

Mesures de déformations dans la zone des Afars

par M. KASSER, IGN

A. Les travaux géodésiques de surveillance tectonique à Djibouti

Le premier réseau de surveillance géométrique de la zone de rift Assal-Ghoubbet (République de Djibouti), a été mis en place par l'Institut Géographique en 1972-1973 (voir fig. 1).

Depuis la crise sismo-volcanique de novembre 1978 (voir fig. 2) où un nouveau volcan, baptisé Ardoukoba a pris naissance, plusieurs séries d'opération de terrain ont eu lieu. Elles ont permis de montrer que des mouvements très importants se sont produits dans cette zone active et de susciter des études de détail ; ceci a abouti à la densification et à la multiplication des sites de mesures, certains accidents ayant été l'objet de surveillance régulière et continue depuis lors.

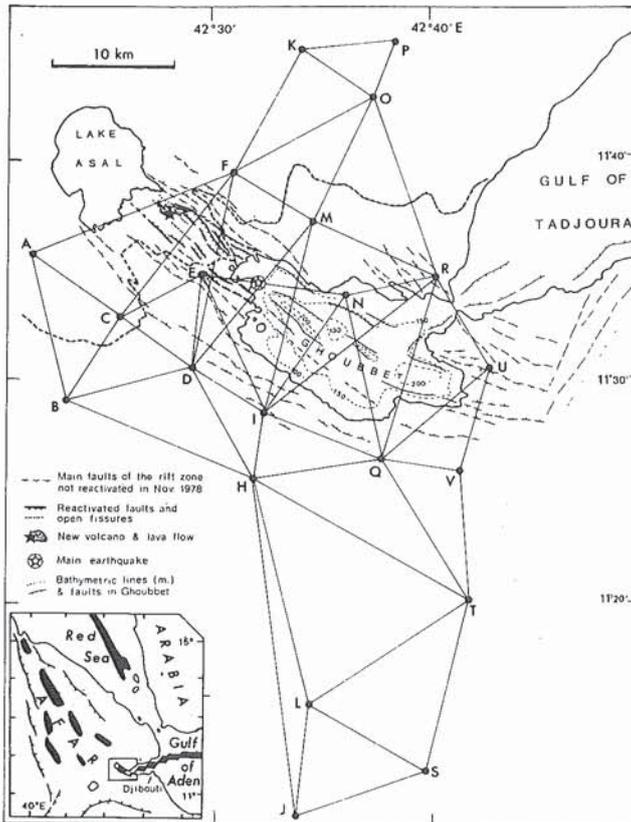


Fig. 1 — Réseau géodésique à grands côtés, implanté en 1972-73. Il y a 22 sommets, plus un itinéraire (en pointillé) de 100 km de nivellement de haute précision.

Les remesurages fréquents assurés en particulier depuis l'Observatoire Géophysique d'Arta, mettent en évidence des mouvements dans la zone de plancher interne ininterrompus depuis 1978, et susceptibles d'être modélisés comme un réajustement élastique après rupture. En tout cas, ces mouvements détectés de manière très localisée apparaissent comme numériquement notables, plusieurs accidents jouant en effet à des vitesses de l'ordre du centimètre par an.

B. Les mesures sur le réseau intra-Rift (voir fig. 3)

Elles ont été menées avec un appareil électronique de mesure de distances à onde infrarouge, le Géodimètre AGA 14 A. L'erreur minimale de mesure est caractérisée par un écart-type de $\sqrt{a^2 + b^2} D$ avec $a = 5$ mm et $b = 2$ mm/km et doit être éventuellement majorée dans les cas où la propagation de la lumière n'est pas bonne (turbulences par exemple).

Les côtés mesurés étant généralement courts (3 à 5 km), l'écart-type sur les mesures reste voisin de 1 cm.

Par ailleurs, les mesures sont effectuées dans des conditions généralement identiques, ce qui permet une analyse comparative directe des valeurs brutes.

Cette comparaison des mesures fait apparaître des mouvements d'extension dans le plancher interne allant jusqu'à 16 cm en 3 ans. Par ailleurs, les mesures intermédiaires entre novembre 1979 et 1983, lorsqu'elles existent, montrent que les phénomènes mis en évidence sont très généralement à peu près linéaires dans le temps. (Exemple en fig. 4, rejeu d'une faille mesuré régulièrement environ une fois par mois).

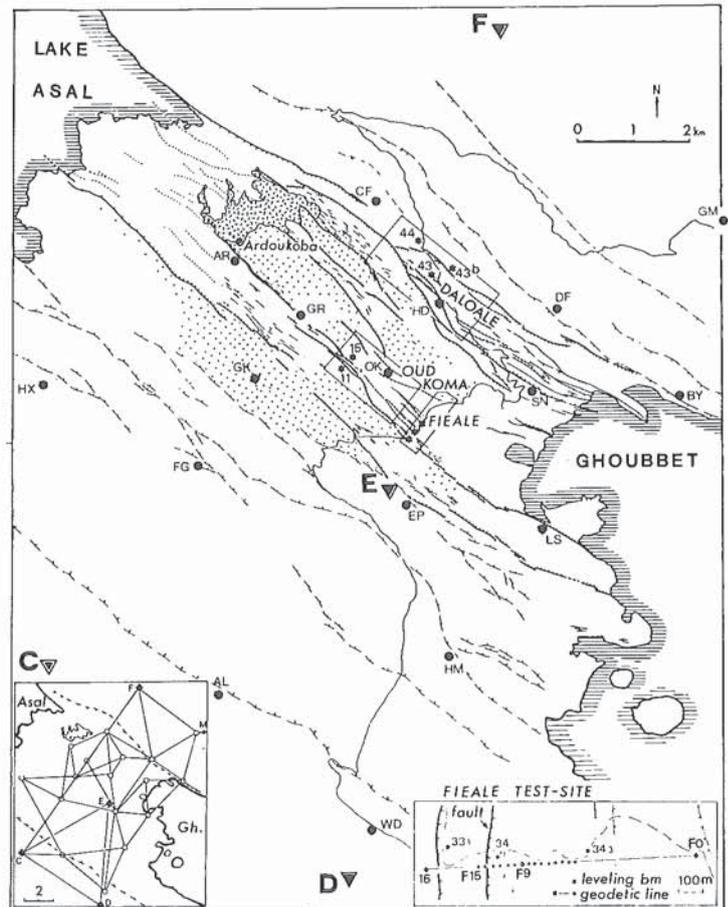


Fig. 3 — Densification du réseau de 1972-73 dans la zone centrale où les mouvements sont importants. Les triangles désignent les points du grand réseau, et les ronds, ceux du réseau intra-rift. Dans l'encadré, certaines des visées effectuées.

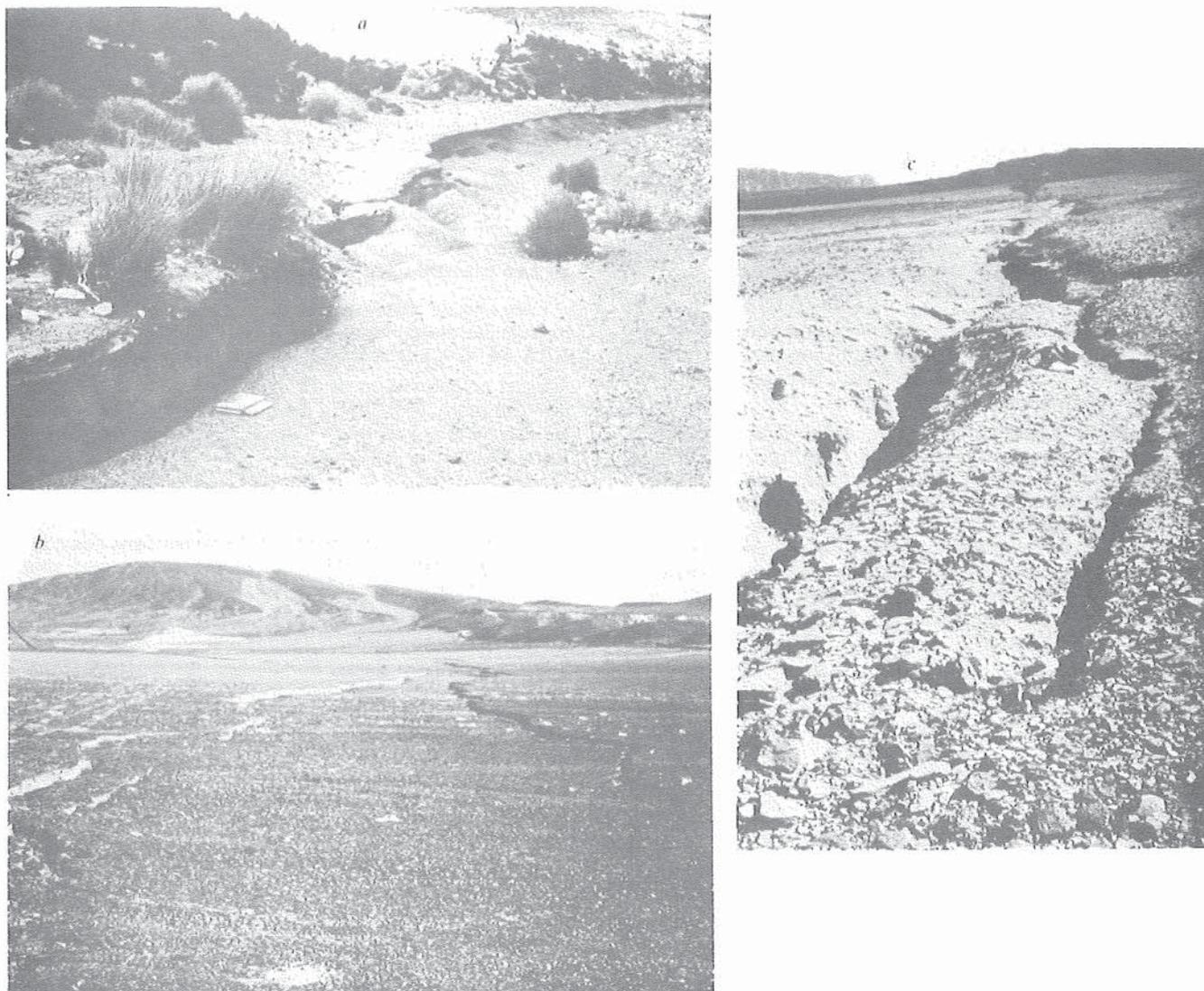


Fig. 2 — Failles ouvertes en 1978 pendant la crise sismo-volcanique de novembre. Ces failles sont généralement des failles anciennes plus ou moins visibles et qui ont rejoué. L'ouverture totale était de plusieurs mètres d'après les mesures faites juste après la crise.

C. Les mesures sur le réseau géodésique de 1972-73 (cf. fig. 1)

Ce réseau de 22 stations, équivalent à un réseau de 2^e ordre, a été mesuré en 1972-73 en trilatération et triangulation simultanément en utilisant un Aga 8 à laser et des théodolites T3. Compte tenu des moyens disponibles lors des opérations en 1978 et les années suivantes, et de l'intérêt de cette zone au plan géophysique, une optimisation des moyens de mesure a été recherchée et la solution retenue a toujours été depuis lors l'emploi d'appareils de mesure de distance à laser (Aga 8, Aga 600, Rangemaster II). La précision obtenue reste excellente (en moyenne 1 mm/km) et la rapidité de mise en œuvre considérable (quelques jours). Les mesures ont lieu de nuit ; en effet, il est indispensable de connaître la température de l'air avec précision et le jour, le rayonnement solaire rend cette opération difficile ; par ailleurs, à Djibouti, la visibilité médiocre rend délicate la mesure de longues distances de jour. De même, un itinéraire de nivellement de 100 km a été mesuré en aller-retour, avec une erreur probable kilométrique de 1 mm/km (voir résultats de comparaison fig. 5).

D. Mesures de photogrammétrie à fort recouvrement (cf. fig. 6)

Par ailleurs, en 1984, une opération de photogrammétrie à fort recouvrement a été menée dans la zone cen-

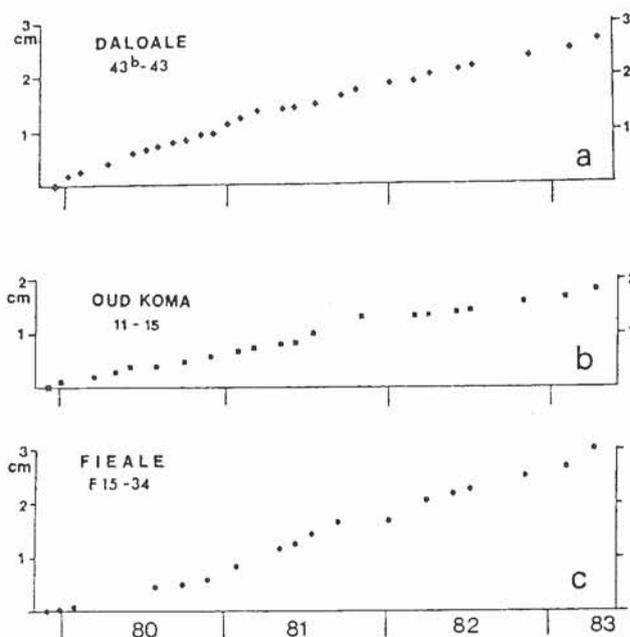


Fig. 4 — Mouvements quasi continus observés sur certaines failles observées en nivellement de précision, entre 1979 et 1983.

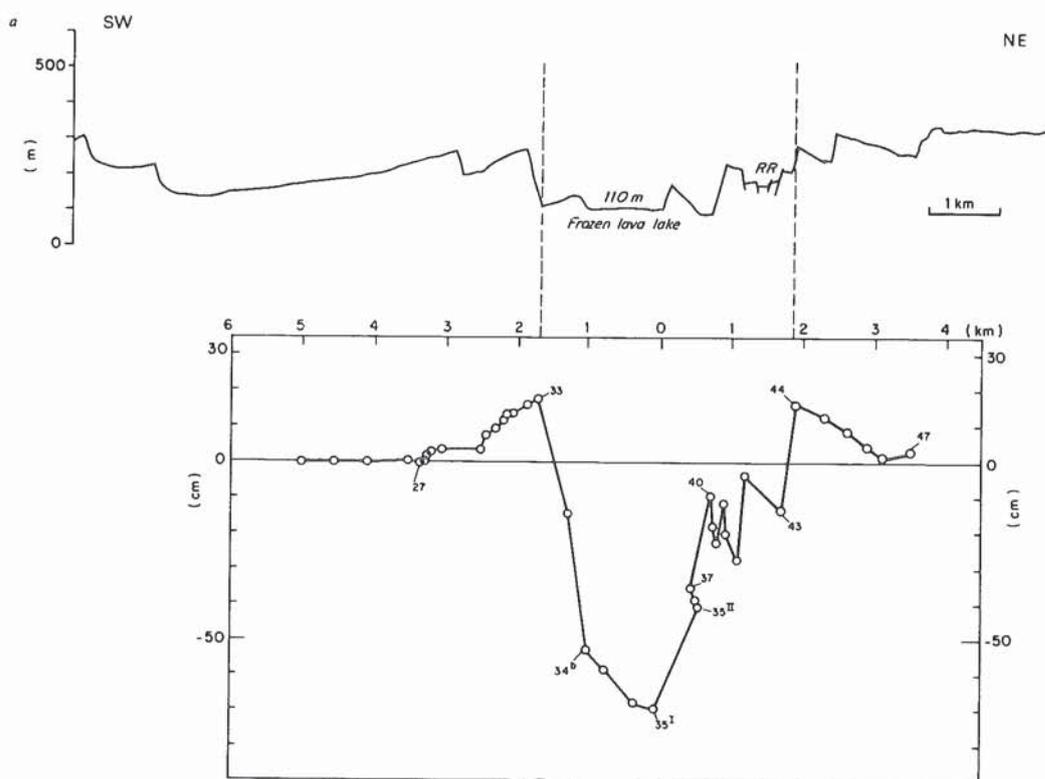


Fig. 5 — Mouvements verticaux sur l'itinéraire de nivellement de précision entre 1973 et 1978, consécutifs à la crise sismo-volcanique. Les mouvements sont à comparer au profil en travers de la topographie (au-dessus).

trale dont l'activité est élevée. Environ 350 cibles ont été fixées sur le terrain ou peintes sur des rochers, et une vingtaine d'entre elles ont été incluses dans une réobservation de la géodésie intra-Rift. Un survol en hélicoptère à basse altitude, en utilisant une chambre de prise de vues Wild RC 8, a permis d'obtenir des clichés ayant un recouvrement moyen de 85 %. De sorte qu'en général, une cible est visible sur au moins 6 images. Un calcul d'aérotriangulation permet alors de connaître dans le référentiel des points d'appui, les coordonnées des cibles avec une excellente précision (2 à 3 cm en général). Lors des futures opérations nous aurons ainsi une carte des déplacements des 350 cibles en ne fournissant que le travail d'observation des 20 points d'appui.

6) Discussion : méthodologies optimales pour la surveillance de zones instables

Il y a plusieurs niveaux de surveillance possibles :

1) Mesures en continu en mode automatique.

Il existe jusqu'ici très peu de matériels utilisables, et ils ne fournissent que des données locales en général : c'est le cas des inclinomètres, des extensomètres et des fissuromètres par exemple. Ces appareils peuvent être très précis et sont facilement informatisés ou télétransmissibles, mais ils sont très sensibles au bruit local (soleil, température, niveau d'eau dans les nappes phréatiques).

2) Mesures manuelles discontinues sur de petits réseaux

Il s'agit, par exemple, de petits profils de nivellement (100 m entre repères) faciles à observer, de géodésie à petits côtés, etc... où les aléas météorologiques sont quasi inexistantes, et où le coût de la mesure est faible.

De telles mesures sont quasiment insensibles aux bruits locaux et donnent une bonne précision, mais elles passent par un "échantillonnage" de la zone dont il est toujours très délicat de dire s'il est représentatif. De plus,

des mouvements rapides (quelques secondes — quelques heures) sont généralement ignorés.

3) Observation lourde de grands réseaux

Il s'agit de séances de mesures longues de géodésie ou de nivellement, avec des moyens en personnel et en matériels conséquents. Des opérations de ce genre sont onéreuses et ne peuvent être faites souvent (1 ou 2 fois par an par exemple). Par contre, il n'y a plus aucun risque de gêne par les bruits locaux, et les mouvements à grande longueur d'onde seront vus aisément. La précision des mesures sera généralement limitée par des effets météorologiques (réfraction, température, visibilité).

Toute surveillance complète est finalement obligée d'employer un peu de ces trois niveaux de mesure. L'optimisation consiste à analyser ce qui est financièrement disponible pour l'équipement en matériel de base, et ce qui l'est pour le fonctionnement, et à considérer ce qui est le plus intéressant pour le suivi du phénomène, quelles sont les constantes de temps et les longueurs d'onde de ce que l'on veut mesurer.

Les méthodes existantes vont s'enrichir du côté des appareils de géodésie par satellite dans deux directions : le GPS bien connu maintenant, destiné aux grands réseaux en observation manuelle classique, et le système Doris qui sera lancé par le CNES en 1988 sur le satellite Spot 2 et dont les balises de terrain sont actuellement à l'étude. Ce dernier système sera a priori une excellente réponse pour le problème de surveillance en continu, avec une précision centimétrique et une constante de temps d'un jour environ, joint à un système de collecte de données centralisé et automatique peu onéreux.

Le dernier problème sur lequel nous insisterons est celui de la validité de l'échantillonnage du milieu que représente le choix des repères planimétriques et altimétriques. Il faut toujours faire l'hypothèse (contraignante !) que le point se déplace comme le milieu environnant. On ne peut

conforter cette hypothèse que si les points sont nombreux et permettent des tests statistiques, mais vu le prix du point géodésique classique, c'est généralement inaccessible. La photogrammétrie de précision à fort recouvrement est conçue comme une réponse à ce problème. Mise en œuvre dans des chantiers délicats (route d'accès au tunnel du Fréjus, Piton de la Fournaise à la Réunion), elle produit une grande densité de points à un coût très réduit, au prix d'un investissement important lors de la première opération (ciblage).

Conclusion : Ces travaux, financés par le CNRS et par l'IGN, ont permis de mettre au point des méthodes dérivées de la topographie classique mais optimisées pour la surveillance et, dans certains cas, entièrement originales. Cela montre combien peut être fructueuse la col-

laboration de spécialistes de domaines voisins (géophysiciens, topographes), dès lors qu'ils s'associent dans un but commun. Dans bien des cas, l'économie de la collaboration avec le topographe paraît évidente pour celui qui ne connaît cette profession que de loin. Et dans beaucoup de cas, il en résulte une très médiocre optimisation de l'effort fourni vis-à-vis du résultat obtenu.

La Géométrie au sens large est desservie par la simplicité apparente des méthodes employées. Nous devons rappeler à chaque occasion qu'elle représente une technique à part entière, qu'elle évolue rapidement et qu'elle permet de fournir des données d'autant plus remarquables et utiles qu'elles sont, ici, toujours d'une interprétation immédiate et instinctive, et donc faciles d'emploi et fiables.

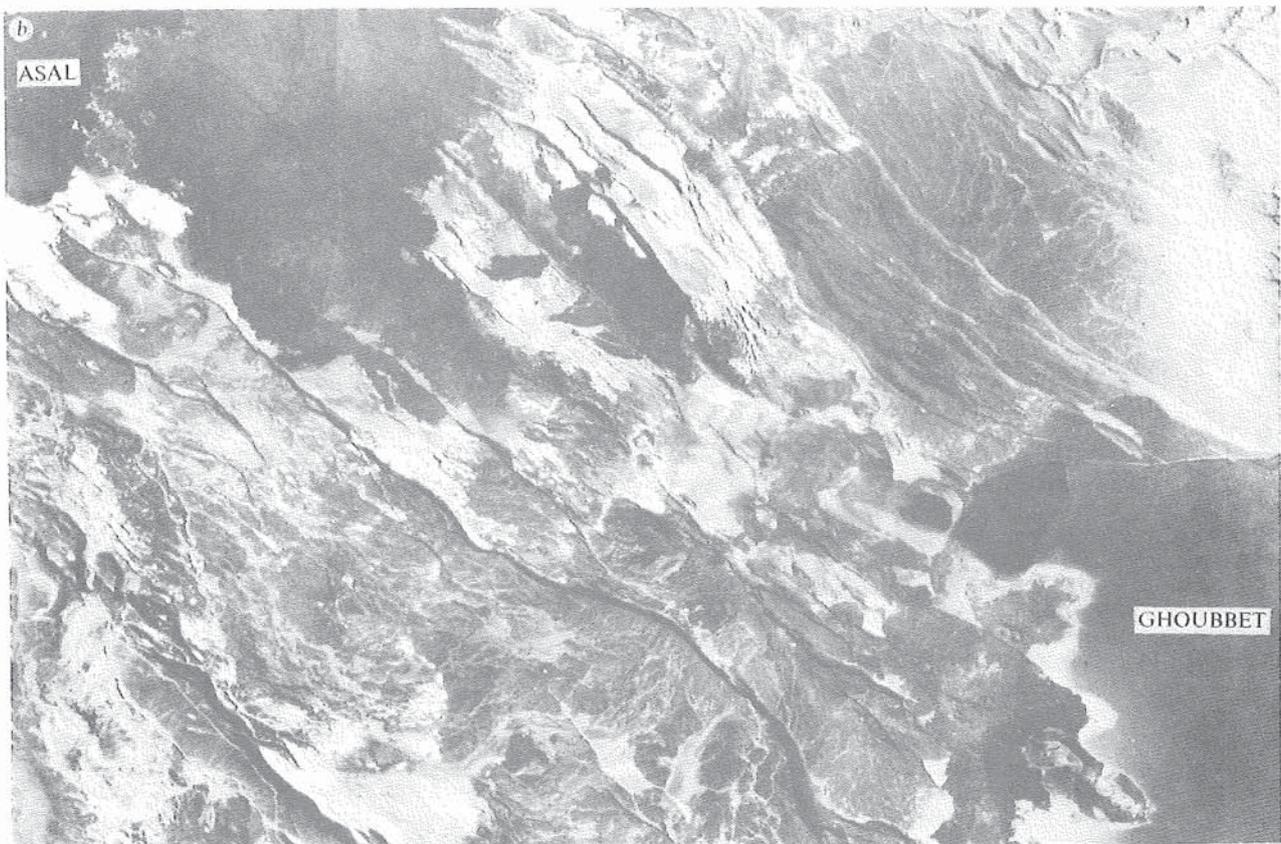


Fig. 6 — Montage de photos aériennes de la zone Asal-Ghoubbet montrant les épanchements de laves (en noir) et la fracturation NW-SE très active.

REPRODUCTION PHOTOGRAPHIQUE

- agrandissements
- réductions
- remises à l'échelle en tous formats
- réductions/assemblages de plans à échelle imposée
- confection
- reproduction
- travaux spéciaux sur mosaïques topographiques
- travaux sur supports polyester
- typons offset tramés ou trait

HAUTE PRECISION

LART

PHOTO-REPROGRAPHIE PHOTO-CARTOGRAPHIE

LES APPLICATIONS DE LA REPRODUCTION TECHNIQUE

5, rue de la Véga
75012 PARIS

(1) 43.47.15.92