

Mardi 29 Novembre 1983

"Les Volcans"

Le mardi 29 novembre 1983, Monsieur DELORME, docteur 3ème cycle, agrégé de chimie, assistant à l'Institut de Physique du Globe de Paris auprès des observatoires volcanologiques français, nous a entretenu de la volcanologie, en accompagnant son exposé de nombreuses diapositives.

La spécialité de Monsieur Delorme étant le domaine des gaz volcaniques, il a essentiellement travaillé sur des volcans d'Islande, d'Amérique Centrale, du Mexique, de la Réunion et de l'île de Hawaï et sur la Soufrière de la Guadeloupe.

LA VULCANOLOGIE EST UNE SCIENCE NOUVELLE.-

Rappelons 4 dates :

- moins 200 av. J.C. : Empédocle s'intéresse à l'Etna. Il y monte et s'installe à mi-pente (Torré del Filosofo), y vit pendant de nombreuses années et observe le volcan.

- 26 août 1883 : le Krakatoa explose, faisant 30 000 morts. Ce fut la 1ère éruption réellement étudiée. On utilisa des enregistreurs de marées et le manomètre de l'usine à gaz de Djakarta pour avoir le top horaire des ondes atmosphériques ...

- 1914-1920 : à l'époque, les scientifiques ne sont pas très satisfaits de la théorie immobiliste de la Terre (la Terre serait une sphère sur laquelle s'incrument les océans) et il faudra le travail de Wegener pour découvrir le déplacement des continents (ou mieux des plaques, voir plus loin).

- 18 mai 1980 : le Mont Saint-Hélens explose aux U.S.A.

I.- TECTONIQUE DES PLAQUES.-

Wegener ne disposait pour travailler que des profils des côtes alors que nous possédons actuellement les courbes d'isobathe (égale profondeur).

La figure 1 représente l'assemblage des continents en un seul bloc continu, réalisé par une équipe anglaise à l'aide d'un ordinateur. En quadrillé sont représentés les continents, en gris les fonds marins de moins de 2000 mètres, en blanc les morceaux manquants et en noir les chevauchements.

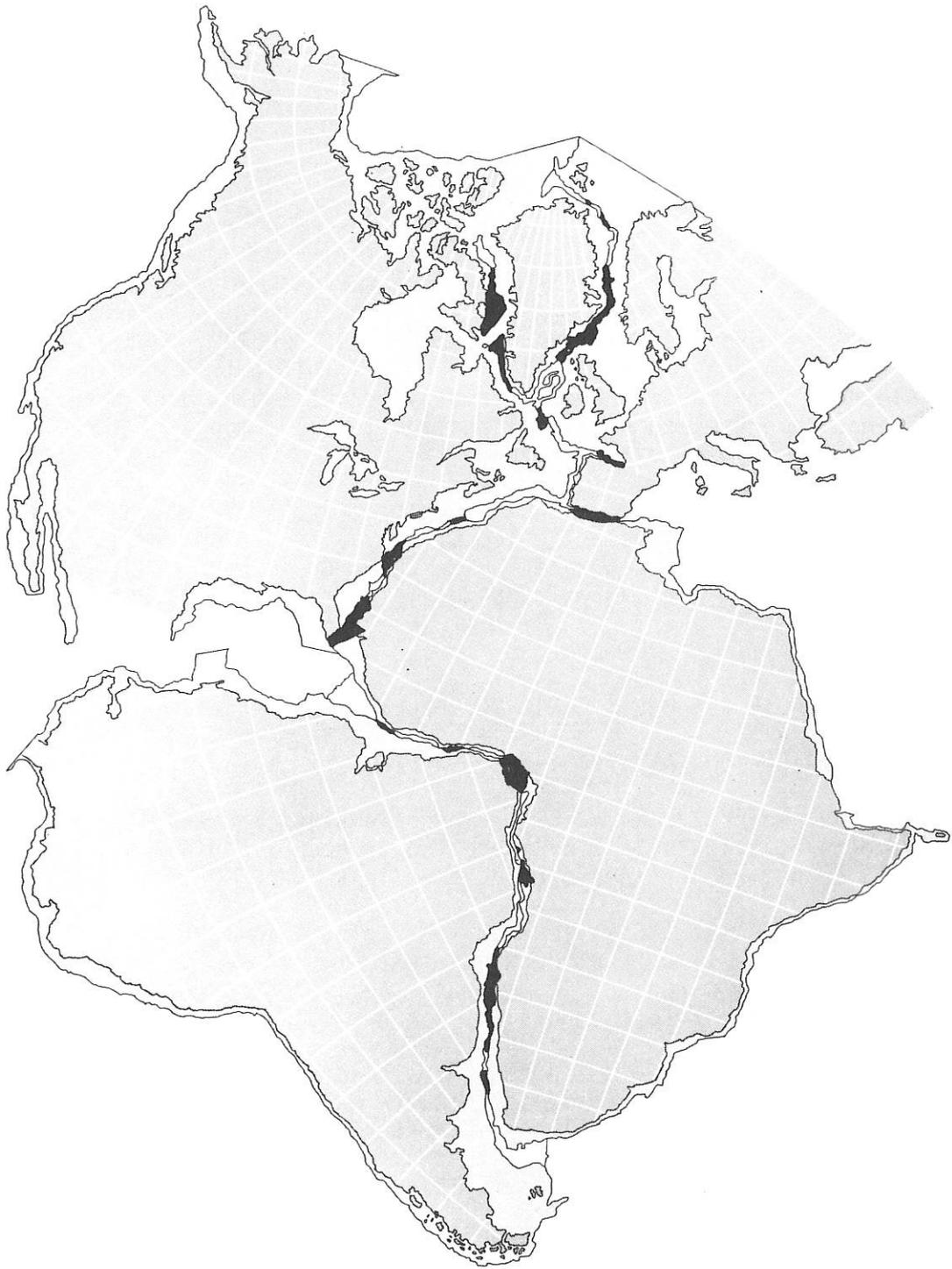


Fig. 1.- L'assemblage des continents en un seul bloc continu.  
Il existe des lacunes (en blanc) et des chevauchements (en noir)  
mais la largeur moyenne de ces zones n'excède pas 100 kilomètres  
sur la majeure partie des lignes de contact

Wegener formula une théorie fondamentale et nouvelle de l'origine des continents ; selon lui, les continents étaient initialement réunis en un seul qu'il nomma "Pangée". D'un point de vue géophysique, il considérait que la couche sur laquelle flottent les continents agit comme un fluide très visqueux ; Wegener estimait que si un continent pouvait se mouvoir verticalement à travers ce fluide, il pouvait également se déplacer horizontalement.

On pense aujourd'hui qu'il existait deux grandes masses continentales : la Gondwana dans l'hémisphère Sud et la Laurasia dans l'hémisphère Nord.

La Gondwana (fig. 2) rassemblait, outre l'Amérique du Sud et l'Afrique, Madagascar, l'Inde, l'Australie et l'Est du continent antarctique.

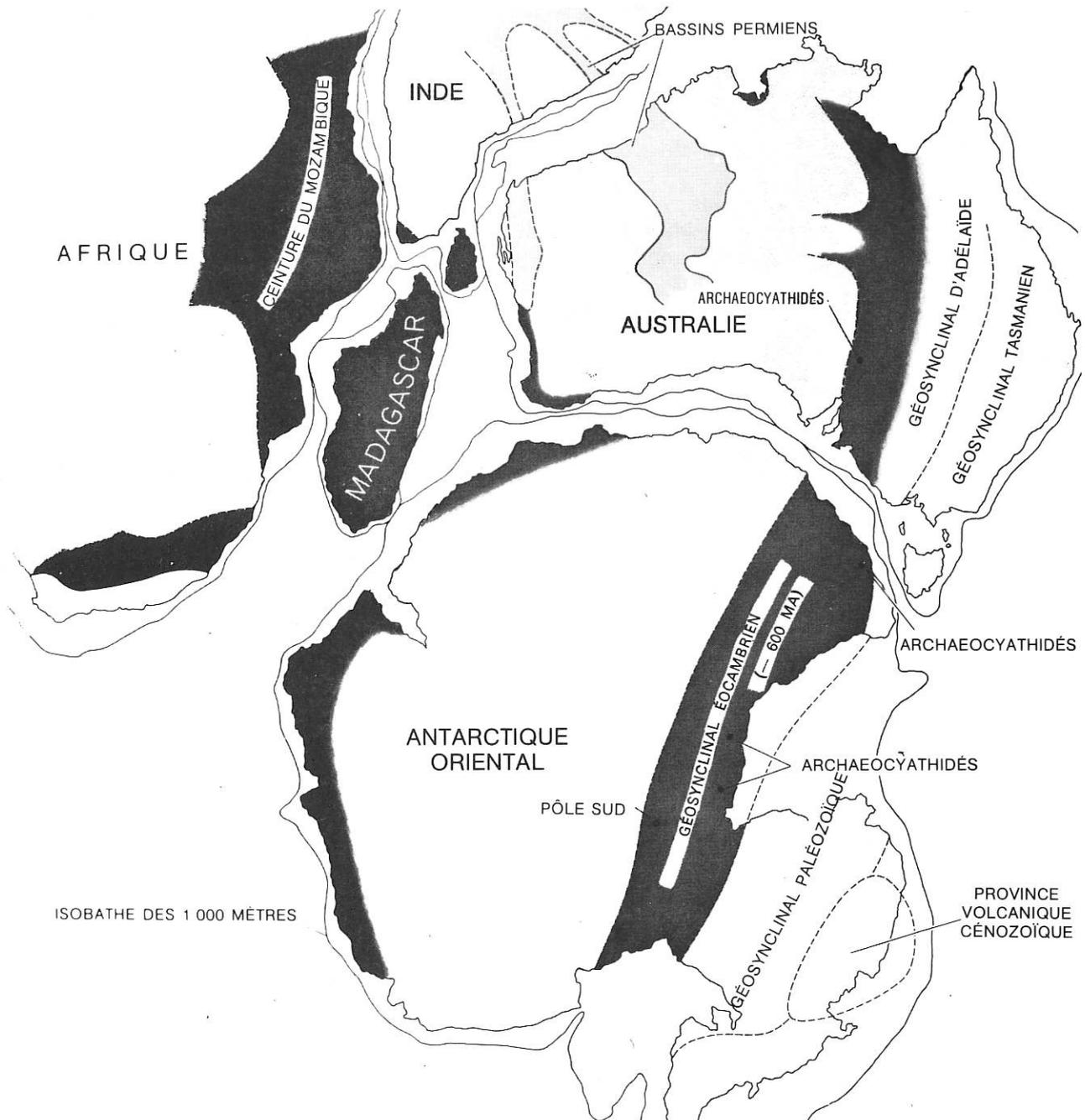


Fig. 2.- La Gondwana.

## La dérive des plaques.-

Depuis 15 ans, la théorie de la dérive des plaques s'est imposée grâce au concept d'expansion des fonds océaniques, développé par Harry Hess, de l'Université de Princeton. Ce concept repose sur une idée force : les fonds des océans s'écartent continuellement de part et d'autre de l'axe des dorsales qui serpentent dans les principaux bassins océaniques du Globe.

Des magmas (essentiellement basaltiques) montent à partir du manteau et remplissent la fissure, créant ainsi, de façon continue, une nouvelle croûte océanique.

La création de nouvelles surfaces océaniques signifie, soit que la Terre se dilate formidablement, soit que d'autres surfaces disparaissent à mesure que les premières se forment.

Il est à peu près certain que la dilatation de la Terre n'a pas excédé 2% pendant les derniers 200 millions d'années. Il doit par conséquent exister, à l'échelle du Globe, un vaste mouvement d'ensemble de la croûte terrestre partant des zones de création jusqu'à des zones de destruction.

Le concept de l'expansion des fonds océaniques et l'hypothèse antérieure de la dérive des continents forment désormais un seul ensemble homogène appelé la tectonique des plaques.

La lithosphère, qui est l'enveloppe externe de la Terre, est constituée d'une douzaine de plaques rigides qui se déplacent les unes par rapport aux autres.

Une nouvelle lithosphère se forme le long des dorsales médio-océaniques par suite de la montée et du refroidissement de magmas issus des profondeurs de notre Globe. La "vieille" lithosphère disparaît dans le manteau le long de structures que l'on nomme zone du subduction (fig. 3).

La subduction n'explique pas seulement le devenir de la "vieille" lithosphère, mais elle rend compte aussi des forces qui façonnent la surface terrestre. La plupart des volcans et des tremblements de terre sont associés aux mouvements descendants des plaques lithosphériques.

La figure 4 est une carte tectonique du Globe représentant les principales plaques lithosphériques et la direction générale de leurs mouvements (flèches).

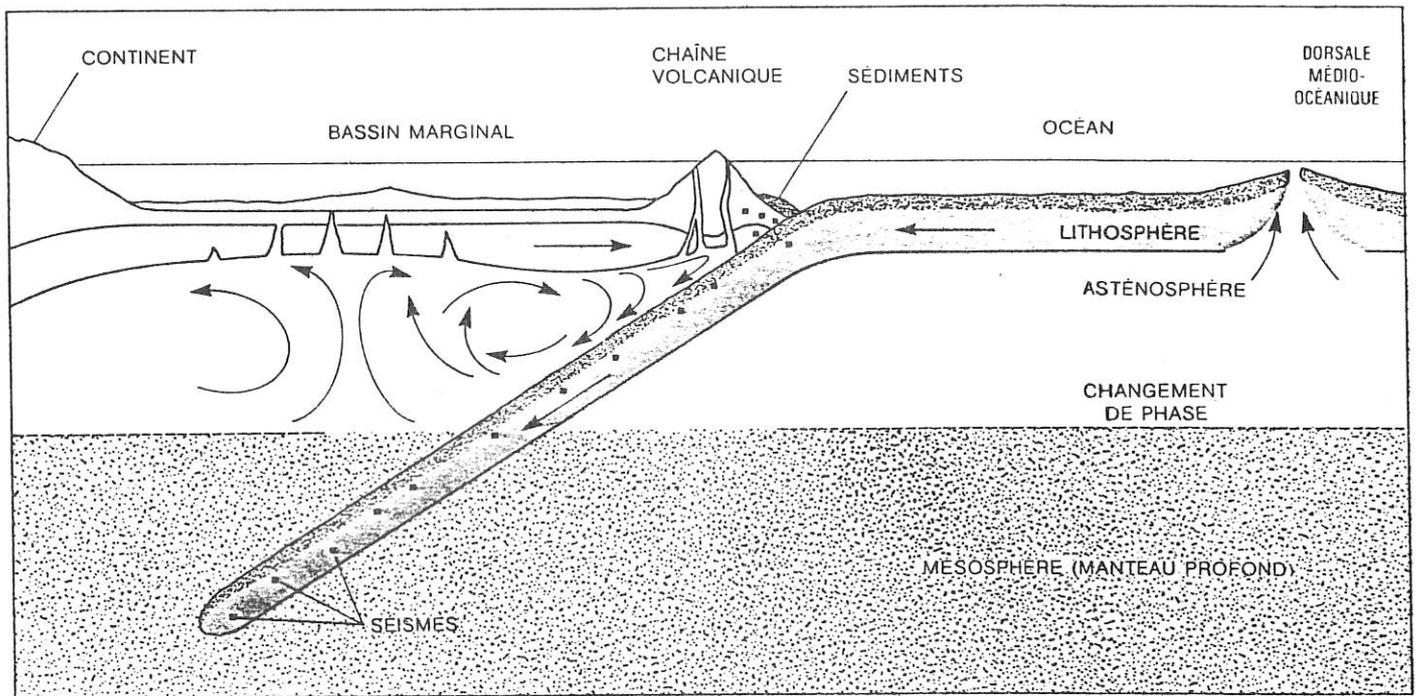


Fig. 3.- La formation et la subduction de la lithosphère sont représentées sur cette coupe synthétique de la croûte et du manteau supérieur terrestres. La lithosphère se forme le long des dorsales médio-océaniques. Là où les plaques lithosphériques plongent dans le manteau, des fosses océaniques se creusent. Des séismes (petits carrés) se produisent essentiellement dans toute la partie supérieure des plaques descendantes. Les flèches situées dans l'asthénosphère indiquent la direction des mouvements convectifs possibles. Des mouvements convectifs secondaires peuvent provoquer la formation de petits centres d'expansion sous les bassins marginaux.

On remarquera sur ce schéma que la chaîne volcanique est située sur le plateau continental qui prolonge le continent tout en en faisant partie.

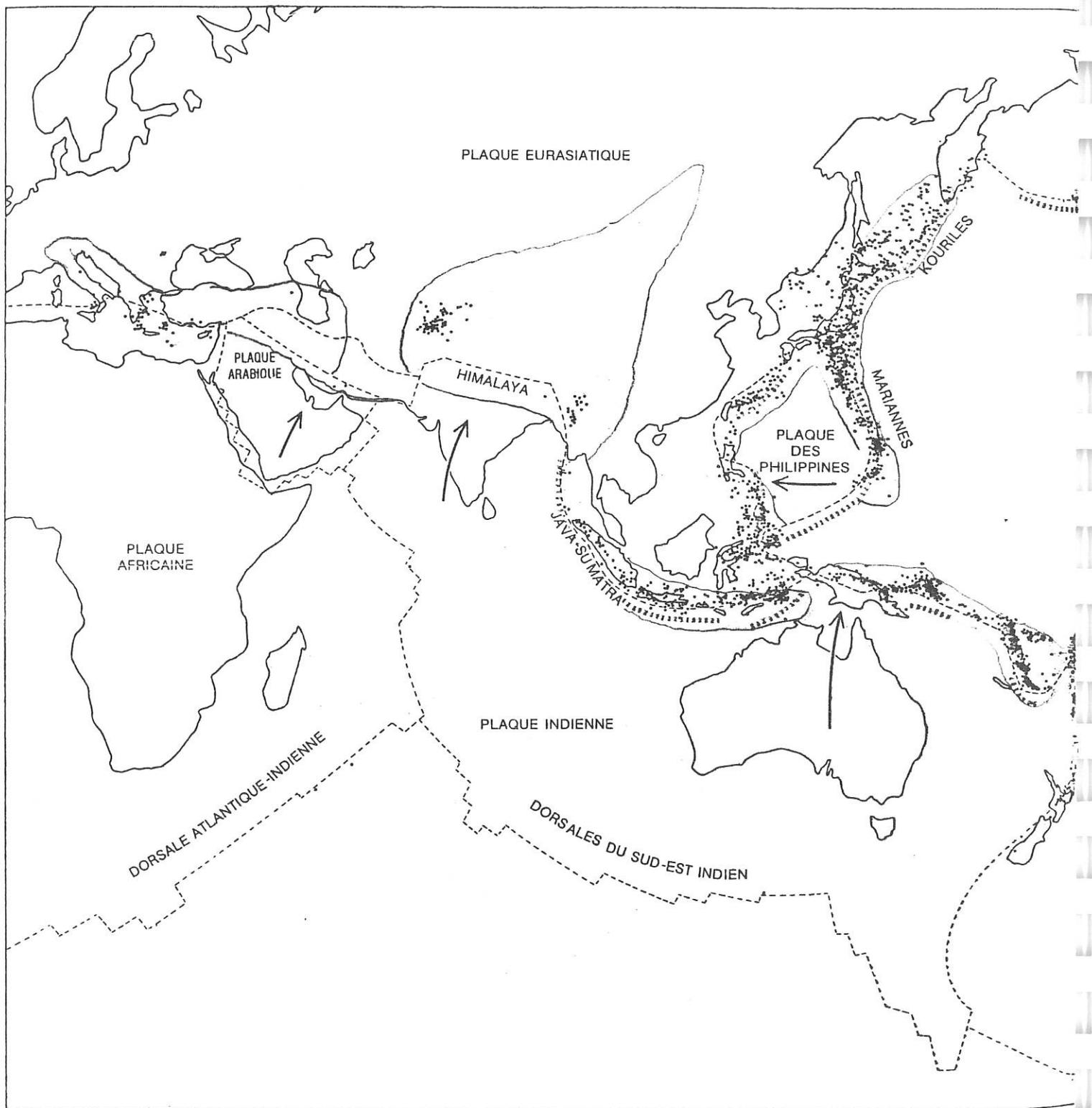
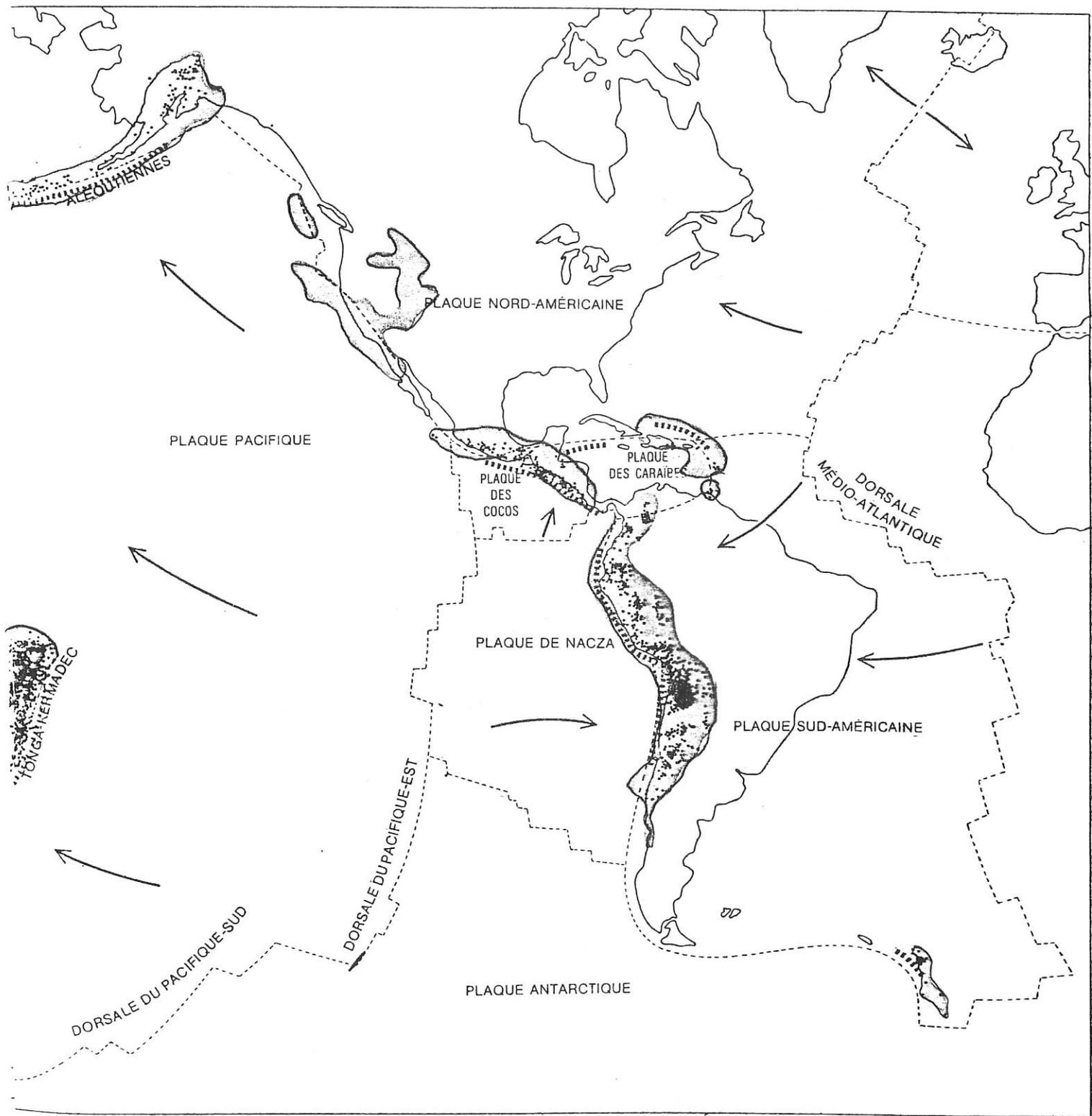


Fig. 4.- Carte tec



tonique du Globe

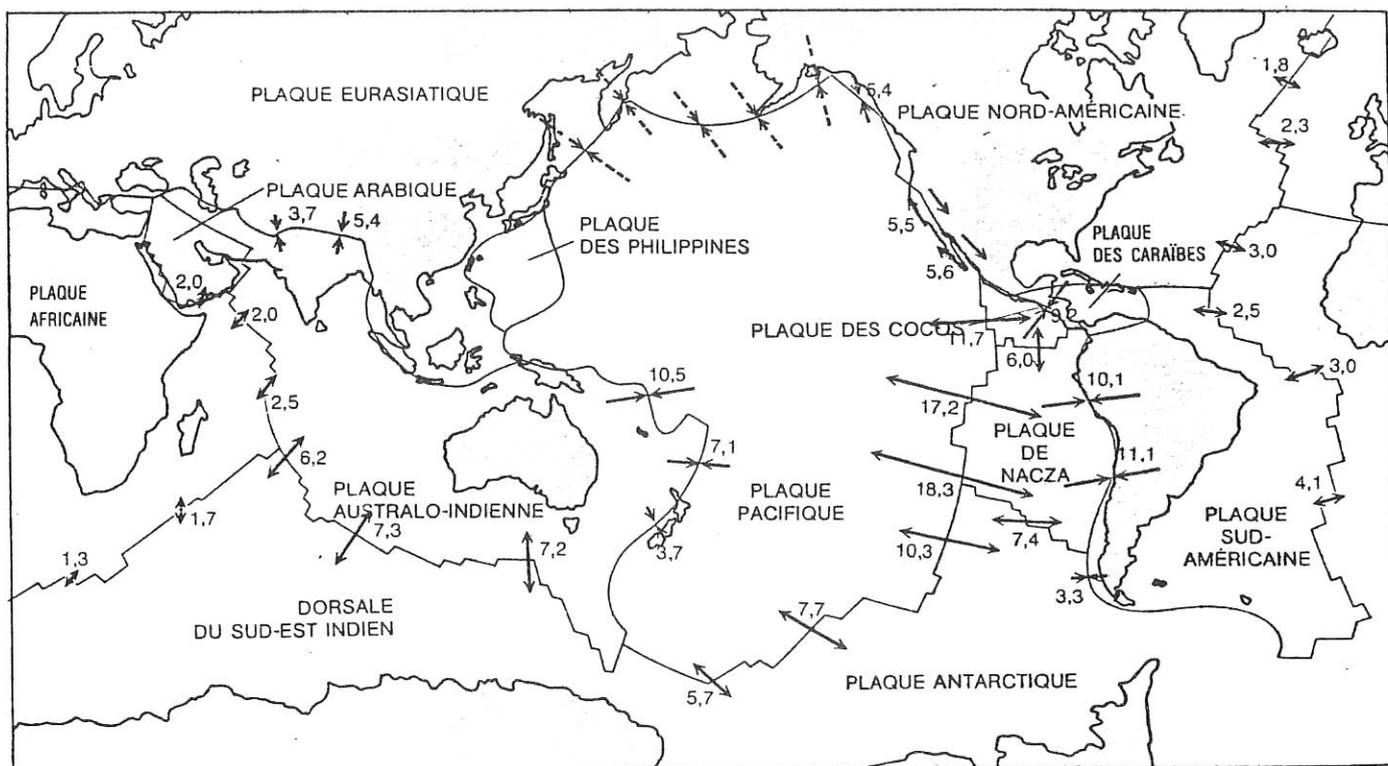


Fig. 5.- Existence d'une convection à grande échelle.

La figure 5 montre d'une façon plus précise l'existence d'une convection à grande échelle, attestée par les mouvements relatifs des plaques lithosphériques.

Le long des dorsales médio-océaniques qui courent sur quelque 65 000 km à travers l'Atlantique, le Pacifique et l'Océan Indien, des roches fondues montent des profondeurs du manteau et s'incorporent aux plaques existantes. Après avoir parcouru des milliers de kilomètres, les plaques disparaissent dans le manteau le long de zones dites de subduction qui coïncident avec les grandes fosses océaniques.

Les flèches divergentes indiquent les lignes d'expansion de l'écorce terrestre : les dorsales océaniques.

Les flèches convergentes jalonnent les zones de rapprochement entre plaques : les zones de subduction.

Les chiffres indiquent les vitesses relatives en centimètres par an. Les plaques les plus rapides sont la plaque austro-indienne, la plaque Pacifique et la plaque de Nacza.

Les plaques peuvent aussi glisser l'une contre l'autre, par exemple le long de la faille de San Andreas (en Californie)

ou le long de la faille anatolienne (en Turquie).

Donc :

- dorsale : écartement de deux plaques,
- subduction : glissement d'une plaque sous une autre,
- courants de conduction très importants qui créent des panaches qui sont à l'origine des points chauds.

#### Les points chauds.-

Le volcanisme qui n'est pas associé aux frontières des plaques représente moins de un pour cent de l'ensemble du volcanisme. Ce sont précisément ces volcans, isolés au milieu des plaques lithosphériques rigides et à l'écart de tout centre d'activité sismique, que les géologues appellent des points chauds.

L'origine des points chauds doit être recherchée dans le manteau. Ils seraient la manifestation de surface des "panaches", colonnes ascendantes de matériaux chauds très visqueux, enracinés sous l'asthénosphère dans une zone de changement de phase enfouie à plusieurs centaines de kilomètres dans le manteau.

Le nombre des points chauds (fig. 6) serait au moins de 122 pour tout le globe. Il s'agit des points chauds actifs au cours des dix derniers millions d'années.

Au fur et à mesure de l'ouverture du Pacifique au niveau d'une dorsale, on constate que les panaches ne bougent pas. On peut donc retracer à partir de volcans anciens le déplacement de la plaque par rapport au Panache.

La figure 7 représente les archipels intra-océaniques du Pacifique. Ce sont des traces laissées par les mouvements du plancher océanique au dessus de certains points chauds. Les îles de l'archipel hawaïen sont de plus en plus anciennes au fur et à mesure qu'on s'éloigne d'Hawaï vers le Nord-Ouest.

La figure 8 indique la position des dorsales dans l'Atlantique Nord et dans l'Océan Arctique. Elle montre que le centre d'expansion océanique a changé il y a 50 à 60 millions d'années. La dorsale initiale se situait au milieu de la baie de Baffin à l'Ouest du Groenland. Un point chaud, maintenant éteint, a laissé des traces de ce mouvement.

La figure 9 est un dessin du phénomène de subduction. On y voit la fusion partielle du manteau primitif dans un panache ascendant.

Il y a donc création de la dorsale. Les deux plaques s'écartent, la pression lithostatique diminue, le magma a tendance à remonter, le continent se déplace petit à petit pour glisser sous un autre plancher

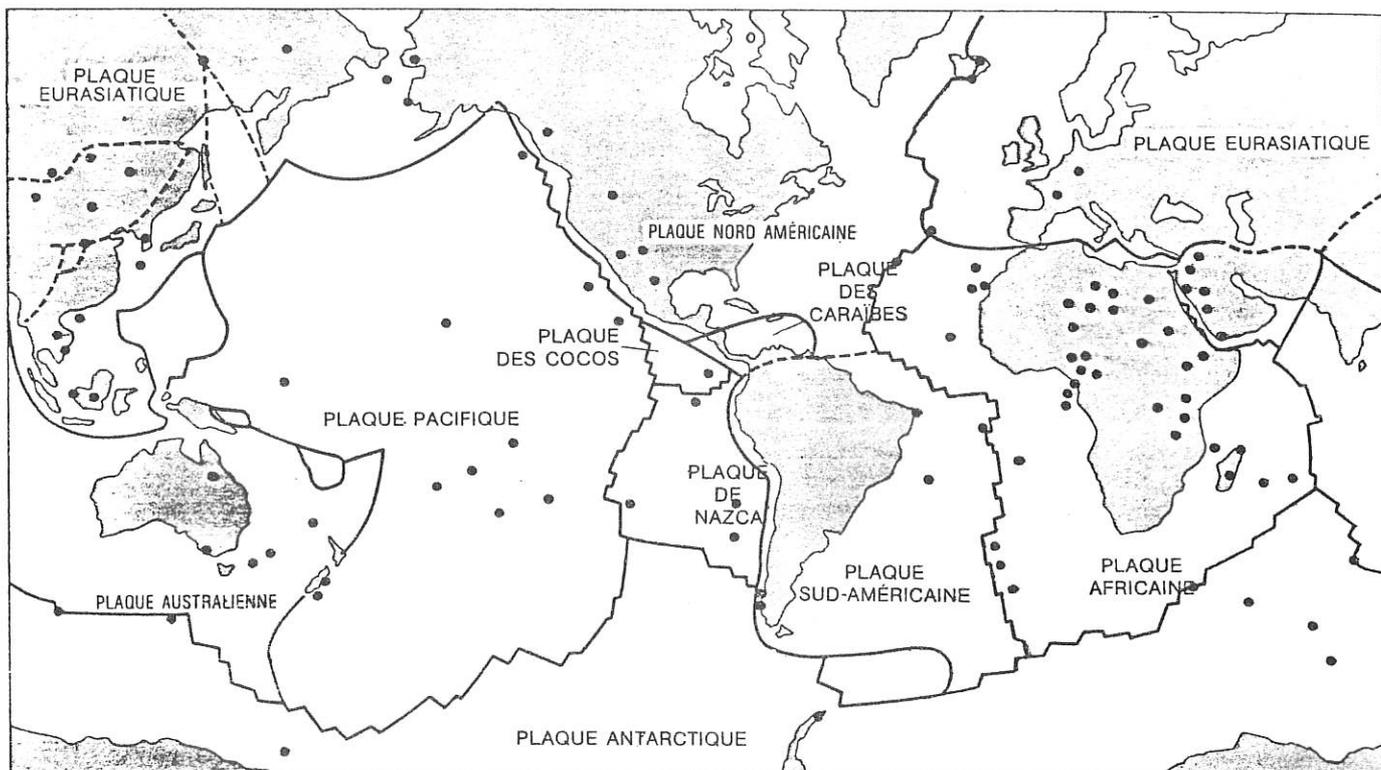


Fig. 6.- Les POINTS CHAUDS. On en trouve sur toutes les plaques principales, tant sur les continents que dans les océans. Leur répartition est cependant très irrégulière : ils se concentrent le long des dorsales médio-océaniques (en particulier dans l'Atlantique) et surtout en Afrique. Cette plaque compte 43 points chauds. Cette prolifération, jointe à d'autres données géologiques, tend à confirmer que l'Afrique est immobile au-dessus de l'asthénosphère. Si l'on prend l'Afrique comme point de référence, on s'aperçoit alors que d'autres plaques qui se déplacent lentement, portent, elles aussi, de nombreux points chauds ; c'est le cas de l'Antarctique et de la plaque du Sud-Est Asiatique. En revanche, les points chauds sont rares sur les plaques qui bougent rapidement.

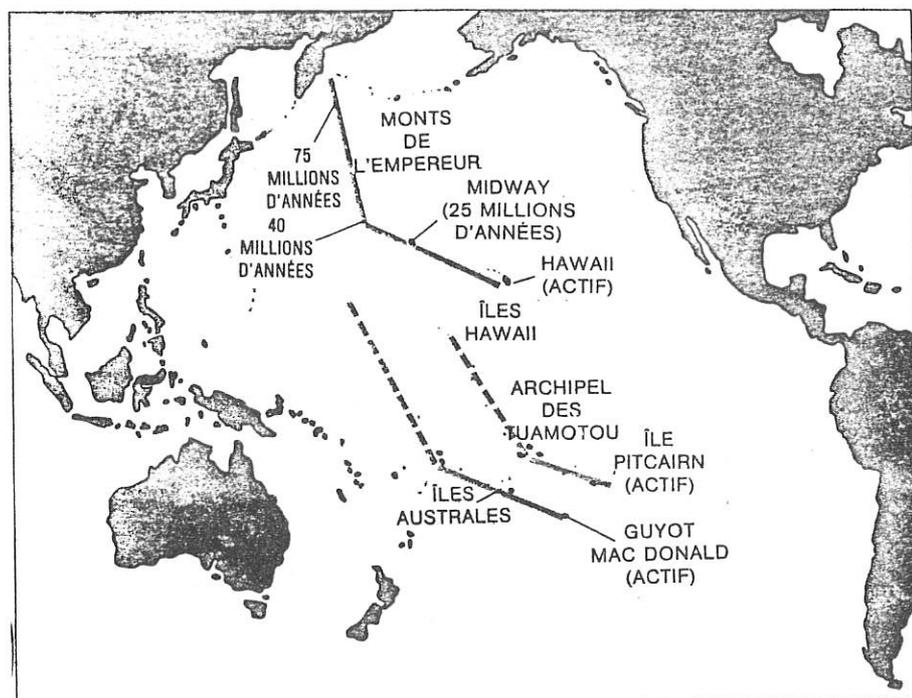


Fig. 7

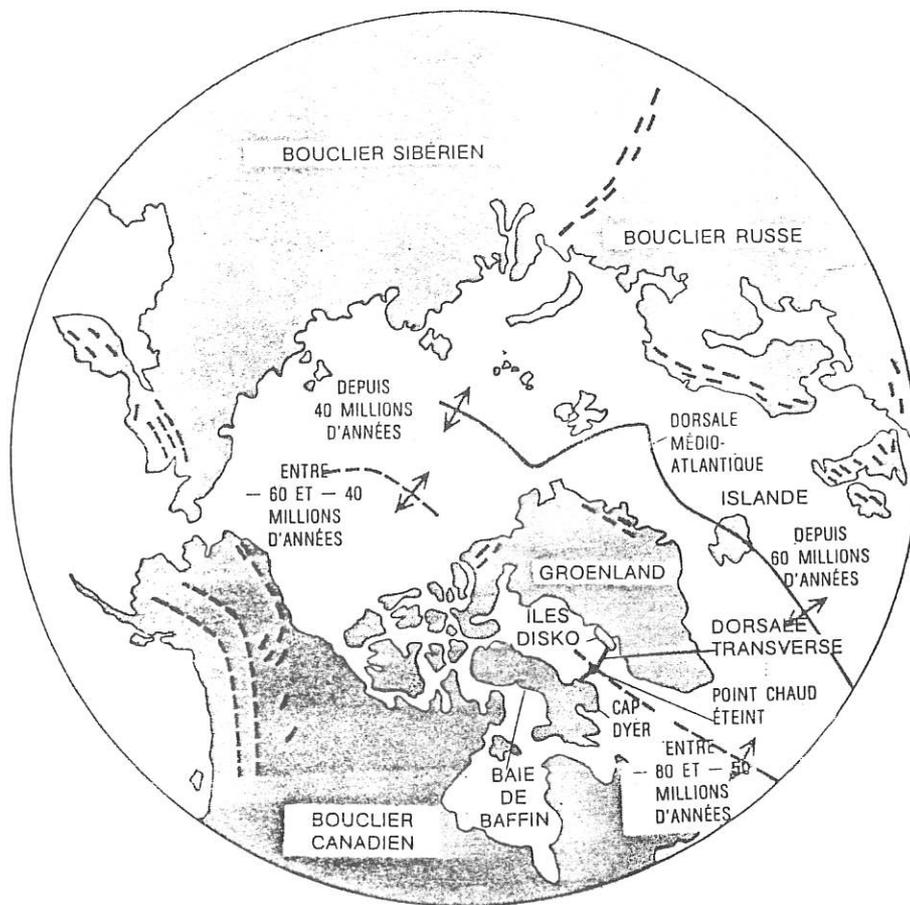


Fig. 8.- Position des dorsales

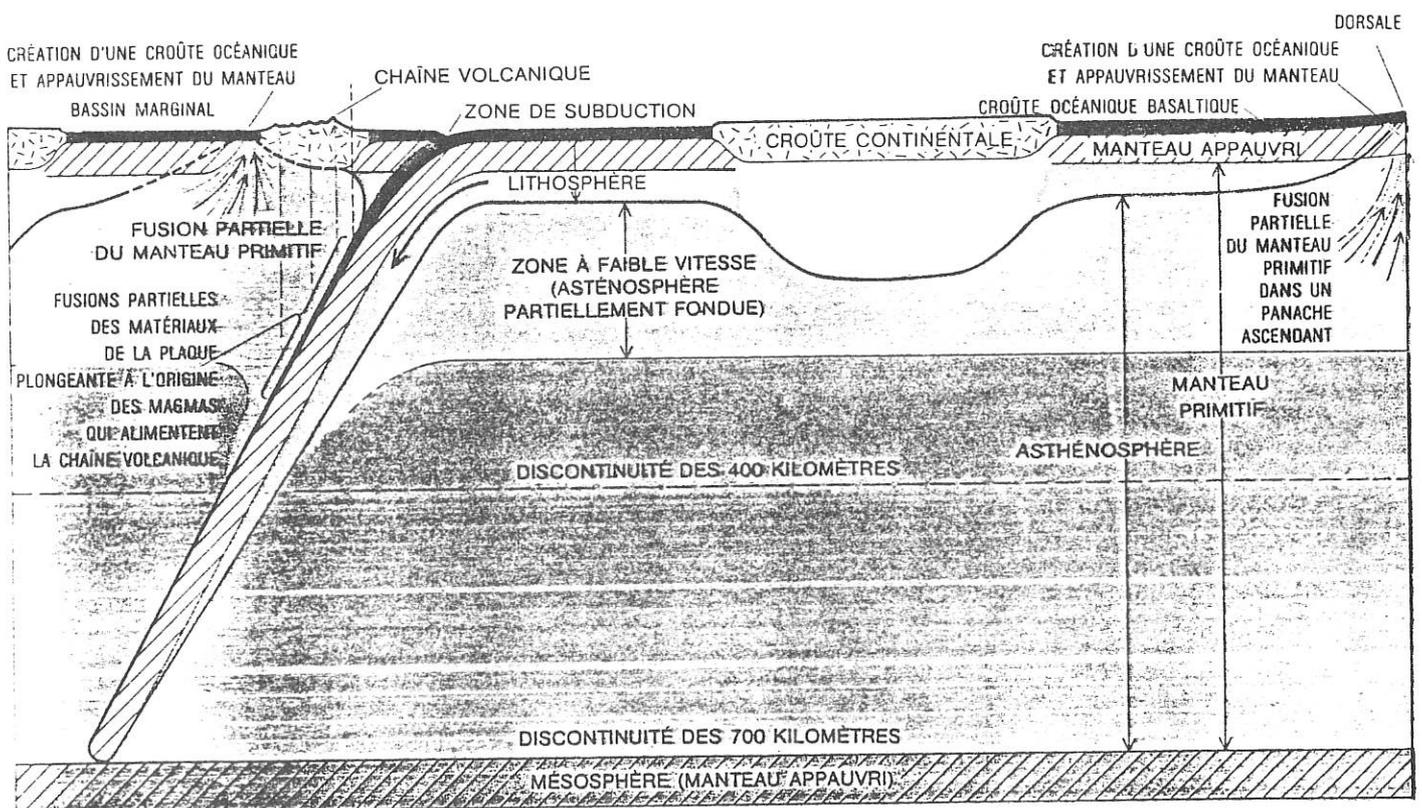


Fig. 9.- Plaqué lithosphérique

océanique, et ainsi remettre en profondeur une partie des matériaux qu'il vient de créer.

La figure 10 montre les tremblements de terre sous l'arc des Aléoutiennes (points noirs) marquant la présence d'une zone de subduction où disparaît la plaque Pacifique.

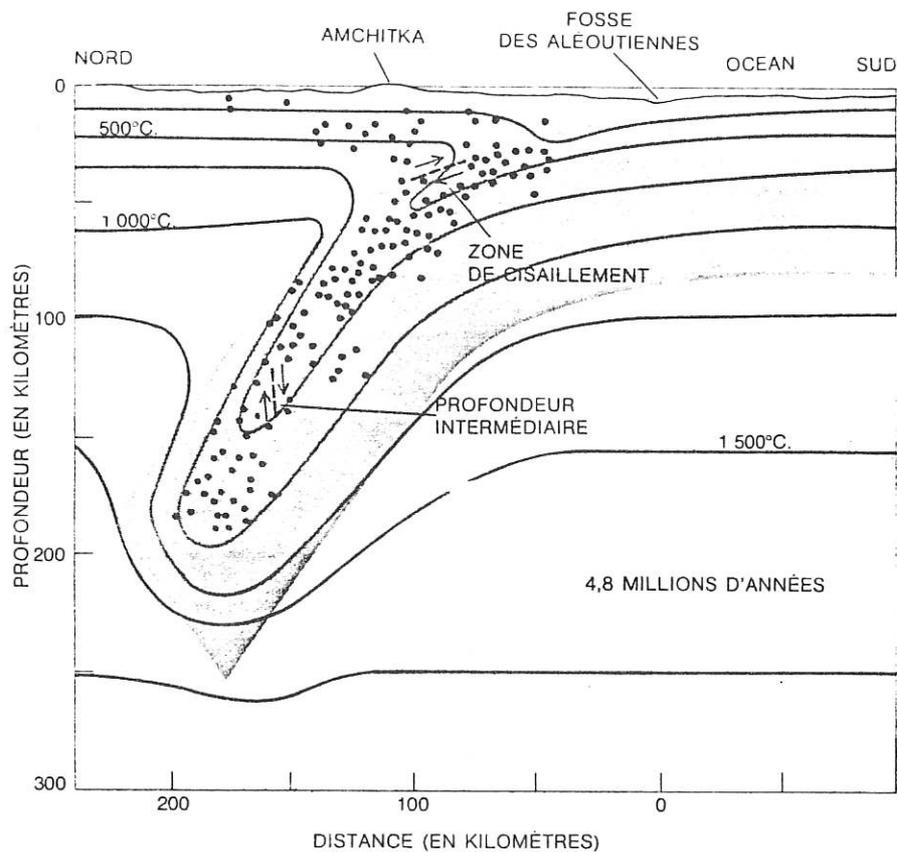


Fig. 10.- Tremblements de Terre sous l'arc des Aléoutiennes.

La figure 11 explique les anomalies gravimétriques provoquées par la subduction d'une plaque lithosphérique.

Lorsqu'une plaque océanique glisse sous une autre plaque océanique, il se forme un arc insulaire (les Antilles).

Lorsqu'un continent vient heurter une plaque océanique, il se crée une cordillère.

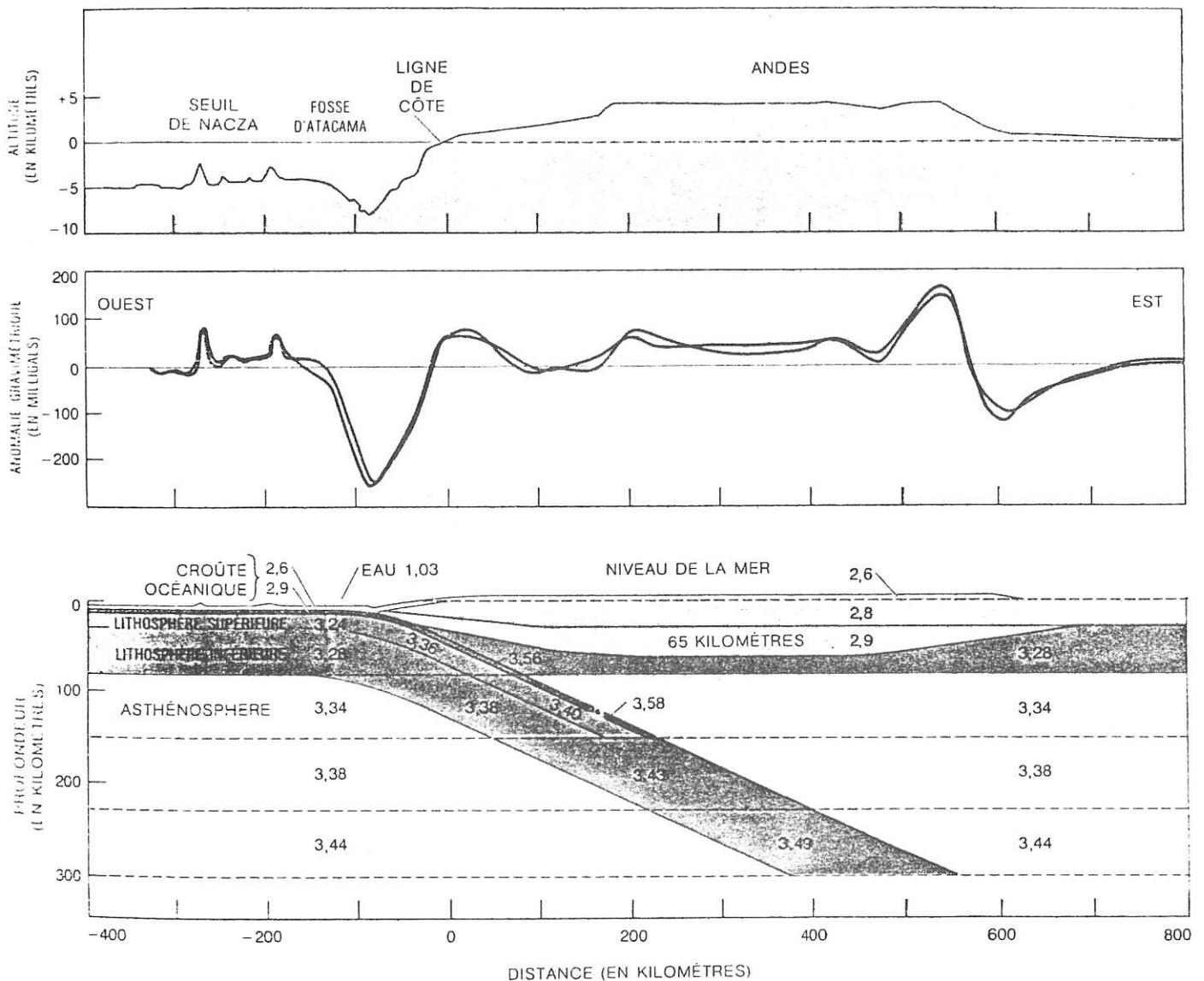


Fig. 11.- LES ANOMALIES GRAVIMÉTRIQUES provoquées par la subduction d'une plaque lithosphérique sont particulièrement visibles sur cette coupe de la fosse d'Atacama (à l'Ouest du Chili) et des Andes. Le diagramme du haut indique la topographie de la région. Les anomalies gravimétriques observées sont indiquées sur le diagramme du milieu, de même que l'anomalie théorique calculée grâce au modèle lithosphérique présenté dans le diagramme du bas. Ces anomalies sont exprimées en milligals. Le gal vaut un 980<sup>e</sup> de la gravité normale à la surface de la Terre ; ainsi, l'anomalie de - 260 milligals, repérée à l'aplomb de la fosse océanique, correspond à un déficit gravimétrique d'environ 0,026 pour cent. Le modèle comporte une fosse qui donne naissance à une anomalie négative et une plaque froide et dense dont la subduction crée une anomalie positive. Les densités des différents éléments du modèle sont indiquées en gramme par centimètre cube.

## II.- PRODUITS DE L'ERUPTION.-

La photo 12 est une vue d'ensemble du cratère de l'Erta'Alé en Ethiopie qui mesure environ 3 km dans le sens de la longueur.

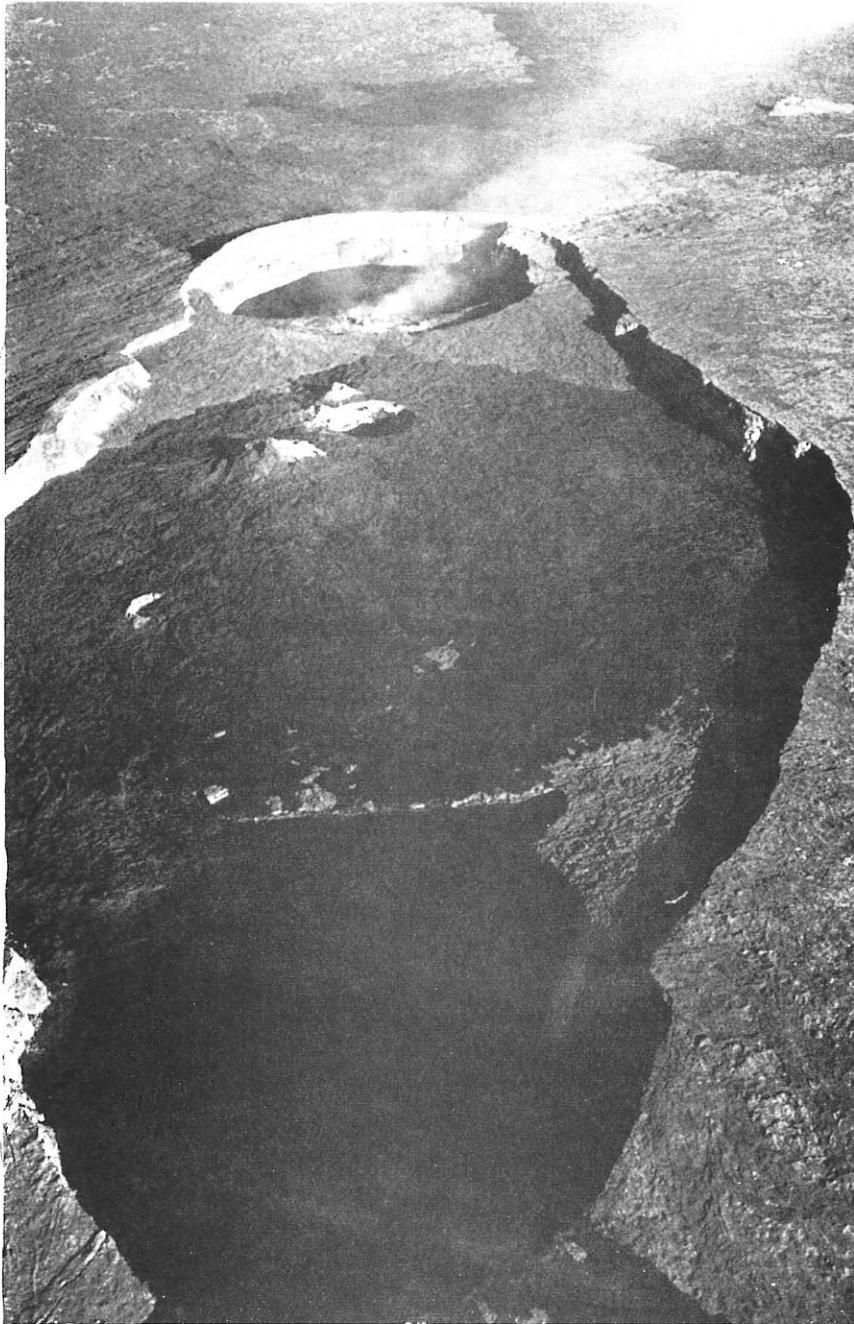


Photo 12

L'effondrement septentrional le plus actif est occupé par des laves très fraîches. Il recèle depuis 1967 un étang de lave d'une centaine de mètres de diamètre.

Les magmas : Ce sont des mélanges de silicates et d'alumino-silicates fondus dans lesquels se trouvent, en proportions variables, des cristaux et, surtout, dissous ou combinés, divers composés volatils.

L'essentiel des modalités éruptives résulte des interréactions mécaniques entre le magma, plus ou moins visqueux, et les éléments volatils, dont la teneur, la concentration, la pression et la composition chimique sont les paramètres principaux. Ils ont un rôle moteur fondamental.

Les développements récents de la pétrologie montrent que, pour expliquer la très grande variété de composition des produits du volcanisme, il faut invoquer des mécanismes selon lesquels les magmas changent progressivement de composition.

- Les basaltes sont de loin les roches volcaniques les plus répandues à la surface de la Terre. Ils se rencontrent aussi bien sur les continents qu'au fond des océans, mais on est amené à distinguer deux types de magma basaltique :

- . les tholéiites, saturées, nettement siliceuses, et,
- . les basaltes alcalins sous-saturées, riches en olivine.

Les tholéiites évoluent vers les andésites et les rhyolites, les basaltes alcalins vers les trachytes et les phonolites.

Monsieur DELORME nous a montré toute une série de diapositives sur des volcans d'Islande, d'Hawaï, d'Italie, de La Réunion.

- Les projections et les laves édifient souvent un cône autour de leur point d'émission (fig. 13).

On distingue les cônes de projections, les cônes de laves et les cônes mixtes. Les cônes de projections ont un dessin bien tranché. Leur pente, d'un bout à l'autre, est une ligne droite admirable.

La surface est très lisse, la forme générale très régulière. L'altitude est faible : en général, moins de 500 mètres (Islande).

- Les îles Hawaï sont formées par des coulées de basaltes totalisant un volume qui dépasse 100 000 km<sup>3</sup>.

Dans le cratère du Kilauea, de 5 km de diamètre, les laves bouillonnent d'une façon continue, jaillissent en fontaines incandescentes et s'écoulent en cascades de feu. Il n'y a pas de projections solides et les gaz, sous faible pression, s'échappent aisément de ces laves très fluides. Le cratère du Kilauea culmine à 1235 m et celui du Mauna Loa à 4194 m. L'aspect extérieur des volcans hawaïens est celui d'un cône très surbaissé (volcans dits en boucliers).

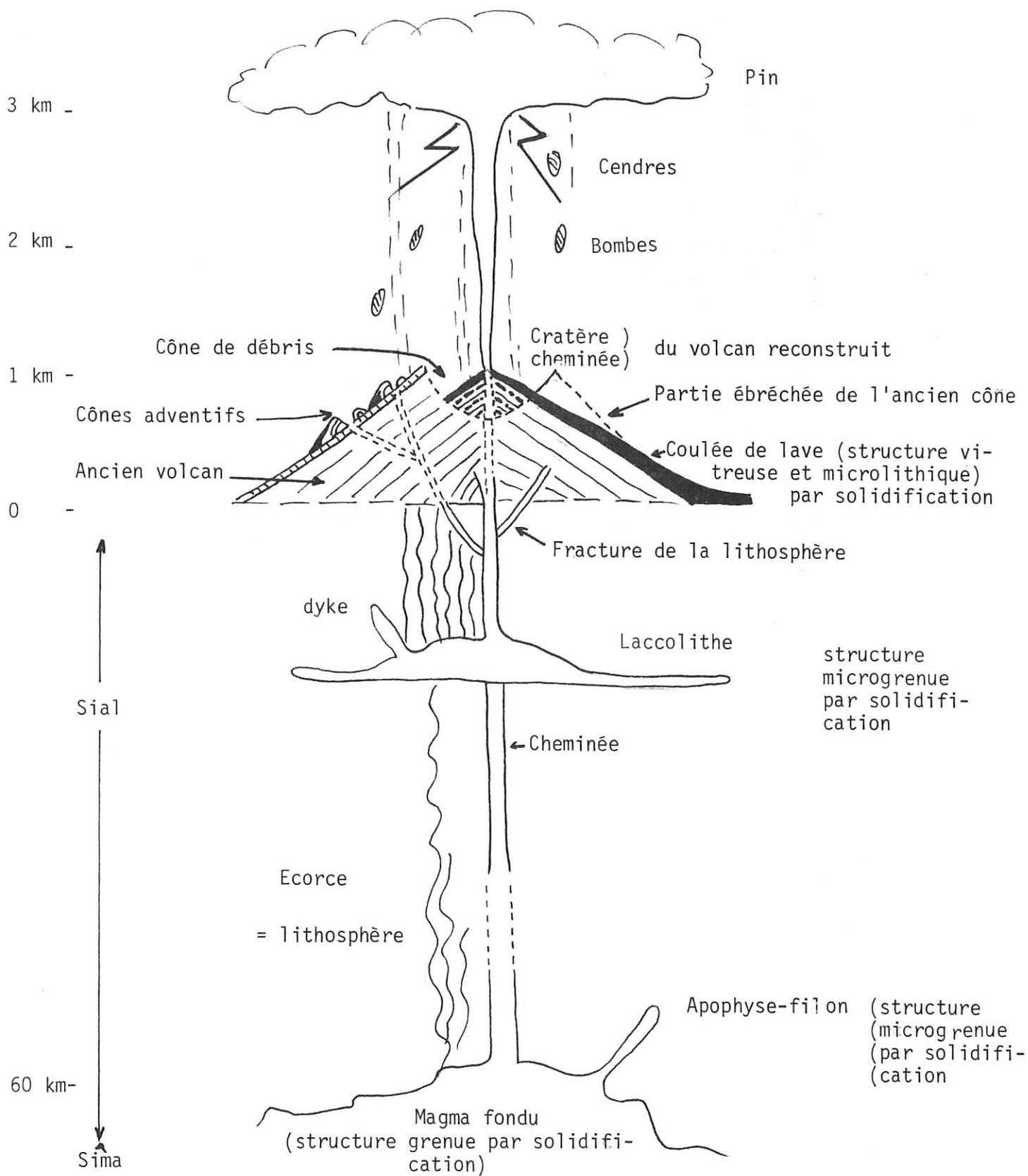


Fig. 13.- Coupe verticale d'un volcan  
type Vésuve  
Dessin de Marcel Sire

- La photo 14 nous montre des pillow-lavas à Acicastello en Sicile.

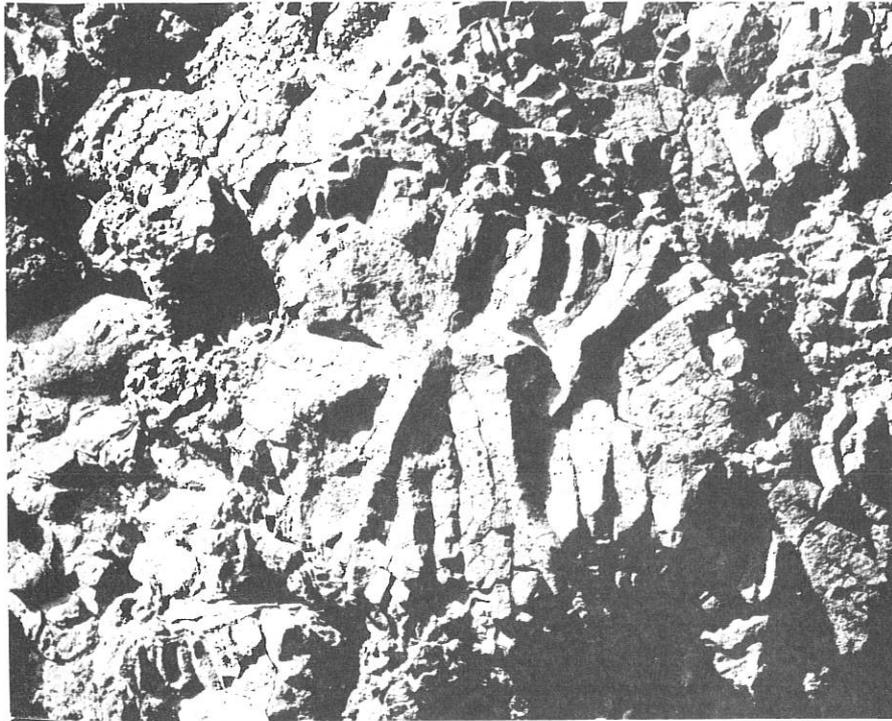


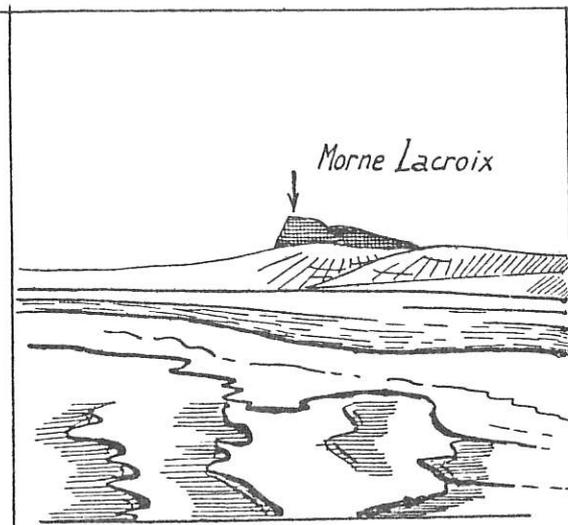
Photo 14.- Pillow-lavas, laves épanchées sous l'eau.

Le débit en coussins ne peut se rencontrer que dans des coulées sous-marines, sous-lacustres ou sous-glaciaires. Les affleurements ressemblent à des sacs de farine empilés et moulés les uns sur les autres.

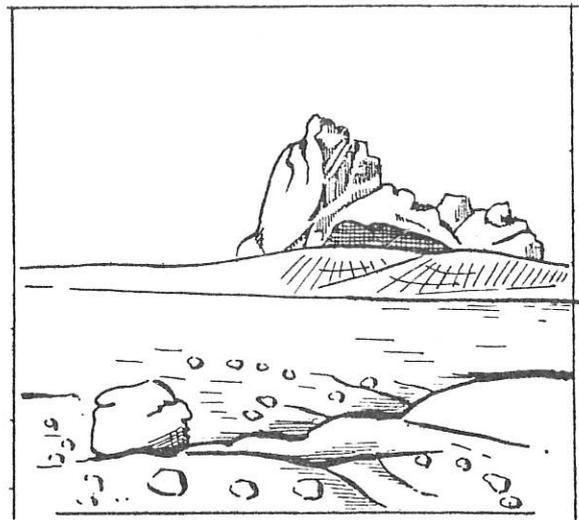
Lorsque la lave entre en contact avec l'eau, sa partie superficielle se fige en une carapace vitreuse qui est ensuite déchirée pour permettre à la lave fluide et chaude, d'origine plus profonde, de s'épancher à la surface ; le dos de la coulée se recouvre alors de protubérances de lave qui glissent sur les pentes, prennent la forme de coussins et s'accumulent sur le pourtour de l'épanchement ; le remplissage des interstices entre les coussins se fait plus tard.

La figure 15 correspond à l'éruption de la Montagne Pelée (1902) ; la lave était tellement visqueuse qu'elle s'est élevée comme une aiguille au-dessus du volcan.

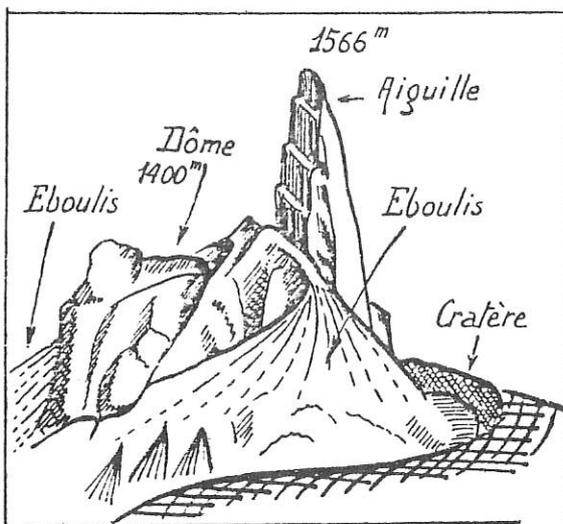
Monsieur DELORME nous montre, sur une diapositive, une fissure en Islande où est installé un extensiomètre pour mesurer les écartements des failles.



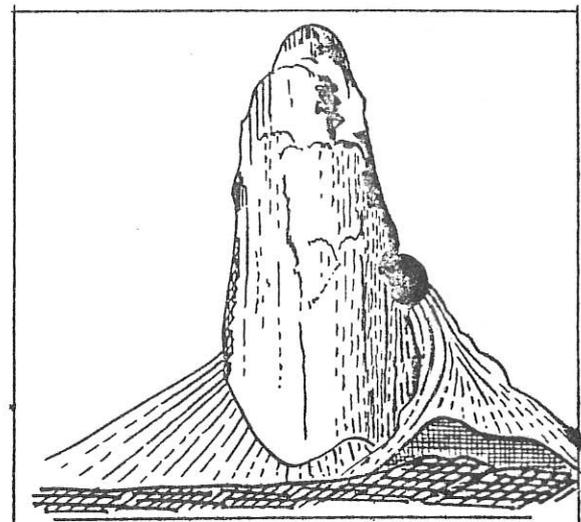
Le Morne Lacroix vu du Lac des Palmistes - 15 Octobre 1902



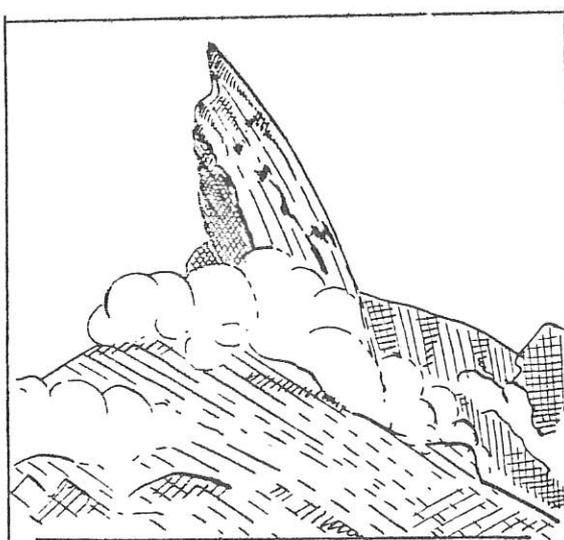
Le dôme, derrière le Morne Lacroix, vu du Lac des Palmistes, le 8 Novembre 1902



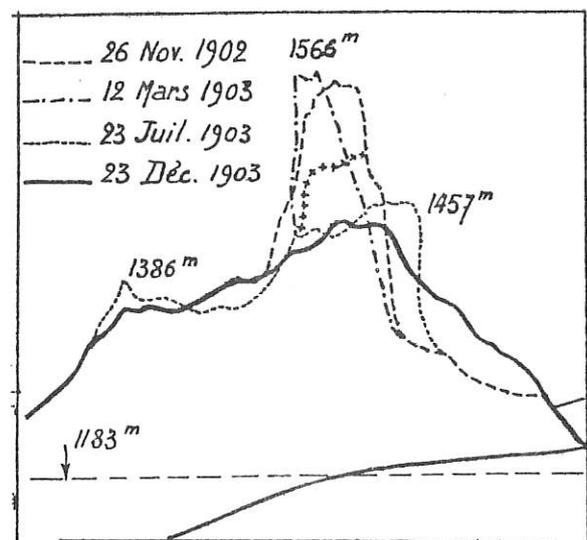
Le Cratère Central - 12 Mars 1903



L'Aiguille - Côté Nord - Mars 1903



L'Aiguille - Côté Sud - Mars 1903



Variations de l'Aiguille en 1902-1903

## La prévision.-

Les volcanologues et les géophysiciens essaient de prévoir l'évolution des crises volcaniques par différentes méthodes :

- la sismographie : elle reste une technique fondamentale de recherche qui permet de déceler les plus faibles frémissements du sol et de connaître le foyer et l'intensité des tremblements de terre. Le principe de fonctionnement d'un sismographe est des plus simples : une masse suspendue au bout d'un fil ou d'un ressort tend à rester immobile lorsque le support qui le fixe au sol tremble sous l'action des ondes sismiques.

Un système enregistreur, solidaire du sol, est disposé sous la masse inerte qui, elle, est équipée d'une plume et de son alimentation en encre. Les tremblements de terre sont ainsi inscrits sur le papier du rouleau enregistreur qui vibre tandis que la plume reste immobile.

- la clinométrie, au moyen d'instruments appelés clinomètres, permet de mesurer les modifications de l'inclinaison du sol.

- l'analyse des gaz (photo 16) fait partie des éléments importants de la surveillance volcanique (température, vitesse de sortie, débit, composition, pression).

- l'analyse du magma ou des poussières volcaniques est également pratiquée.

- la gravimétrie est utilisée pour déterminer le degré de pesanteur qui dépend du niveau du sol et de la densité du matériau du sous-sol.

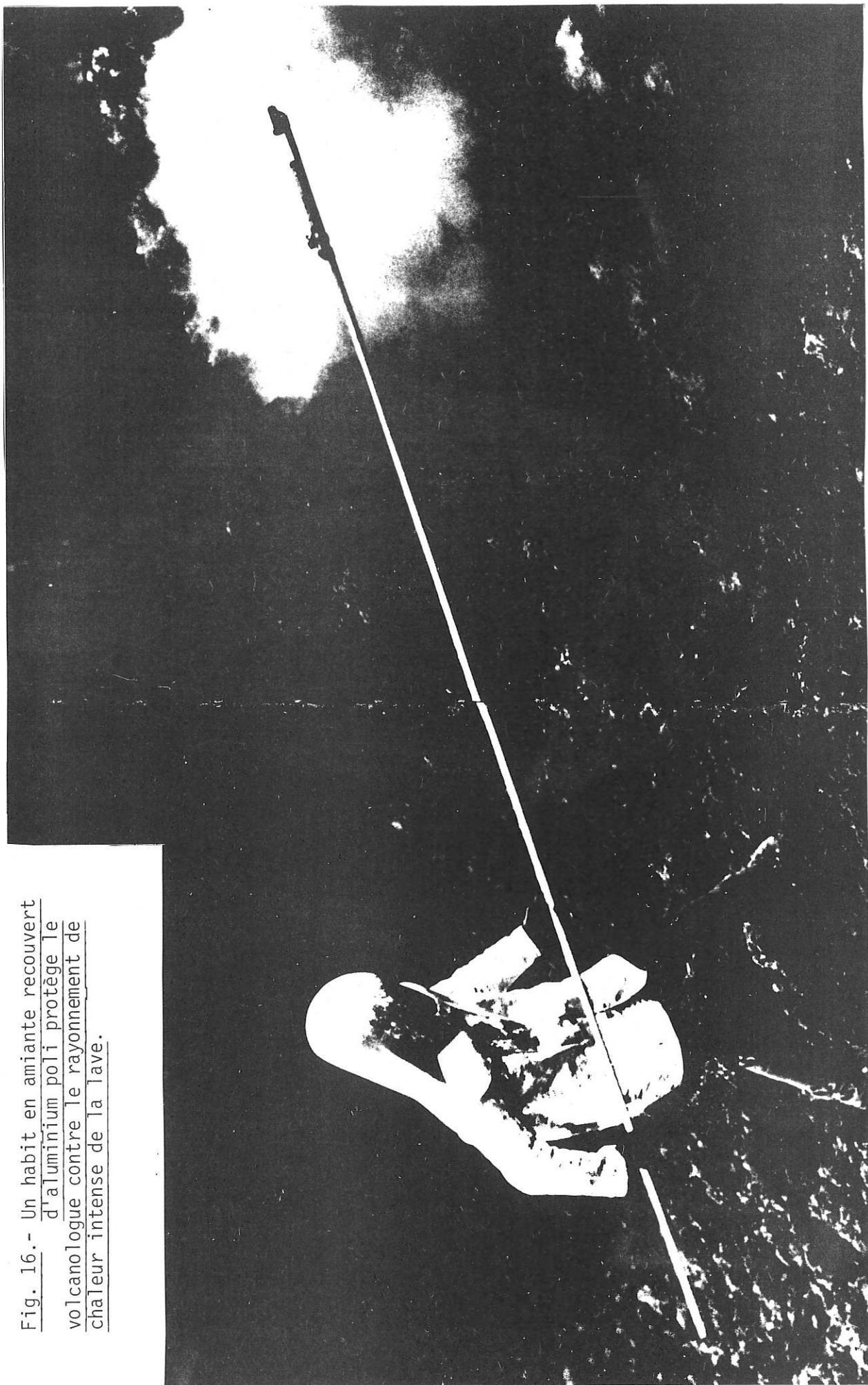
- la magnétométrie permet de mesurer le champ magnétique terrestre en un point donné. Il est fonction des contraintes exercées dans le sol et peut donc varier durant une période de crise volcanique.

- la photographie infra-rouge, enfin, est de plus en plus utilisée pour détecter la formation de points chauds sous la croûte terrestre. Ceux-ci réchauffent la surface même du sol, ce qu'un film infra-rouge enregistre parfaitement.

La photo 17 nous montre des dépôts de "sublimés" précipités à partir des gaz sur les lèvres de l'évent qui les exhale. Il s'agit de sels divers, essentiellement des chlorures et des sulfates (Etna).

La photo 18 montre un volcanologue prélevant un échantillon de lave au pied occidental de la Bocca nord-est (Etna).

Fig. 16.- Un habit en amiante recouvert  
d'aluminium poli protège le  
volcanologue contre le rayonnement de  
chaleur intense de la lave.



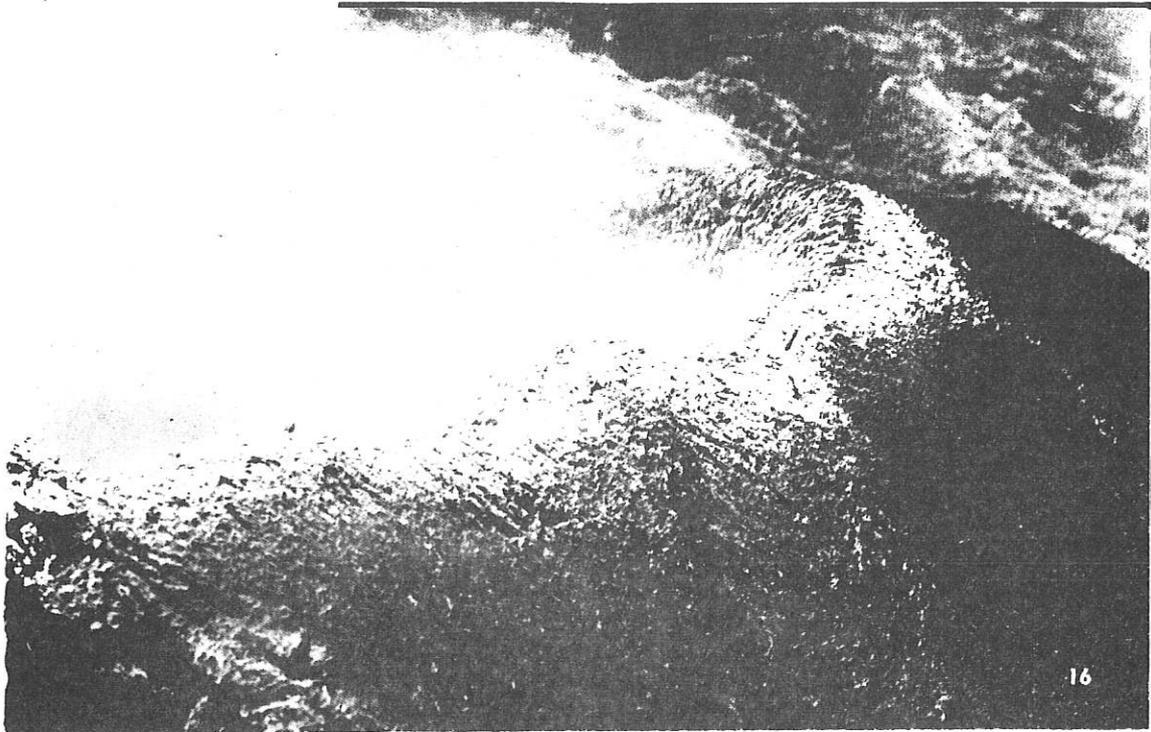


Fig. 17.



Fig. 18.

La photo 19 montre des maisons enfouies sous les cendres. En bas, 300 maisons sont écrasées par une coulée de lave, d'autres sont ensevelies sous les cendres. Au fond, le mur de lave, amas de blocs avance inexorablement.

La photo 20 est celle du Dôme de dacite de Novarupta. Cette coupole est la forme que prend une coulée de lave de viscosité tellement élevée qu'elle ne peut s'épancher et s'accumule au-dessus de la bouche qui l'a émise (le Puy de Dôme a été engendré de la sorte).

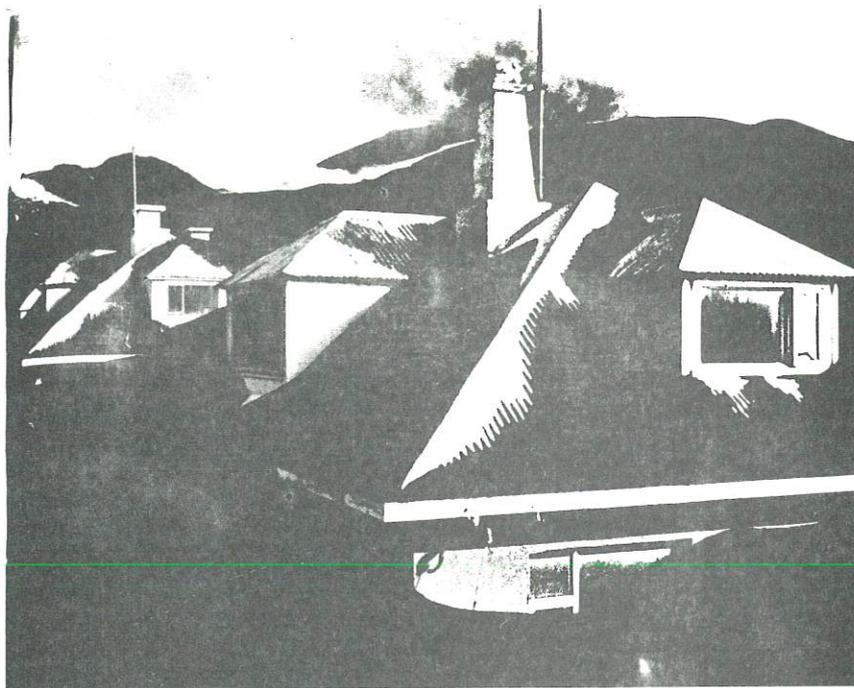


Photo 19



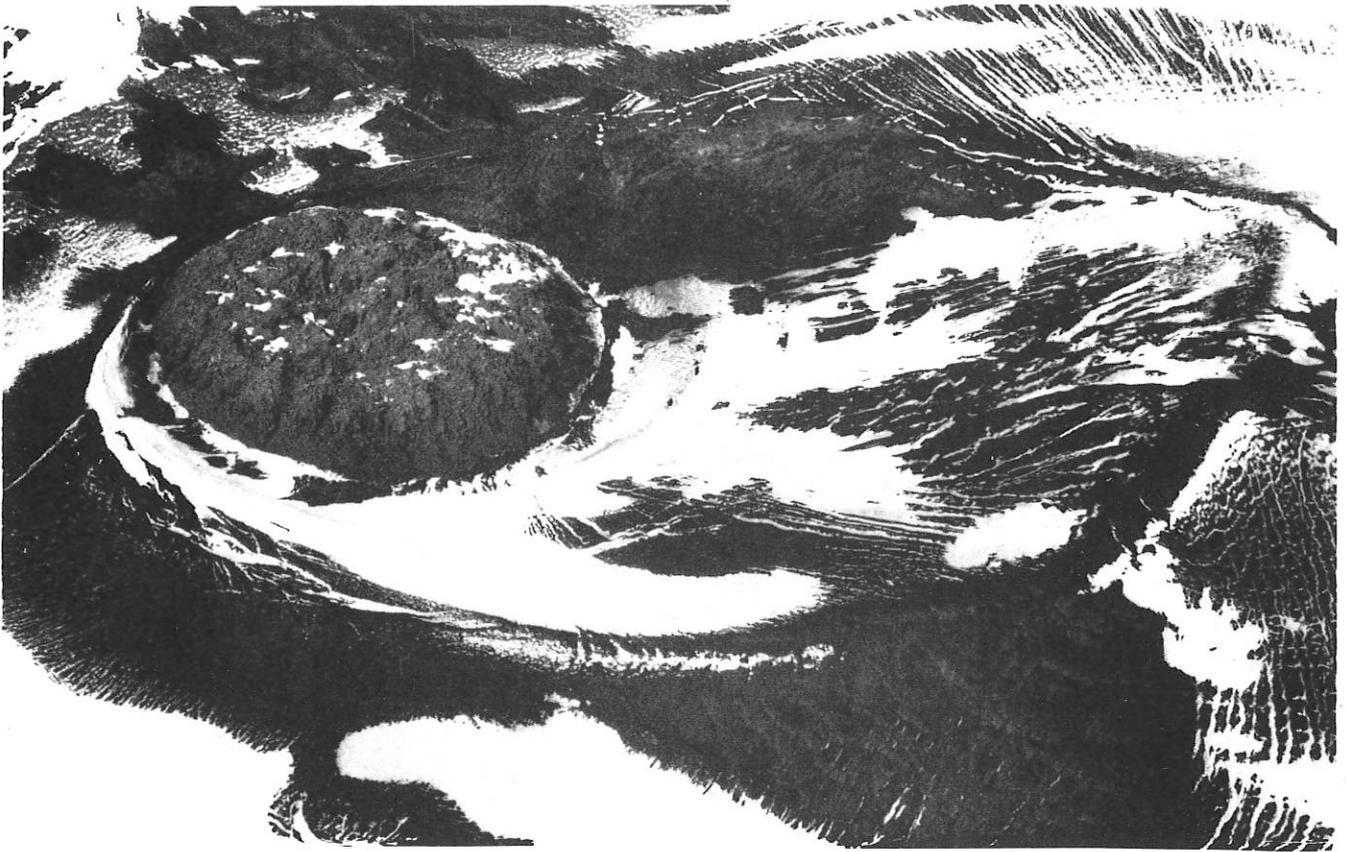


Photo 20

## ANNEXE

### SYNTHESE.-

Le volcanisme ne peut exister que dans les régions où l'écorce terrestre est soumise à des efforts divergents car, ni les failles de compression, ni celles de cisaillement, dont les lèvres opposées se trouvent en contact, ne pourraient livrer passage aux épais liquides magmatiques.

Les zones de tension sont de deux types principaux :

- dans le premier, la lithosphère est soulevée par des bourrelets du manteau supérieur en voussures allongées, dont l'axe faillé et effondré constitue la limite des plaques tectoniques à partir de laquelle s'opère la génèse des fonds océaniques : c'est essentiellement la très longue zone des rifts subocéaniques et de leurs appendices intercontinentaux.
- le second type est lié à l'affrontement entre plaques tectoniques et se situe à l'arrière du front le long duquel deux plaques soit coulissent, soit se chevauchent, et où, obligatoirement, règnent des compressions incompatibles : ces zones sont les arcs tectoniques, tels ceux qui forment le "cercle de feu" du Pacifique ou celui des Antilles. L'importance de ce second genre de volcanisme est plus apparente que réelle car il s'agit d'un volcanisme principalement subaérien, donc très "présent" pour l'homme, et de plus, fortement explosif, donc redoutable, alors que le volcanisme du premier type, bien que fondamental, est effusif, peu violent et essentiellement sous-marin.

Un volcanisme différent des deux précédents existe sur les plates-formes continentales. Il s'agit d'un volcanisme fissural (Dekkan, Tibesti, par exemple) ou d'un volcanisme d'appareils complexes (Massif Central en France), qui se développerait selon certaines zones de faiblesse de la croûte.

Un dernier groupe est celui des "points chauds".

