

CORRELATION ENTRE LE LEVE RADAR SIR-A,
LES DOCUMENTS LANDSAT ET LES LEVES THERMIQUES
DANS LA ZONE DU CANAL DE CORINTHE

CORRELATION BETWEEN THE SIR-A RADAR
SURVEYS, LANDSAT DATA AND THERMIC SURVEYS
IN THE CORINTH CANAL REGION

par

J.CI. GROS, P.Ch. LEVEQUE

Laboratoire de Radiogéologie et de Mécanique des Roches. (L.R.M.R.)
Université de Bordeaux I. Av. des Facultés. 33405 Talence cédex. France

RESUME

La présente note donne les résultats d'une étude de Géologie structurale à caractère méthodologique réalisée sur la région Nord-Est du Péloponnèse et de l'isthme de Corinthe, à la limite de la Grèce continentale et du Péloponnèse.

Le cadre de l'étude s'étend de 22° E - région d'Egion -, à 23°30' E - région de Poros, golfe Saronique- et de 37°30' N - Sud de Poros-, à 38°06' E - région des Géranées, Nord de l'isthme de Corinthe. Ce rectangle correspond approximativement à une partie du levé par le radar SIR-A, au cours du deuxième vol de la navette spatiale de la NASA.

La base de l'étude est constituée par les documents Landsat, et un levé thermographique est compris dans la surface du levé radar.

ABSTRACT

This article gives the results of a methodological study in the structural geology of a region covering the North-Eastern area of the Peloponnese and the Corinth isthmus, at the boundary between continental Greece and the Peloponnese.

The area studied lies between 22°E - Egion area - and 23°30'E - Poros area, Saronikos gulf - and between 37°30' E - South of Poros) and 38°06' N - Geranees area, North of the Corinth isthmus. This rectangle corresponds approximately to a section of the SIR-A radar survey made during the second flight of NASA's space shuttle.

Landsat documents are the background of the studies moreover a thermal surveys is included in the area of the radar document.

1. DOCUMENTS UTILISES (Photographies 1 et 2)

Ces documents comprennent l'image de Landsat 1, du 02.08.1972 - canaux 5 et 7 et le levé radar SIR-A mentionné ci-dessus.

Par ailleurs, le L.R.M.R. disposait de trois axes de levés thermiques dans les deux fenêtres de 3,5-4,2 μm et 8-14 μm , réalisés en 1973 pour le compte du Ministère des Travaux Publics, dans le cadre d'un inventaire général des ressources hydrogéologiques et d'une prospection de sites de barrages. Ces derniers levés ne concernent que la plaine littorale et les terrasses marines corinthiennes situées à l'Ouest de la ville actuelle de Corinthe. Ils ont été complétés par une couverture photographique en couleurs, à l'échelle moyenne de 1/25 000.

2. CADRE GEOLOGIQUE (Figures 1a et 1b)

La région étudiée constitue une zone de contact entre les Hellénides et l'Arc Égéen d'une part et la limite occidentale de l'arc volcanique égéen qui doit son

existence à la subduction hellénique (fig. 1a), d'autre part. Cet arc volcanique, distant de 200 km environ de la fosse hellénique, s'étend des côtes turques au Sud-Est, à la Thessalie - Grèce continentale -, au Nord-Ouest. Les édifices volcaniques répartis le long de cet arc, dont les manifestations les plus récentes sont celles de Santorin et de Nisyros, n'excèdent pas 5 millions d'années.

Une partie de cet arc est représentée dans le N.E. du Péloponnèse et apparaît sur les documents Landsat et SIR-A. Ce sont les volcans de Poros (0,9 M.a)*, Méthana (0,32 M.a), Egine (Pliocène-Pléistocène moyen) et Kromyonia (2,7 et 3,9 M.a), près de l'isthme de Corinthe.

Un autre fait marquant est la présence du Golfe de Corinthe qui recoupe toutes les zones isopiques des Hellénides, de la Grèce centrale et du Nord du Péloponnèse. Ce graben qui atteint environ 470 m de profondeur dans la partie centrale, se trouve en arrière du domaine en compression de l'arc égéen externe, et appartient au domaine en extension. A l'Est, il se termine au niveau de l'arc interne volcanique et constitue une structure transverse de l'arc égéen. (M. SEBRIER, 1977).

Au cours de la période néotectonique qui a débuté à la fin du Miocène moyen - environ 12 M.a - et qui doit son originalité à une indépendance totale par rapport aux tectoniques antérieures, les spécialistes distinguent quatre phases tectoniques importantes (J.L. MERCIER, 1979, M. SEBRIER, 1977, J. ANGE-LIER, 1979) :

- une phase compressive, du Miocène terminal au Pliocène inférieur,
- une phase extensive, du Pliocène inférieur à supérieur,
- une phase compressive, du Quaternaire ancien au Pléistocène inférieur à moyen,
- une phase extensive du Pléistocène moyen à l'époque actuelle.

Cette dernière phase en extension est marquée par les nombreux séismes localisés dans le Golfe de Corinthe et ses régions périphériques. Les séismes connus les plus destructeurs sont ceux d'Egion, du 26.12.1861 et de Corinthe, 22.04.1928. Plus récemment, J.A. JACKSON et al (1982), ont étudié les séismes de février et de mars 1981 qui ont affecté la partie la plus orientale du golfe de Corinthe, entre la ville de Thèbes en Béotie, au Nord et les monts Gérénées, au Sud.

Ces auteurs ont observé, à partir des désordres occasionnés par ces séismes un changement de la morphologie causé par une progression par failles normales. Ce mécanisme de déformation a été observé auparavant dans la partie méridionale du golfe dans laquelle le canal de Corinthe traverse des dépôts néogènes affectés d'escarpements semblables aux mouvements observés sur la côte Nord.

Les formations géologiques rencontrées dans la région Nord Est du Péloponnèse et sur la bordure méridionale du Golfe de Corinthe peuvent être rattachées à deux ensembles chronologiquement distincts :

- les terrains constituant les zones isopiques internes helléniques,
- les dépôts postérieurs à la tectonique d'âge Burdigalien supérieur.

Ces deux dernières formations sont formées d'une puissante série du Pliocène-Pléistocène ancien surmontée de niveaux continentaux ou marins d'âge Pléistocène inférieur à récent. (Fig. 1b).

3. INTERPRETATION DES DOCUMENTS LANDSAT 1 (Figure 2)

L'analyse des documents Landsat 1, dans les deux canaux 5 et 7 a été réalisée sur des agrandissements photographiques, à l'échelle approximative de 1/170 000. Le premier travail d'interprétation a consisté à un repérage des contours des principales unités structurales des zones internes des Hellénides, sur les documents du

* M.a. = Million d'années.

canal 5, à partir d'études géologiques de terrain existant sur le Nord Est du Péloponnèse (J. DERCOURT, 1964, B. VRIELYNCK, 1978), et des formations récentes post-tectonique alpine d'âge Néogène à actuel.

L'interprétation du document obtenu en canal 7, a permis de dresser l'inventaire des principaux linéaments qui correspondent à des avancées des nappes polyphasées constituant l'édifice interne plissé des Hellénides, ou à des accidents tectoniques verticaux importants résultant de l'activité néotectonique égéenne depuis la fin du Miocène moyen. (J. ANGELIER, 1979).

Ces derniers accidents sont directement liés aux activités sismiques de la région. Les séismes de février et de mars 1981 en sont la matérialisation.

3.1. Les chevauchements majeurs

Quatre grands ensembles lithologiques peuvent être différenciés à partir du canal 5 : les séries mésozoïques à prédominance carbonatée, les unités ophiolitiques d'Hermioni, au Sud de Méthana et de Poros, les formations volcaniques de l'arc égéen interne et les dépôts épais et failles du Néogène sur l'isthme et sur la côte Sud du golfe de Corinthe. Le flysch éocène, peu étendu dans cette région, n'est pratiquement pas discernable sur les documents.

Les différences de réflectance observées entre les nappes ne sont pas toujours significatives et seuls, apparaissent les fronts de chevauchement majeurs.

Ainsi, le complexe ophiolithique mis en place probablement entre le Barrémien et le Vraconien, chevauche les nappes d'Epidaure et du Trapezona. Les ophiolites plus absorbantes se détachent nettement des formations carbonatées des autres unités et des formations détritiques récentes plus réfléchantes.

Le contact de la nappe d'Epidaure avec la série du Gavrovo-Tripolitza, plateforme à sédimentation carbonatée, s'établit par un système de failles verticales, bien reconnaissable sur les documents Landsat.

Par ailleurs, deux secteurs correspondant à la zone maliaque, unité interne à caractère nettement pélagique qui représenterait le prolongement vers l'intérieur de la zone pindique, peuvent être identifiés sur le document du canal 5. (Fig. 2).

3.2. Les plis

Dans les massifs d'Argolide et de Corinthe, deux grandes familles de plis, de direction axiale, l'une N-S, l'autre E-W, sont visibles sur les documents Landsat 1. La direction N-S est directement liée à la mise en place des nappes et correspond à des décrochements restreints. La seconde direction, E-W, affecte la totalité des nappes et paraît postérieure à la phase de déformation principale.

3.3. Les accidents cassants

3.3.1. Au Nord de l'isthme de Corinthe

L'analyse des linéaments permet de distinguer trois directions principales de cassures dans les massifs des Gérénées situés au Nord de l'isthme : N 60 à N 90° (sensiblement EW), N 110, direction générale du golfe de Corinthe. (Fig. 2).

Les linéaments orientés N 60-N 70° se retrouvent plus au Nord, dans la région de Thèbes - lacs Yliki et Paralimni - et dans le couloir de Delphes sur le flanc Sud du Parnasse où ils correspondent à de grands décrochements le long desquels s'est développée une karstification intense des calcaires.

Ces linéaments orientés N 60-N 70° correspondent dans la partie orientale du Golfe de Corinthe à des failles réactivées lors des derniers séismes de février et de mars 1981. (J.A. JACKSON et al, 1982).

Les linéaments orientés sensiblement E-W regroupent les directions comprises entre $N 90^\circ$ et $N 110^\circ$. La morphologie n'est pas indépendante de ces fractures. Ainsi, le découpage des côtes de la presqu'île des Géranées résulte de l'intersection des deux familles de failles verticales : $N 70^\circ$ et $N 110^\circ$, directions que l'on retrouve tout au long du golfe de Corinthe.

3.3.2. Au Sud de l'isthme de Corinthe

La direction principale qui affecte les formations plioquaternaires est orientée $N 90^\circ$, sensiblement E-W. Elle correspond notamment à la faille d'Egion née lors du séisme du 26.12.1861.

Dans le centre et la partie Nord - orientale du Péloponnèse, trois familles de linéaments prédominent : $N 120^\circ$ à 160° , $N 50^\circ$ à 70° et $N 90^\circ$, en bordure du golfe Saronique.

La direction $N 120-160^\circ$ représente l'orientation de l'édifice plissé des Hellénides. Les failles orientées NW-SE sont probablement des accidents qui ont rejoué lors de la mise en place des failles récentes.

Au centre de la région étudiée, la direction principale est $N 0^\circ$, et se retrouve dans les grandes fractures N-S qui bordent la plaine d'Argos.

Ces différentes cassures N-S et E-W correspondent à la direction de la compression lors des épisodes de raccourcissement - Quaternaire ancien-Pléistocène inférieur à moyen. (M. SEBRIER, 1977).

La direction de traction est orientée N-S, au Sud du Golfe de Corinthe, pour les deux périodes d'extension - Pléistocène inférieur à supérieur et Pléistocène moyen à actuel. Cette direction devient E-W dans la région centrale du Péloponnèse.

4. APPORTS DU LEVE RADAR SIR-A (Fig. 3)

Le document SIR-A, sur la région de l'isthme de Corinthe a été fourni sous forme de film, à l'échelle moyenne de $1/490\,000$, et l'interprétation effectuée sur des agrandissements photographiques de $1/272\,000$.

Ce document apporte des renseignements essentiellement structuraux sur la région étudiée, au détriment des informations concernant la constitution lithologique. Seules, les plaines d'alluvions récentes comme celle de Corinthe, sont bien différenciées.

Au Nord de l'isthme de Corinthe, trois familles de directions $N 70^\circ$, $N 120^\circ$, $N 90^\circ$, ressortent sur le document.

Dans le Nord-Est du Péloponnèse - Sud de l'isthme -, quatre familles ont été relevées : $N 150^\circ$, $N 40-70^\circ$, $N 90^\circ$, $N 0^\circ$.

Les deux plus importantes sur le document sont $N 150^\circ$ - sensiblement NW-SE, et $N 90^\circ$ - sensiblement E-W.

La première de ces deux directions, bien développée dans le N-E du Péloponnèse, dans la région centrale - région de Tripolis - et vers le Sud-Est, appelée direction laconienne par J.J. DUFAURE, 1975, provient probablement du rejeu d'accidents tectoniques plus anciens datant de la mise en place des Hellénides.

Les directions E-W sont prépondérantes en bordure du golfe de l'isthme, et plus au Sud, en Argolide, dans les massifs calcaires où elles limitent des poljés importants alignés également E-W.

Une troisième famille de directions, N-S, peu développée au Sud de l'isthme de Corinthe dans les massifs d'Argolide, apparaît nettement dans la partie occidentale du document SIR-A, à la limite de la Corinthie et de l'Achaïe.

Ces directions N-S et E-W sont liées directement aux phases de compression et d'extension plio-quaternaires nées de la subduction hellénique.

5. LES LEVÉS

Trois la zone de de Corinthe $4,2 \mu\text{m}$, ave

Le bu littoral corin que les résu

De pl prolongemen terrasse an de Corinthe l'Est du lev sur les levé

D'Est sur la carte les formatio les alluvions du levé, cor ron $N 10^\circ$ à traversant l est estompé

On re sur le levé

Par a $N 50^\circ$ à $N 60^\circ$ corrélées di

Dans correspond plus ancien d'autre par domaine de aperçoit dan terrains. Ap dans le can rivières côt

6. LEVES D

En co basse altitu des terrasse

Rapp 214Bi et de

Les r de plaine, s déterminées les deux car

* Rappelons belles coup de la régio

5. LES LEVES THERMOGRAPHIQUES

Trois axes thermographiques ont été levés en fin de nuit d'avril 1973, sur la zone des terrasses quaternaires récentes et anciennes qui s'étendent à l'Ouest de Corinthe, en bordure du golfe. Les levés ont été réalisés dans la fenêtre 3,5-4,2 μm , avec des conditions météorologiques très favorables.

Le but du levé était la recherche de ressources nouvelles en eau le long du littoral corinthien. Les ressources en eau ont bien été mises en évidence, ainsi que les résurgences côtières, le long des alluvions des terrasses.

De plus, sur le plan structural, les anomalies thermiques ont montré le prolongement très probable de failles du Quaternaire ancien et récent, sous la terrasse ancienne. Ces structures quaternaires qui affectent l'ensemble du golfe de Corinthe, rejoignent de temps en temps avec les séismes fréquents de la région à l'Est du levé. A proximité de l'isthme notamment, les failles sont bien discernables sur les levés thermiques (*).

D'Est en Ouest, l'une des failles principales, sensiblement N-S, indiquée sur la carte géologique, qui aboutit à l'agglomération d'Assos, est bien visible sur les formations argilo-sableuses du Pliocène, mais s'estompe très rapidement sous les alluvions des terrasses. En revanche, la trace de la rivière Sapanti, à l'Ouest du levé, correspond à un accident structural important dont la direction est environ N 10° à N 20°, c'est-à-dire parallèle à celle déjà mentionnée dans la zone Est et traversant l'isthme. Cette trace se prolonge sous les alluvions anciennes puis elle est estompée par les atterrissements actuels du cours d'eau.

On retrouve ces deux directions principales, à des degrés divers de netteté, sur le levé radar et sur le canal 7 de Landsat.

Par ailleurs, les anomalies structurales de direction sensiblement E-W ou N 50° à N 60°, sont également très visibles dans la zone Sud de l'isthme et sont corrélées directement avec les linéaments et les informations des deux autres levés.

Dans le domaine de l'hydrogéologie, la petite rivière côtière Rakiani, correspond à un signal émissif nettement supérieur à son environnement alluvial plus ancien. Ce domaine correspondant d'une part aux épandages récents et, d'autre part, à des ressources de nappes superficielles, est typiquement du domaine de la détection par le thermique. Malgré la différence des échelles, on aperçoit dans le levé SIR-A, un écho de ces teneurs en eau différentielles des terrains. Après agrandissement suffisant, le document de satellite, notamment dans le canal 7, montre également une réponse différenciée le long des deux rivières côtières Sapanti et Rakiani.

6. LEVES DE RADIOACTIVITE NATURELLE A BASSE ALTITUDE

En complément des levés thermiques, des levés de radioactivité naturelle à basse altitude — 80 à 100 m —, ont été réalisés par avion sur la partie sans relief des terrasses quaternaires de Corinthe.

Rappelons que ces levés sont effectués sur les pics gamma de 0,610 MeV du ^{214}Bi et de 1,43 du ^{40}K .

Les résultats montrent une constance des émissions γ (^{214}Bi) sur les axes de plaine, sauf en trois points précis qui correspondent effectivement à des failles déterminées sur le terrain et bien visibles sur les levés radar, aussi bien que sur les deux canaux 5 et 7 des documents de satellite.

* Rappelons que les parois du canal de Corinthe constituent l'une des plus belles coupes géologiques, permettant d'étudier les failles plio-quaternaires de la région.

Le pic de radioactivité naturelle situé le plus à L'Est pourrait correspondre à l'une des failles plio-quaternaires, parfaitement visibles sur les parois du canal de Corinthe.

Toutefois, les levés de radioactivité naturelle, particulièrement sensibles aux accidents structuraux cisailants et, surtout, aux rejets actuels de ces accidents, n'ayant pas décelé de trace du prolongement des failles dont il est question dans ce qui précède, il est probable que l'épaisseur des alluvions plio-quaternaires est suffisamment importante, pour masquer les émissions gamma, notamment dans la fenêtre du pic 0,610 du ^{214}Bi .

7. CONCLUSION

L'exemple de cette étude sur la zone du canal de Corinthe, siège d'une néotectonique plio-quaternaire intense, montre l'intérêt qu'apportent les documents Landsat et SIR-A dans le domaine structural et morphologique.

Les documents Landsat 1 — canaux 5 et 7 — ont permis en premier lieu d'identifier les limites des nappes qui constituent les principales unités structurales internes des Hellénides.

Les caractéristiques lithologiques apparaissent plus nettement sur les documents Landsat, notamment les calcaires, ainsi que les ophiolites et les formations de l'arc volcanique égéen. Les limites des réflectivités différentielles permettent même d'établir des levés géologiques détaillés.

Le levé SIR-A intéresse surtout le domaine structural dans lequel il met particulièrement en évidence les grands accidents.

La différenciation entre les alluvions récentes de la plaine de Corinthe et les terrasses marines a pu être faite sur ces documents.

Les directions structurales principales orientées N 45-50°, N 70°, N 90° et N 110-120°, correspondant aux phases de compression et d'extension plio-quaternaires nées de la subduction hellénique, sont plus marquées sur le levé SIR-A.

Les directions orientées N 70-80° dans les Gérénées — Nord du document SIR-A —, correspondent aux failles principales réactivées lors des séismes des 24-25 février et 04 mars 1981.

Par ailleurs, les thermographies prises sur la plaine littorale de Corinthe ont permis de faire le schéma structural et l'inventaire des ressources aquifères superficielles dans la zone plus restreinte correspondant à cette plaine. Les anomalies thermiques peuvent être corrélées avec les réflectances différentielles obtenues sur les documents Landsat 1 et SIR-A.

Elles correspondent à des failles récentes qui affectent les alluvions plio-quaternaires et qui constituent des axes de drainage préférentiels pour les circulations souterraines.

Les levés Landsat 1 et SIR-A ont permis de dresser un inventaire des directions structurales mises en place lors de la néotectonique plio-quaternaire, directions qui constituent autant de zones de faiblesse chaque fois réactivées par les séismes fréquents dans cette région.

BIBLIOGRAPHIE

ANGELIER J. (1979). Néotectonique de l'arc égéen. Société Géologique du Nord, Publication n° 3, 417 p.

BELLON H., JARRIGE J.J. et SOREL D. (1979). Les activités magmatiques égéennes de l'Oligocène à nos jours et leurs cadres géodynamiques. Données nouvelles et synthèse. Revue de Géologie dynamique et de Géographie physique. Vol. 21, fasc. 1, p. 41-55, Paris, 1979.

DERCOURT
Péloponn
Annales

DUFAURE
Paris, 2

JACKSON
SOUFLERIS
the Geom
Corinth
Science

LABORATO
de synth
isotopic
nèse, Gr

MATTAUER
Livre Ju
série. S

MERCIER
PHILIP H
Revue de
Néotecto
p. 67-91

SEBRIER
Le golfe
Universi

VRIELYN
nèse, Gr
cycle, U

DERCOURT J. (1964). Contribution à l'étude géologique d'un secteur du Péloponnèse septentrional. Thèse Doct. ès Sciences Naturelles, Paris. Annales géologiques des Pays helléniques, Athènes, tome XV, 418 p.

DUFAURE J.J. (1975). "Le relief du Péloponnèse". Thèse Doctorat d'Etat Paris, 20.06.1975, 5 tomes.

JACKSON J.A., GAGNEPAIN J., HOUSEMAN G., KING G.C.P., PAPADIMITRIOU P., SOUFLERIS C. and VIRIEUX J. (1982). Seismicity, Normal Faulting, and the Geomorphological Development of the Gulf of Corinth (Greece) : the Corinth Earthquakes of February and March 1981. Earth and Planetary Science Letters, 57 (1982), p. 377-397.

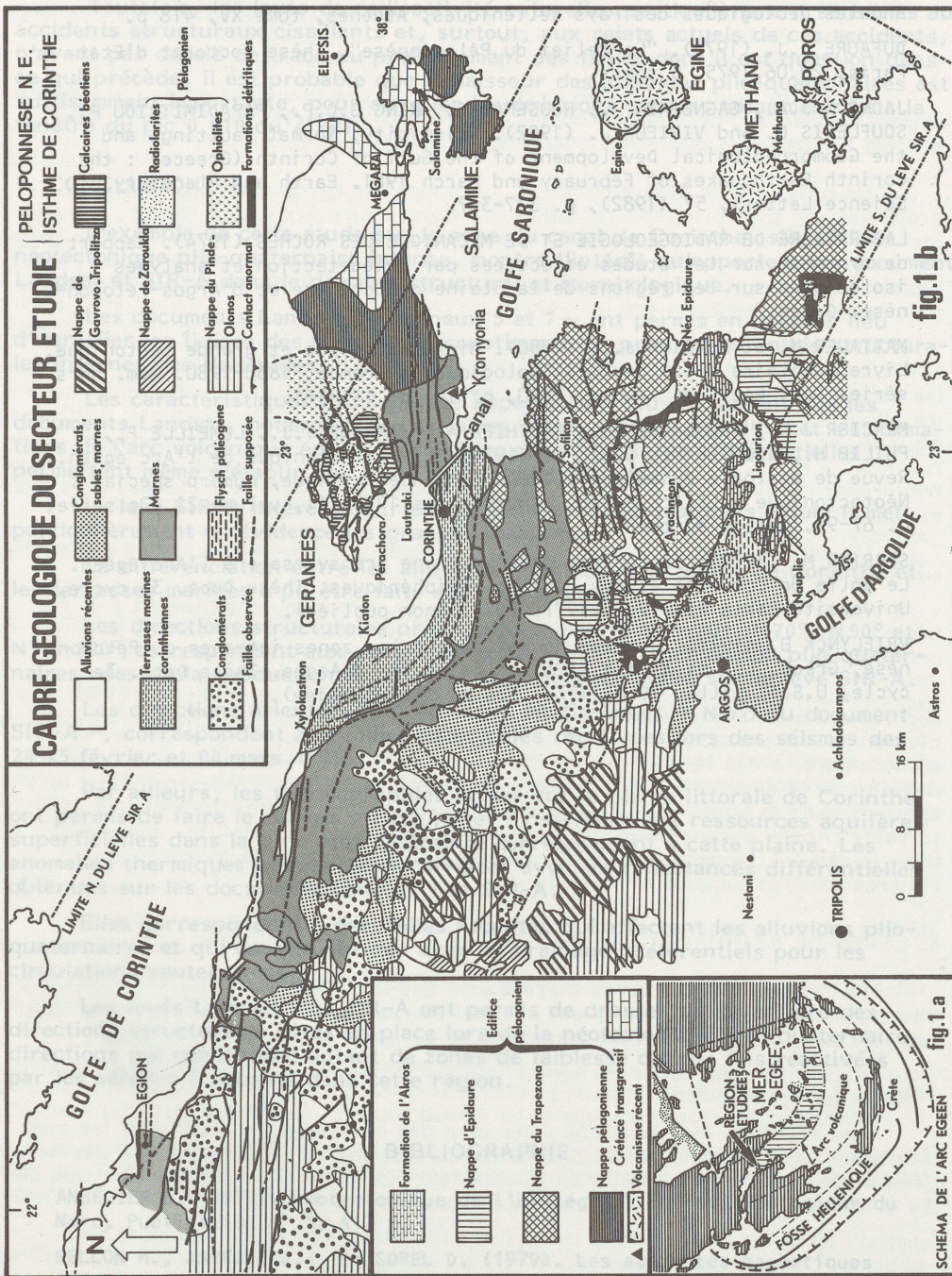
LABORATOIRE DE RADIOGEOLOGIE ET DE MECANIQUE DES ROCHES (1974). Rapport de synthèse sur les études effectuées par télédétection et analyses isotopiques sur les régions de la plaine de Corinthe et d'Argos-Péloponnèse, Grèce.

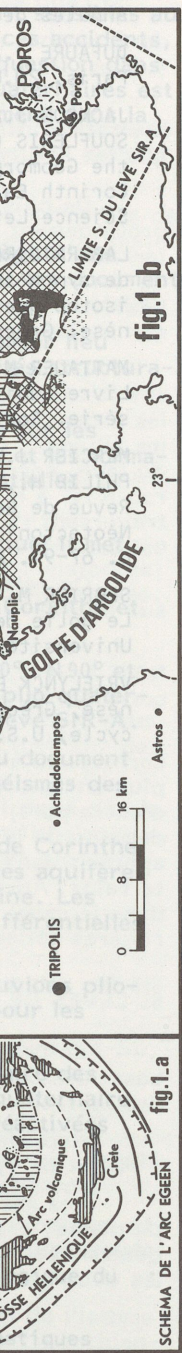
MATTAUER M. et MERCIER J.L. (1980). Microtectonique et grande tectonique. Livre Jubilaire de la Société Géologique de France, 1830-1980. Mém. hors série. Soc. Géol. de France, 1980, n° 10, p. 141-161.

MERCIER J.L., DELIBASSIS N., GAUTHIER A., JARRIGE J.J., LEMEILLE F., PHILIP H., SEBRIER M., SOREL D. (1979). La néotectonique de l'Arc égéen. Revue de Géologie Dynamique et de Géographie Physique, numéro spécial : Néotectonique de l'Arc égéen. Janvier-mars 1979 (1), volume 21, 2e série. p. 67-91. Masson éditeur.

SEBRIER M. (1977). Tectonique récente d'une transversale à l'Arc égéen. Le golfe de Corinthe et ses régions périphériques. Thèse Doct. 3e cycle, Université Paris XI. 19.04.1977. 76 p. (non publiée).

VRIELYNCK B. (1978). Données nouvelles sur les zones internes du Péloponnèse, Grèce. Les massifs à l'Est de la plaine d'Argos. Thèse Doct. 3e cycle, U.S.T. Lille, 29.06.1978, 134 p. (Non publiée).





Interprétation du document
Landsat 1 (Canal 7)
02.08.1972

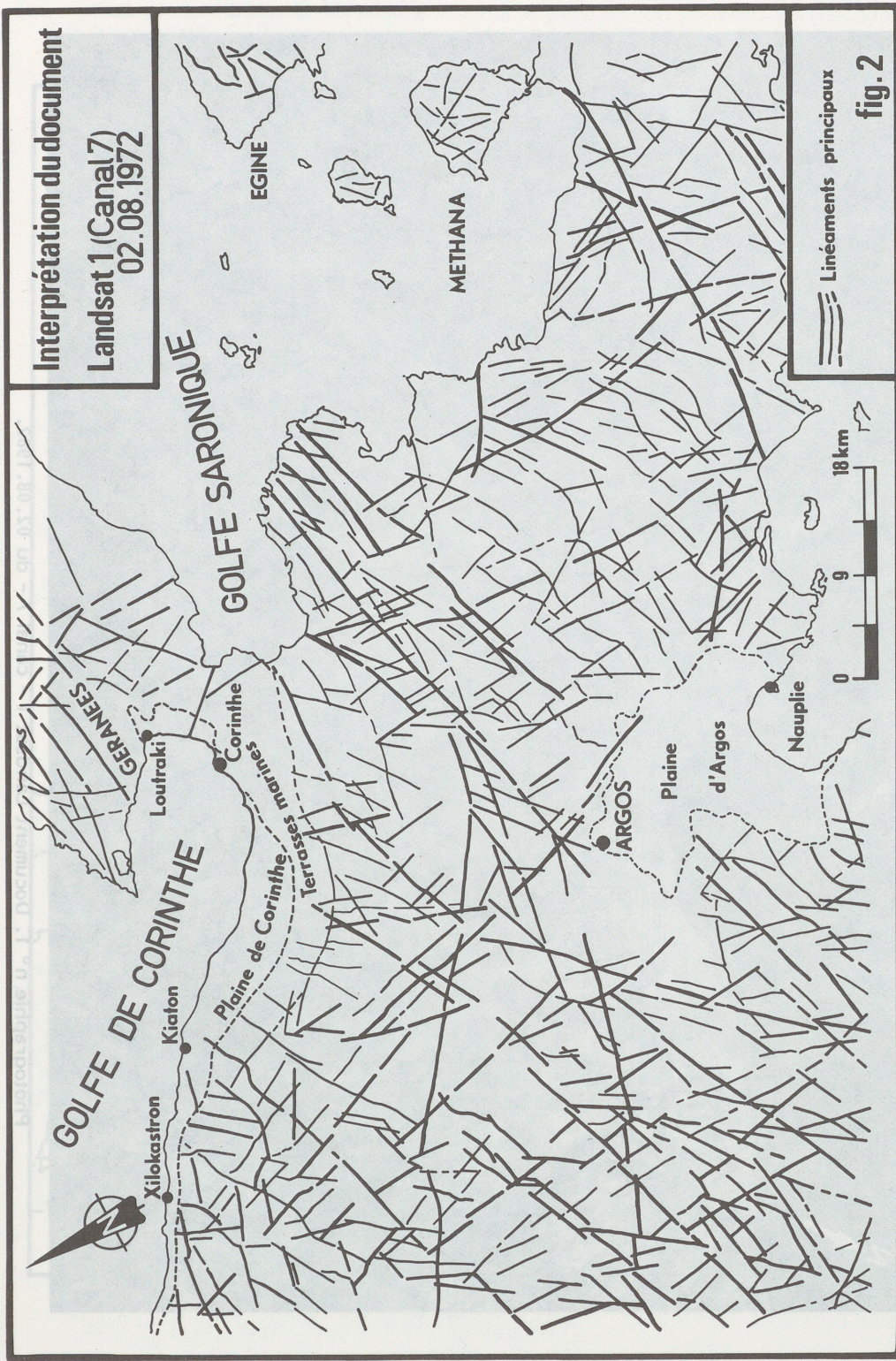
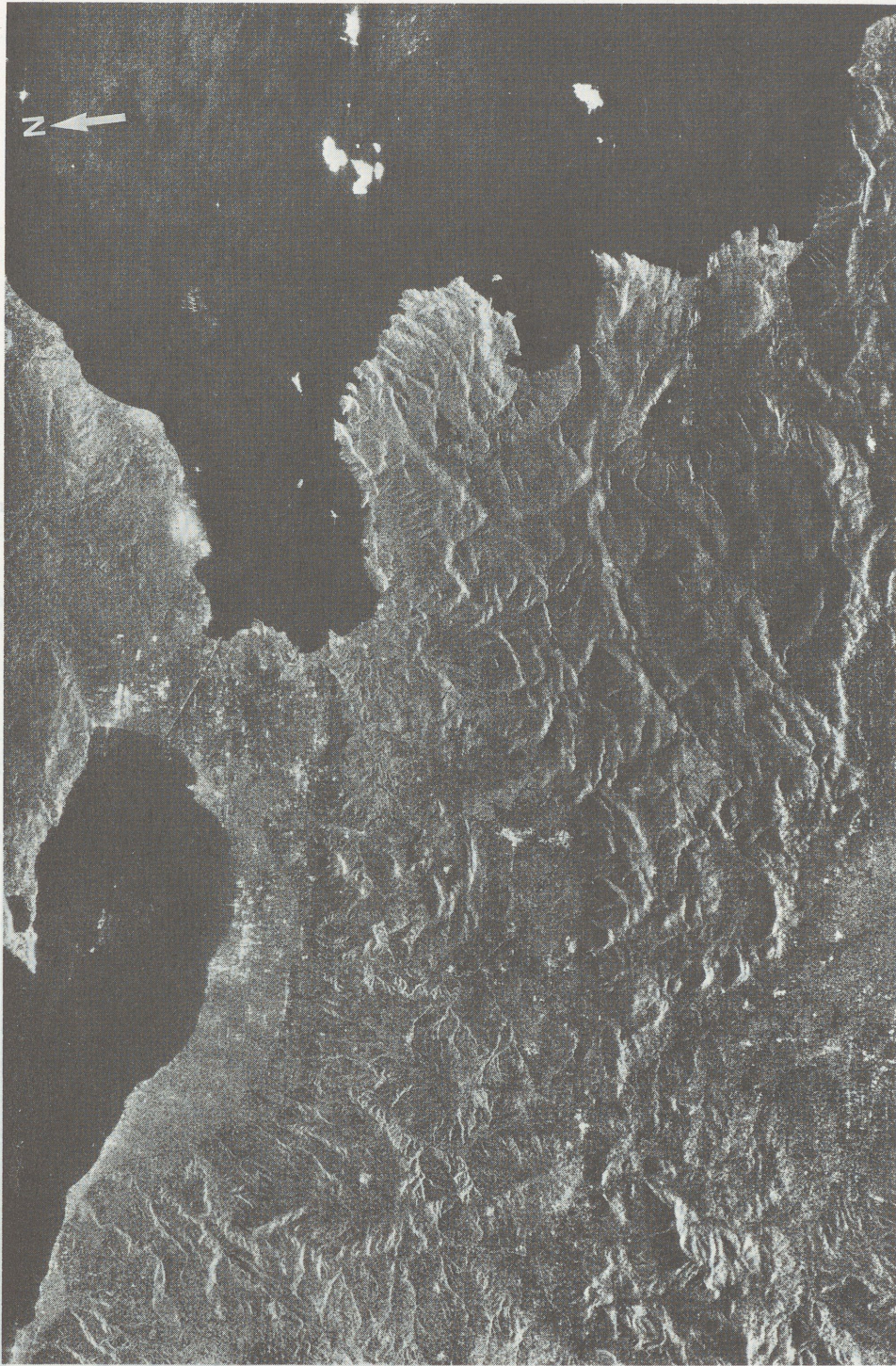
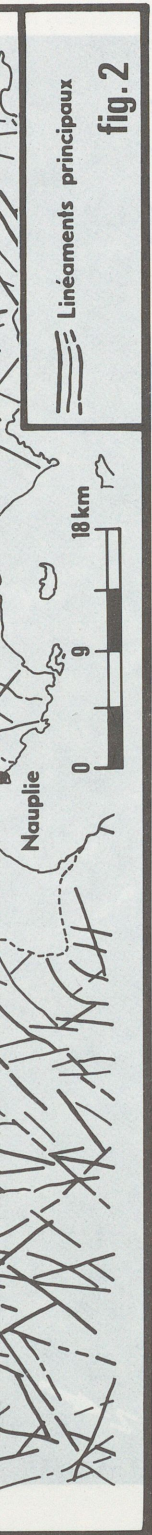
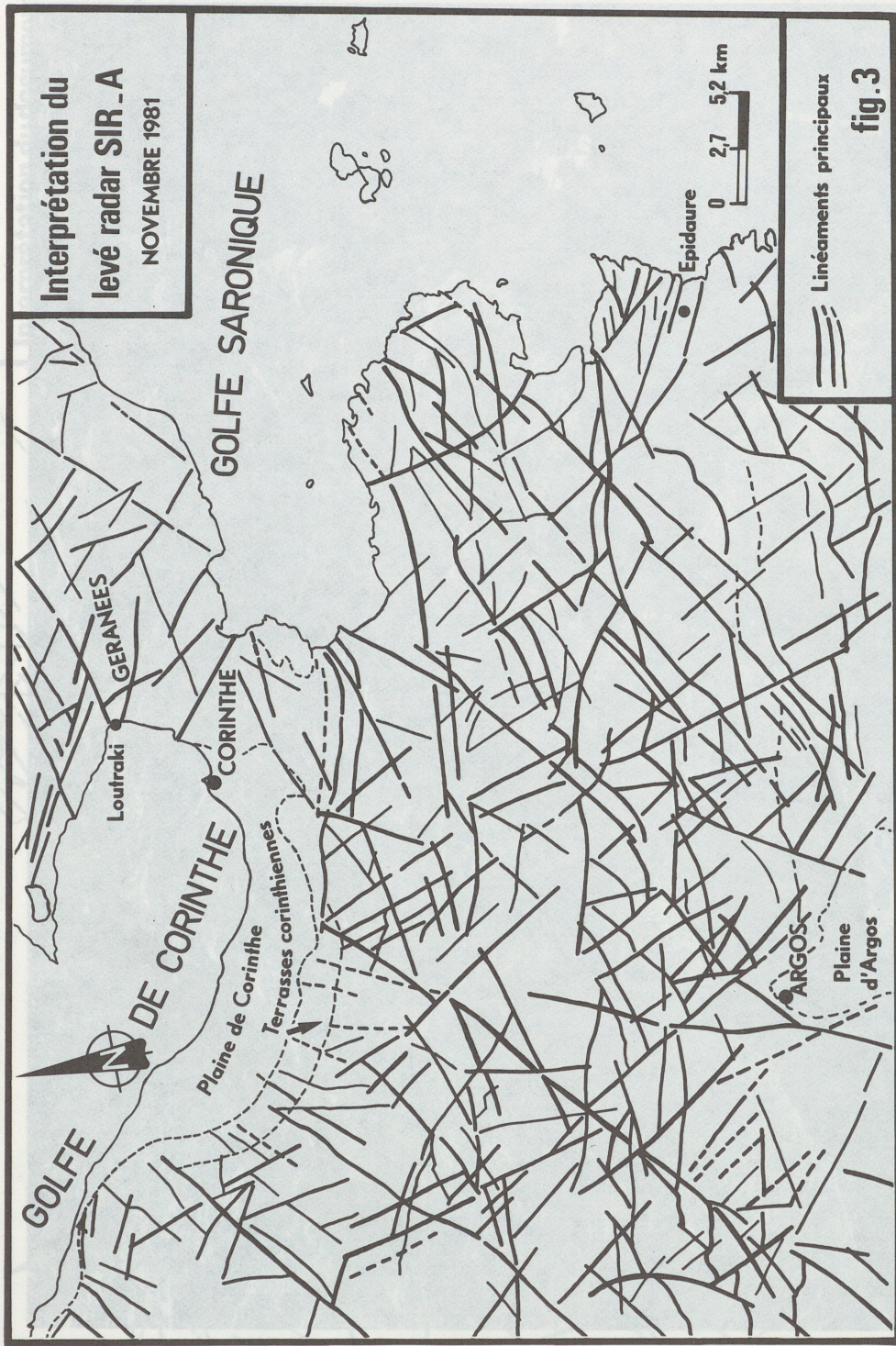


fig. 2



Photographie n° 2. Levé SIR-A (novembre 1981).

Sur chaque secteur d'étude, la démarche est la même :



... technique d'un...
 ... tion dispo...
 ... E...
 ... méthodes t...
 ... prometteur...
 ... O...
 ... remarquable...
 ... geological...
 ... P...
 ... methods of...
 ... L...
 ... par l'A.T...
 ... l'Ouest (f...
 ... retard car...
 ... nombreuses...
 ... pétrograph...
 ... l'introduc...
 ... les connai...
 ... elle sert...
 ... de nombreu...
 ... I - METHOD...
 ... S...
 ... LANDSAT, l...
 ... analyse nu...
 ... traux et d...
no S