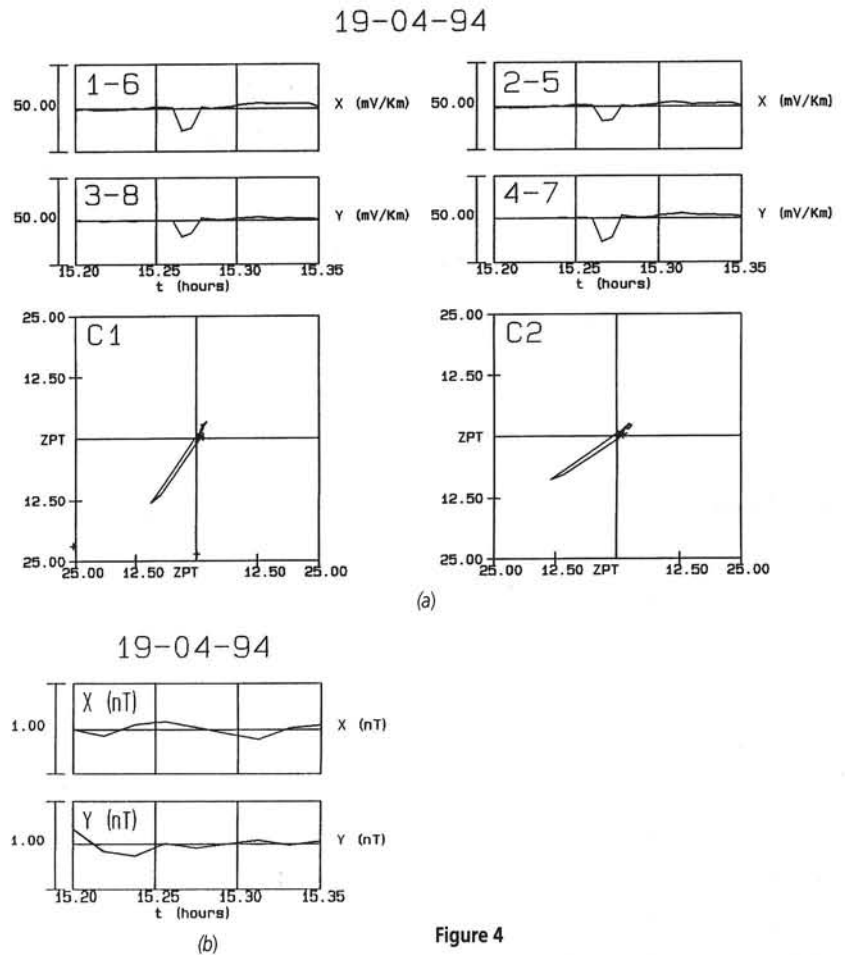


Figure 4

Quatre composantes du signal peuvent être distinguées :

(a) une composante naturelle, d'origine ionosphérique ou magnétosphérique, pour laquelle la corrélation avec les magnétogrammes de Penteli, ou mieux, depuis avril 94, les magnétogrammes de notre station de JAN M, est aisée. Cette composante est fortement polarisée dans la direction N15W-N25W pour les deux croix C₁ et C₂ (figure 3), quelles que soient les constantes de temps considérées (de la minute à quelques heures). Cette direction est proche de celle de la tectonique générale de l'orogénèse alpine (chaîne du Pinde). Les courants induits dans le sol conducteur par les variations du champ magnétique ionosphérique sont canalisés dans cette direction selon un mécanisme bien connu (e.g. Le Mouél et Menvielle, 1982).

Figure 4 a) Exemple d'un signal tellurique de catégorie (b) à la station JAN E, caractérisé par une forte amplitude et une direction de polarisation stable (le 19-04-94 entre 15:12 et 15:21 TU). b) Enregistrement des composantes magnétiques X et Y à la station JAN M (le 19-04-94 entre 15:12 et 15:21 TU). Heures et centièmes d'heure sur les graphiques.

a) Example of a high amplitude category (b) telluric signal detected at JAN E and characterized by a stable direction of polarization (on 19-04-94 between 03:12 p.m. and 03:21 p.m. UT). b) Magnetic recordings at station JAN M on 19-04-94 between 03:12 p.m. and 03:21 p.m. UT. Hours and hundredths of hour on the drawings.

(b) une composante artificielle de grande amplitude (de 5 à quelques dizaines de millivolts par kilomètre) fortement polarisée elle aussi, mais selon une direction différente de la précédente [les directions de polarisation sont au demeurant légèrement mais significativement différentes sur les deux croix C_1 et C_2] (figure 4). La polarisation est remarquablement constante de jour en jour, ce qui indique que les mêmes

sources artificielles sont en cause (vraisemblablement proches en raison de l'observation, faite ci-dessus, de directions de polarisation différentes en C_1 et C_2). La fréquence d'apparition de ces signaux est plus grande le jour, plus faible la nuit et le dimanche.

(c) une composante artificielle de faible amplitude (< 3 mV/km), isotrope, que nous appellerons, selon l'habitude, bruit culturel,

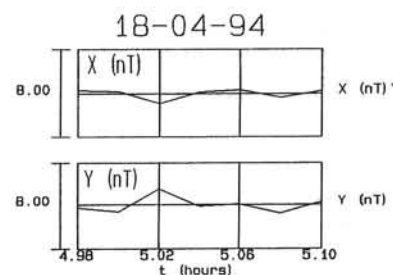
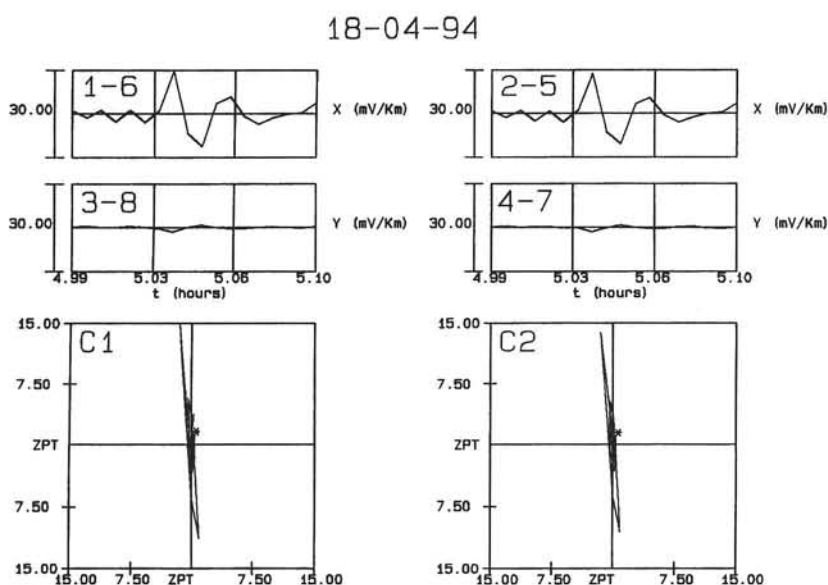


Figure 5 a

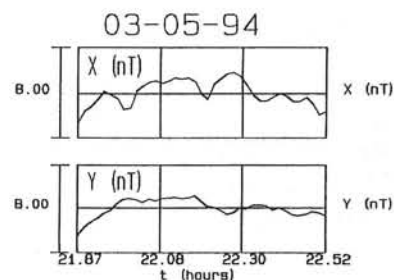
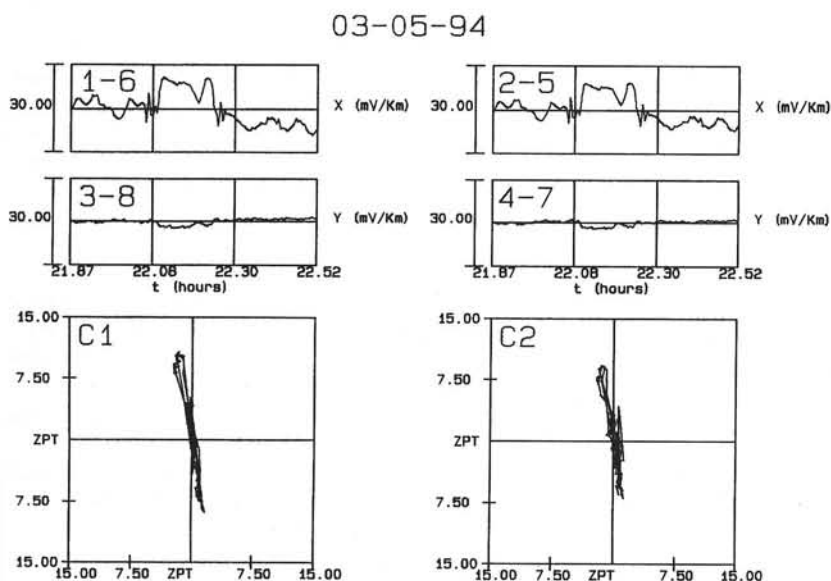


Figure 5 b

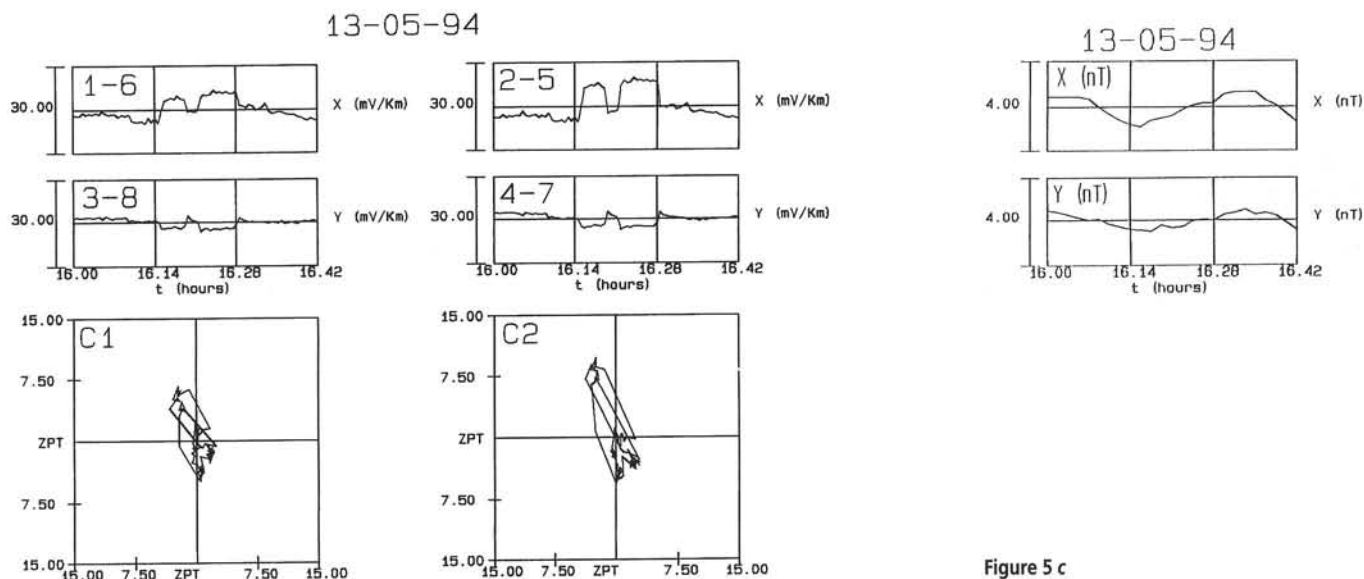


Figure 5 c

dont les sources sont multiples et inconnues. Disons seulement que ce niveau de bruit, dans une station de Grèce, est très acceptable.

Ces composantes du signal, sans intérêt dans cette étude mais toujours présentes, étant bien reconnues, on peut rechercher si d'autres composantes, différentes de celles-ci, apparaissant de façon sporadique, peuvent se trouver sur les enregistrements. Il s'en trouve une en effet :

(d) des signaux d'amplitude comparable à celle de (b) de 5 à quelques dizaines de millivolts par kilomètre sur les voies NS, d'une durée de quelques minutes à quelques dizaines de minutes, polarisés selon la direction de la composante naturelle (a), mais qui, au contraire de celle-ci, ne sont associés à aucune variation mesurable du champ magnétique. Cette condition est facile à vérifier depuis l'installation de la station magnétique de JAN M. La figure 5 présente quelques exemples de ce dernier type de signal, que nous appellerons composante sporadique. Nous en avons repéré 15 au cours des périodes d'août 1993 à octobre 1993 et d'avril 1994 à mai 1994.

CONCLUSION

L'analyse que nous avons faite des différentes composantes du signal recueilli dans notre station de JAN E nous permet de repérer aisément tout signal qui n'entre pas dans les trois catégories ordinaires (a), (b), (c). A ce jour, nous avons repéré les signaux sporadiques décrits plus haut, polarisés selon la direction « naturelle », mais sans correspondant sur les enregistrements magnétiques. Nous ne connaissons pas l'origine de ces signaux ; la première idée venant à l'esprit est qu'ils sont engendrés par une source industrielle, fonctionnant de façon sporadique ; on ne peut cependant exclure qu'ils soient des signaux d'origine naturelle, de ceux que l'on recherche, dus à des variations du champ de contraintes régnant dans la croûte. Ces signaux ont été observés certains jours, comme les 22 août, 23 et 31 octobre 1993, où le groupe VAN signalait des SES ; mais ils l'ont été aussi d'autres jours, alors qu'aucun SES n'était mentionné. Il apparaît nécessaire de poursuivre l'enregistrement pour multiplier le nombre de cas observés. On tentera d'implanter plusieurs stations semblables dans le voisinage de JAN E.

Figure 5 Exemples de signaux électriques de catégorie (d). a) A gauche : enregistrements du 18-04-94 à la station JAN E entre 05:00 et 05:06 TU et polarisation du signal sur les deux croix C_1 et C_2 . A droite : enregistrements des composantes X et Y du champ magnétique à JAN M le 18-04-94 entre 05:00 et 05:06 TU. b) A gauche : enregistrements du 03-05-94 à la station JAN E entre 21:52 et 22:31 TU et polarisation du signal sur les deux croix C_1 et C_2 . A droite : enregistrements des composantes X et Y du champ magnétique à JAN M le 03-05-94 entre 21:52 et 22:31 TU. c) A gauche : enregistrements du 13-05-94 à la station JAN E entre 16:00 et 16:25 TU et polarisation du signal sur les deux croix C_1 et C_2 . A droite : enregistrements des composantes X et Y du champ magnétique à JAN M le 13-05-94 entre 16:00 et 16:25 TU.

Example of electric signals of (d) category a) Left: recordings on day 18-04-94 at JAN E between 05:00 a.m. and 05:06 a.m. UT and polarization of the signal on crosses C_1 and C_2 . Right: magnetic recordings. b) Left: recordings on day 03-05-94 at station JAN E between 09:52 p.m. and 09:31 p.m. UT and polarization of the signal on crosses C_1 and C_2 . Right: magnetic recordings at JAN M on 03-05-94 between 09:52 p.m. and 09:31 p.m. UT. c) Left: recordings on day 13-05-94 at station JAN E between 04:00 p.m. and 04:25 p.m. UT and polarization of the signal on crosses C_1 and C_2 . Right: magnetic recordings at JAN M on 13-05-94 between 04:00 p.m. and 04:5 p.m. UT.

Remerciements : Nous remercions le professeur Drakopoulos et les Techniciens de l'Université et de l'Observatoire sismologique d'Athènes.

Ceci est la contribution n°1352.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMORESE, D., HATZFELD, D., COUTANT, O., KASSARAS, I., MAKROPOULOS, K., DRAKATOS, G., PANAGIATOPOULOS, D., KARAKAISIS G. et SCORDILIS, E., 1992. Résultats d'une campagne de microsismicité en Epire (Grèce nord-occidentale), *1⁴ Réunion Annuelle des Sciences de la Terre*, 14, p. 5.
- CORWIN R. F. et MORRISSON, H. F., 1977. Self-potential variations preceding earthquakes in central California, *Geophys. Res. Lett.*, 4, p. 171-174.
- FENOGLIO, M. A., FRASER SMITH, A. C., BEROZA, G. C. et JOHNSTON, M., 1993. Comparison of ultra-low frequency electromagnetic signals with after-shock activity during the 1989 Loma Prieta earthquake sequence, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83, (2), p. 347-357.
- KAWASE, T., UYEDA, S., UYESHIMA, M. et KINOSHITA, M., 1993. Possible correlation between geoelectric potential change in Izu-Oshima Island and the earthquake swarm off the east Izu Peninsula, Japan, *Tectonophysics*, 224, p. 83-93.
- KING, G., TSELENTIS, A., GOMBERG, J., MOLNAR, P., ROEKER, S. W., SINVHAL, H., SOUFLERIS C. et STOCK, J. M., 1983. Microearthquake seismicity and active tectonics of northwestern Greece, *Earth and Planet. Science Lett.* 66, p. 279-288.
- KING, G., DEREK D. et WHITNEY, J., 1993. The landscape geometry and active tectonics of Northwest Greece, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 105, p. 137-161.
- LE.MOUËL, J. L. et MENVIELLE, M., 1982. Geomagnetic variations anomalies and deflection of telluric currents, *Geophys. J.R. astr. Soc.*, 68, p. 575-587.
- MIYAKOSHI, J., 1985. On some problems of the variation of self potentials observed in an active fault, the Yamasaki fault, *Disaster Prev. Res. Inst. Annu.*, 28B, p. 127-132.
- MYACHKIN, V. I., SOBOLEV, G. A., DOLBILKINA, N. A., MOROZOW, V. N. et PREOBRAZENSKI, V. B., 1972. The study of variations in geophysical fields near focal zones of Kamchatka, *Tectonophysics*, 14, p. 287-293.
- PETIAU, G. et DUPUIS, A., 1980. Noise temperature coefficient and long time stability of electrodes for telluric observation, *Geophys. Prospect.*, 28, p. 792.
- POZZI, J. P., LE MOUËL, J. L., ROSSIGNOL J. C. et ZLOTNICKI, J., 1979. Magnetic observations made on La Soufrière Volcano (Guadeloupe) during the 1976-1977 crisis, *J. Volc. Geothermal Research*.
- RIKITAKE, T., YAMAZAKI, Y., HAGIWARA, Y., KAWADA, K., SAWADA, M., SASAI, Y., WATANABE, T., MOMOZE, K., YOSHINO, T., OTANI, K., OZAWA K., et SANZAI, Y., 1966. Geomagnetic and geoelectric studies of the Matsushiro earthquake swarm, *Bull. Earthquake Res. Inst.*, 44, p. 363-408.
- ROSSIGNOL, J. C., 1982. Magnetic field anomalies associated with geodynamic phenomena, *Geophys. Survey*, 4, p. 435-454.
- SASAI, Y., SHIMOMURA, T., HAMANO, Y., UTADA, H., YOSHINO, T., KOYAMA, S., ISHIKAWA, Y., NAKAGAWA, I., YOKOYAMA, Y., OHNO, M., WATANABE, H., YUKUTAKE, T., TANAKA, Y., YAMAMOTO, T., NAKAYA, K., TSUNOMURA, S., MUROMATSU F. et MURAKAMI, R., 1990. Volcanomagnetic effect observed during the 1986 eruption of Izu-Oshima volcano, *J. Geomag. Geoelectr.*, 42, p. 291-317.
- SHAPIRO, V. A., PUSHKOV, A. N., ABDULLABEKOV, K. N., BERDALIEV, E. B. et MUMINOV, M. Y., 1978. Geomagnetic investigation in the seismo-active regions of Middle Asia, *J. Geomag. Geoelectr.*, 30, p. 503-509.
- SOBOLEV, G. A., 1975. Application of electric method to the tentative short-term forecast of Kamchatka earthquakes, *Pure Appl. Geophys.*, 113, p. 229.
- VAROTSOS, P. et ALEXOPOULOS, K., 1984. Physical properties of the electric field of the earth preceding earthquakes, II, Determination of epicenter and magnitude, *Tectonophysics*, 110, p. 99-125.
- VAROTSOS, P. et LAZARIDOU, M., 1991. Latest aspects of earthquake prediction in Greece based on seismic electric signals, *Tectonophysics*, 188, p. 321-347.
- VAROTSOS, P., ALEXOPOULOS K. et LAZARIDOU, M., 1993. Latest aspects of earthquake prediction in Greece based on seismic electric signals, II, *Tectonophysics*, 224, p. 1-37.
- VAROTSOS, P., ALEXOPOULOS, K., LAZARIDOU-VAROTSOU M. et NAGAO, T., 1993. Earthquake predictions issued in Greece by seismic electric signals since February 6, 1990, *Tectonophysics*, 224, p. 269-288.
- ZLOTNICKI, J. et LE MOUËL, J. L., 1990. Possible electrokinetic origin of large magnetic variations at la Fournaise Volcano, *Nature*, 343, p. 633-636.
- ZLOTNICKI, J., LE MOUËL, J.L. et PAMBRUN, C., 1992. Variations anormales lentes du champ magnétique terrestre sur le Piton de la Fournaise, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 314, série II, p. 661-669
- ZONGJIN, M., ZHENGXIANG, F., YINSHEN, Z., CHENGMIN, W., GUOMIN, Z. et DEFU, L., 1989. *Earth Prediction, Nine major earthquakes in China (1966-1976)*, 332 p.