



HAL
open science

Rapport national sur les travaux français exécutés de 1971 à 1974

Georges Laclavère, Gilbert Weill

► **To cite this version:**

Georges Laclavère, Gilbert Weill. Rapport national sur les travaux français exécutés de 1971 à 1974. Comité national français de géodésie et géophysique. 1975. hal-04787050

HAL Id: hal-04787050

<https://hal.science/hal-04787050v1>

Submitted on 16 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

COMITÉ NATIONAL FRANÇAIS DE GÉODÉSIE ET GÉOPHYSIQUE

RAPPORT NATIONAL SUR LES TRAVAUX FRANÇAIS EXÉCUTÉS DE 1971 A 1974

Etabli à l'occasion de la XVI^e Assemblée Générale
de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale
publié par le Secrétaire Général Adjoint

Gilbert M. WEILL

Au Secrétariat Général du Comité Français
136 bis, rue de Grenelle, PARIS 75700 – Téléphone : 551.66.62

RAPPORT NATIONAL
SUR LES TRAVAUX FRANÇAIS
EXÉCUTÉS DE 1971 A 1974

COMITÉ NATIONAL FRANÇAIS DE GÉODÉSIE ET GÉOPHYSIQUE

RAPPORT NATIONAL SUR LES TRAVAUX FRANÇAIS EXÉCUTÉS DE 1971 A 1974

Établi à l'occasion de la XVI^e Assemblée Générale
de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale
publié par le Secrétaire Général Adjoint

Gilbert M. WEILL

Au Secrétariat Général du Comité Français
136 bis, rue de Grenelle, PARIS 75700 – Téléphone : 551.66.62

COMITE NATIONAL FRANCAIS DE GEODESIE ET GEOPHYSIQUE

Bureaux du Comité et de ses Sections

COMITE NATIONAL

Ancien Président	: J. COULOMB	Secrétaire Général : A. COUZY
Président	: G. LACLAVERE	Ministère de la Qualité de la Vie,
Vice-Présidents	: J. GOGUEL	Secrétariat Général du Haut Comité de
	A. LEBEAU	l'Environnement.
Trésorier	: R. SCHLICH	14, boulevard du Général Leclerc
Secrét. Gén. Adjoint	: G. WEILL	92200 Neuilly-sur-Seine
		Téléphone 758. 12. 12

SECTION DE GEODESIE

Président	: J.J. LEVALLOIS	Secrétaire : H.M. DUFOUR
Vice-Président	: R. GROUSSON	Institut Géographique National.
		2, avenue Pasteur
		94160 Saint-Mandé
		Téléphone : 328. 66. 80

SECTION DE SISMOLOGIE ET DE PHYSIQUE DE L'INTERIEUR DE LA TERRE

Président	: P. BERNARD	Secrétaire : J. AUBRAT
Vice-Président	: P. MECHLER	Office de la Recherche Scientifique
Secrétaire adjoint	: L. MARTEL	et Technique Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.).
		24, rue Bayard
		75008 Paris
		Téléphone : 225. 31. 52

SECTION DE VOLCANOLOGIE ET DE CHIMIE DE L'INTERIEUR DE LA TERRE

Président	: J. GOGUEL	Secrétaire : M. GIROD
Vice-Présidents	: A. ROCHE	Université des Sciences et Techniques
	P. VINCENT	du Languedoc,
		Centre géologique et géophysique.
		place Eugène-Bataillon
		34060 Montpellier Cédex
		Téléphone : (67) 63. 49. 83

SECTION DE GEOMAGNETISME ET D'AERONOMIE

Président	: M. PETIT	Secrétaire : J. BARAT
Vice-Président	: P.N. MAYAUD	Service d'aéronomie du Centre National de la Recherche Scientifique.
Secrétaire adjoint	: M. PREVOT	B.P. 3
		91370 Verrières-le-Buisson
		Téléphone 920. 10. 60.

SECTION DE METEOROLOGIE ET DE PHYSIQUE DE L'ATMOSPHERE

Président	: J. BESSEMOULIN	Secrétaire : P.Y. TURPIN
Vice-Président	: G. SOULAGE	Université Pierre-et-Marie-Curie
		Laboratoire de physique des aérosols
		4, place Jussieu - Tour 25
		75230 Paris Cédex 05
		Téléphone : 336. 25. 25

SECTION DES SCIENCES HYDROLOGIQUES

Président	: L. SERRA	Secrétaire : M. ROCHE
Vice-Présidents	: J. JACQUET	Office de la Recherche Scientifique
	J. AVIAS	et Technique Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.)
		19, rue Eugène Carrière
		75018 PARIS
		Téléphone : 076. 37. 89

SECTION DES SCIENCES PHYSIQUES DE L'OCEAN

Président	: H. LACOMBE	Secrétaire : J. BOURGOIN
Vice-Présidents	: L. DANGEARD	Service Hydrographique et Océano-
	M. EYRIES	graphique de la Marine.
		3, avenue Octave-Gérard
		75200 Paris Naval
		Téléphone : 260. 33. 30

COMITE DE GEODYNAMIQUE

Président	: G. JOBERT	Institut de Physique du Globe
		Université Paris VI
		4, place jussieu, Paris 75230

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION	9
SECTION I – Géodésie	11
SECTION II – Séismologie et physique de l'intérieur de la terre	49
SECTION III – Volcanologie et chimie de l'intérieur de la terre	81
SECTION IV – Géomagnétisme et aéronomie	99
SECTION V – Météorologie et physique de l'atmosphère	141
SECTION VI – Sciences hydrologiques	171
SECTION VII – Sciences physiques de l'océan	193
COMITE DE GEODYNAMIQUE	233

INTRODUCTION

Le Comité National Français de Géodésie et de Géophysique est heureux de présenter dans ce volume un compte rendu des activités françaises pendant les années 1971 à 1974. Par rapport aux comptes rendus antérieurs, il comporte une innovation importante : faisant suite aux rapports de chacune des sept sections du Comité National, une huitième partie concerne le domaine multidisciplinaire de la Géodynamique et décrit la participation française aux programmes internationaux mis en œuvre par la Commission Inter-Unions de Géodynamique.

Ce compte rendu est une œuvre collective à laquelle ont contribué 97 auteurs, les bureaux des sept sections du Comité National de Géodésie et de Géophysique et celui du Comité National de Géodynamique. Il sera présenté à l'occasion de la XVI^e Assemblée Générale de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale en Août et Septembre 1975 (Grenoble).

Les articles ont été groupés par sections, elles mêmes classées selon le nouvel ordre adopté par le bureau de l'Union. Chacun des huit rapports a été imprimé en tirages à part, qui seront diffusés lors de l'Assemblée de l'Association ou du Comité International correspondant. Des tirages à part supplémentaires pourront être obtenus auprès des Secrétaires de Section ou du Comité. Le rapport complet sera diffusé lors de l'Assemblée Générale de l'Union ; les exemplaires supplémentaires devront être demandés au Secrétaire Général du Comité National.

La bibliographie des travaux dans chaque domaine de spécialité se trouve à la fin de l'article correspondant ou bien à la fin du rapport de la section. Les auteurs ont souvent cherché à établir des listes bibliographiques complètes plutôt que de ne donner que les références des travaux explicitement cités dans le texte des articles.

Nous espérons que le lecteur voudra bien excuser les hétérogénéités de style et les imperfections plus ou moins inévitables dans ce type d'ouvrage collectif, et qu'il y trouvera une utile source de documentation avec des exposés de synthèse qui contribueront à décrire l'apport français aux connaissances nouvelles en Géodésie et Géophysique à la date de la XVI^{ème} Assemblée Générale.

Que les bureaux des sections et les nombreux auteurs qui ont apporté leur concours à ce rapport quadriennal en soient ici remerciés. Nous remercions particulièrement P. N. MAYAUD pour son assistance lors de la mise au point de l'ensemble du manuscrit.

G. LACLAVERE
Président du Comité National
Français de Géodésie et Géophysique

G. WEILL
Secrétaire Général Adjoint
du Comité, Editeur

SECTION I
GÉODÉSIE

TABLE DES MATIERES

	Pages
I – Travaux Géodésiques de l'Institut Géographique National (H.M. DUFOUR)	13 3
II – Carte gravimétrique détaillée de la France (R. BOLLO & A. GERARD)	17 7
III – Etude des marées terrestres (R. LECOLAZET)	20 10
IV – Travaux sur le géoïde (J.J. LEVALLOIS)	22 12
V – Télémétrie laser Terre-Lune (J. KOVALEVSKY)	26 16
VI – ISAGEX et campagnes d'observation (J. KOVALEVSKY)	27 17
VII – Mouvement des satellites artificiels (J. KOVALEVSKY)	29 19
VIII – Observations Doppler de satellites Transit pour l'étude du mouvement du pôle – (Mme N. CAPITAINE, Mlle M. FEISSEL, Mme L. SAINT-CRIT)	31 21
IX – Détermination globale du champ de Potentiel Terrestre (M. LEFEBVRE)	34 24
X – Bibliographie complémentaire	36 26
Comptes rendus d'activité d'organismes internationaux :	38 28
Rapport du Bureau International de l'Heure, par B. GUINOT	39 29
Activité du Bureau Gravimétrique International, par Mlle CORON	43 33
La mesure absolue de la pesanteur, par A. SAKUMA	46 36

I – TRAVAUX GEODESIQUES DE L'INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL

H.M. DUFOUR

Institut Géographique National
2, Avenue Pasteur
94160 – St-Mande

Au cours des années 1970 à 1974, l'Institut Géographique National a exécuté ses travaux de vocation en triangulation, nivellement et astronomie, en territoire métropolitain et outre-mer, mais a également développé son activité dans d'autres domaines : campagne pour la détermination des variations de l'écorce terrestre (territoire français des Afars et Issas), géodésie spatiale, détermination du géoïde européen, intervention dans la définition précise des banques de données françaises, programmes de calcul électronique.

TRIANGULATION [I.G.N. 1971, 72, 73, 74]

En France, la triangulation de 76 feuilles au 1/50 000 (2^e, 3^e et 4^e ordre) a été réalisée dans les régions suivantes :

- 1971 : Quercy (12), Vanoise (5)
- 1972 : Perche (11), Sèvre Nantaise (5), Briançonnais (6)
- 1973 : Mayenne (8), Lorraine (5)
- 1974 : Bretagne (7), Meuse (10,5), Maures-Esterel (6,5)

A ces travaux s'ajoutent diverses missions dans des territoires étrangers, notamment :

au Maroc, la mise à l'échelle du réseau a été réalisée par la mesure au géodimètre de 11 triangles de 1^{er} ordre, répartis sur tout le territoire (1973) ; par ailleurs, ont été déterminés 8 points de 1^{er} ordre (région de Nador) en 1973, et 23 points en 1974 (Rabat, El Jadida).
en Nouvelle-Calédonie : quatre missions ont permis la triangulation de détail de 7 000 km².

NIVELLEMENT

A la suite de la compensation du réseau de 1^{er} ordre de nivellement, les réseaux de détail ont été repris dans diverses régions : au total, 11 600 km de 2^e ordre et 3^e ordre, 7 400 km de 4^e ordre.

La comparaison des nivellements ancien (LALLEMAND) et nouveau a permis notamment de déceler une surrection des régions alpines (LEVALLOIS et MAILLARD, 1972 – LEVALLOIS 1972b).

ASTRONOMIE

Les mesures de déviations de la verticale ont été complétées par 42 stations dans l'Est, 12 stations en Corse, 21 stations dans les Pyrénées ; 2 azimuts de Laplace ont été mesurés dans le Nord (traverse Malvern-Graz).

MESURES PRECISES DE LA STABILITE DE L'ECORCE TERRESTRE

En 1972, 4 profils de nivellement ont été mesurés dans le Puy-de-Dôme (sur demande de l'Institut de Physique du Globe de Clermont-Ferrand), un autre en Alsace (sur demande de l'I.P.G. de Strasbourg).

Dans le territoire des Afars et des Issas (Côte de Somalis), une mission géodésique a établi en 1973 un réseau de triangulation et de nivellement de haute précision, pour une étude des mouvements tectoniques de la région (sur demande de l'I.P.G. de Paris : Recherche Coopérative sur Programme n° 180, programme de M. Haroun TAZIEFF). Voir figure 1 (CHABBERT, 1974 ; I.G.N., 1975).

GEODESIE SPATIALE

L'Institut Géographique, dans le cadre du G.R.G.S., s'est particulièrement occupé des déterminations géométriques par méthode de l'arc court (avec contraintes dues au champ de pesanteur, limité à J 2), appliquées aux méthodes optiques et Doppler.

Les problèmes de coordonnées des stations ont aussi retenu son attention (BRACHET & FONTAINE, 1972).

La réduction des observations optiques de l'opération Eurafrique a été poursuivie, permettant essentiellement d'atteindre les coordonnées de Dakar, Fort-Lamy, Le Caire, dans le système Europe 50 (DUFOR & FONTAINE, 1973).

Les méthodes Doppler sont actuellement en développement, à la suite de l'acquisition de 6 appareils du même modèle. Les programmes de calculs qui sont prévus à l'I.G.N. (Paris) et au G.R.G.S. (Toulouse) doivent permettre un traitement des observations en temps légèrement différé.

Un programme commun de traitement des mesures laser - photographie sur fond d'étoiles - Doppler a été mis au point et appliqué (FONTAINE, 1973).

PARTICIPATION AU RETRIG (Nouvelle Triangulation Européenne)

L'I.G.N. a participé à la réalisation de RETRIG I (compensation sans bases ni azimuts) et préparé la phase préliminaire de RETRIG II (compensation finale). Actuellement, une compensation générale du réseau français (845 points, avec 15 bases et 11 azimuts de Laplace) a été réalisée.

TRAVAUX THEORIQUES

Il convient de signaler spécialement la participation de l'Institut Géographique aux travaux de la Commission française de Géomatique. Le système de projection Lambert II a été adopté comme système unique pour les cartes à petite échelle et les cartes thématiques (DUFOR, 1973 d). Dans le même esprit de normalisation, divers documents permettant les transitions entre systèmes géodésiques et projections différentes ont été rédigés (DUFOR, 1971).

En théorie du potentiel, des études ont été poursuivies :

- pour la recherche théorique des structures internes (BURETTE, 1974),
- pour une définition précise du géoïde, supposant connues les masses extérieures à l'équipotentielle de référence (DUFOR, 1972 b),

TERRITOIRE FRANÇAIS DES AFARS ET DES ISSAS

RESEAU DE TRIANGULATION ET DE NIVELLEMENT

(Institut Géographique National 1973)

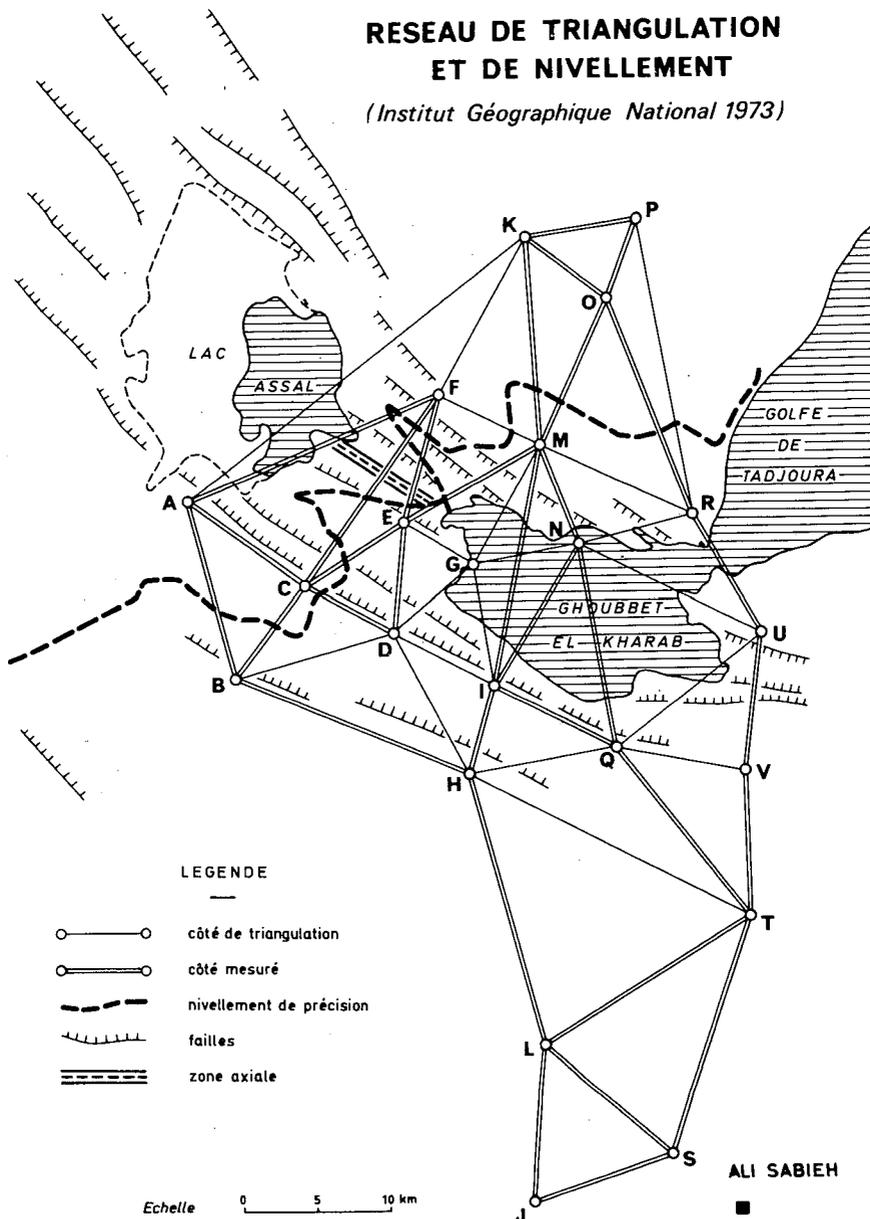


Fig. 2

— et sur les conditions de convergence, au niveau zéro, du développement du potentiel en harmoniques sphériques (LEVALLOIS, 1972 a).

Dans la résolution des systèmes linéaires, les recherches nouvelles sont axées vers l'utilisation des méthodes semi-itératives et les relations entre la convergence des systèmes symétriques et la disposition de leurs valeurs propres (DUFOUR, 1973 b, DUFOUR & BURETTE, 1974).

BRACHET G. & FONTAINE A. (1972). — Note sur les coordonnées géodésiques des stations de géodésie spatiale à San Fernando (Espagne).

BURETTE D. (1974). — Résolution des problèmes inverses — Recherche d'une loi de densité en fonction de la profondeur, d'après les anomalies gravimétriques aux U.S.A. (I.G.N./E.N.S.G.).

CHABBERT C. (1974). — Mesures géodésiques effectuées par l'I.G.N. (France) dans la dépression AFAR (Afrique orientale) Symposium de Zurich, Août 1974 — A paraître dans "Tectonophysics".

DUFOUR H.M. (1971). — Constantes d'ellipsoïdes N° 26.855/B, I.G.N./2, Février 1971.

La projection stéréographique de la sphère et de l'ellipsoïde N° 26.804 I.G.N./2, Novembre 1971.

DUFOUR H.M. (1972) G.R.G.S./I.G.N. — a) Formulaire de géodésie spatiale par photographie sur fond d'étoiles — Cas d'une caméra fixe — Exemple numérique N° 26.794 I.G.N./2, Avril 1972.

b) Approximation quadratique du potentiel réel par un potentiel harmonique à l'extérieur du géoïde. N° 26.791 I.G.N./2, Florence, Octobre 1972.

DUFOUR H.M. (1973). — a) Contrôle de la réduction de systèmes de moindres carrés indéterminés N° 26.784 I.G.N./2 — Mars 1973.

b) Propriétés des systèmes linéaires symétriques déduites de leur forme spectrale. Symposium d'Oxford, Septembre 1973 — N° 26.781 I.G.N./2. *Bolletino di Geodesia & Scienze Affini* n° 4 — 1974.

c) Essai sur l'élimination automatique des observations aberrantes dans un calcul par moindres carrés N° 26.776 I.G.N./2 — Novembre 1973.

d) Rôle de la géodésie dans l'élaboration des banques de données géodésiques françaises. *Bulletin d'information de l'I.G.N.* n° 24 — Décembre 1973.

DUFOUR H.M. & BURETTE D. (1974). — Présentation synthétique des méthodes semi-itératives de résolution des systèmes linéaires. *Bulletin géodésique* n° 113 — Septembre 1974.

DUFOUR H.M. & FONTAINE A. (G.R.G.S./I.G.N.) (1973). — Evolution des calculs de géodésie spatiale géométrique à l'I.G.N. Note G.R.G.S./I.G.N. — Avril 1973.

FONTAINE A. (1971). — a) Compensation Açores 1970 N° 26.822 I.G.N./2 — Juillet 1971.

b) Calcul d'une campagne d'observations photographiques d'un satellite artificiel U.G.G.I., Moscou — Août 1971.

c) Formes et dimensions de la Terre. *Géophysique*, collection *La Pleiade*, pages 85 à 118.

FONTAINE A. (G.R.G.S./I.G.N.) (1972). — Le calcul de géodésie spatiale. Symposium de Graz (Mai 1972) — N° 26.796 I.G.N./2.

FONTAINE A. (G.R.G.S./I.G.N.) (1973). — Compensations RCP G (Géodésie spatiale géométrique : calcul d'un réseau européen). Note technique G.R.G.S., Février 1973.

INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL (I.G.N.). — Travaux géodésiques 1971 — 1972 — 1973 — 1974.

INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL (1975). — Implantation d'un réseau géodésique pour la mesure directe de l'expansion d'un RIFT océanique. RCP 180 — Publication spéciale de l'I.G.N. (H. DRECHOU).

LEVALLOIS J.J. (1972 a). — Remarques générales sur la convergence du développement du potentiel terrestre en harmoniques sphériques. N° 26.792 I.G.N./2 — Florence, Octobre 1972.

LEVALLOIS J.J. (1972 b). — [Rapporteur d'un groupe de travail représentant l'Allemagne Fédérale, l'Autriche, l'Italie, la Suisse]. Sur la mise en évidence d'un mouvement de surrection des massifs cristallins alpins — B.G. n° 105, page 299.

LEVALLOIS J.J. & MAILLARD J. (1972). — Comparaison des nivellements ancien et nouveau dans la région des Alpes N° 26.798 I.G.N./2.

MAILLARD J. (1973). — Note sur le nouveau système des altitudes françaises I.G.N. 1969 N° 26.780 I.G.N./2 — Revue "Géomètre" de Juillet 1973.

RICHARME P. (1971). — Les relèvements multiples et leur calcul en ordinateur N° 53.117 I.G.N./5 — Paris, 1971.

Nouvelles mires — Nouvelles méthodes — Nouveaux calculs topométriques N° 53.116 I.G.N./5 — Paris, 1972.

II – CARTE GRAVIMETRIQUE DETAILLEE DE LA FRANCE ETAT D'AVANCEMENT

R. BOLLO & A. GERARD

Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BP 6009 – 45 – Orléans

MESURES ET CARTOGRAPHIE SYSTEMATIQUES

De 1970 à 1974, les campagnes de mesure ont été réorientées vers des objectifs considérés comme actuellement prioritaires :

– leviers détaillés en zones de socle affleurant destinés à préciser les conditions d'emploi de la gravimétrie vers des reconnaissances minières stratégiques. Cet objectif exige une densité des stations de l'ordre de 1 point/km². L'anomalie de BOUGUER est publiée par coupures régulières à 1/80 000.

– travaux régionaux destinés à permettre une couverture d'ensemble à 1/1 000 000 du territoire. Le Massif Central a été couvert en 1974, ce qui joint aux mesures de l'I.P.G. de Paris, permettra une densité finale de l'ordre de 1 station/15 km².

Afin de permettre l'intégration rationnelle des nouvelles prospections et leur contrôle, le réseau des stations de référence du premier ordre a été complété sur le Centre et le Sud-Est ; le système des bases d'étalonnages a été revu et complété. Nous considérerons, maintenant, comme définitif le réseau de premier ordre obtenu, dans l'attente de campagnes de mesures absolues.

Pendant la période considérée, le BRGM a réalisé pour le compte de la carte gravimétrique, 3 950 mesures dans le Morvan, les Causses et les Maures-Estérel. Ont été également utilisées pour la carte, 2 000 mesures faites sur la région de Clermont-Ferrand par l'IPG de Paris.

Des liaisons Cambrai-Metz, Limoges-Clermont-Ferrand-Lyon, Chambéry, Cahors-Pont St Esprit, Clermont-Ferrand-Ayde et Champagnolle-Chambéry-les-Bons-Enfants, ont permis le calage définitif du réseau de 1^{er} ordre.

Ces divers travaux d'homogénéisation, de compilation et d'édition ont permis (voir figure 1) la publication de 10 feuilles à 1/80 000, 1 feuille à 1/200 000, 1 feuille à 1/320 000, 1 feuille à 1/1 000 000.

Soit : à 1/80 000 Langres, Grey, Montbéliard, Besançon, Lons-le-Saunier, Pontarlier, Arles, Le Vigan, Toulon, Draguignan, Avignon, Forcalquier
à 1/200 000 Vesoul, Belfort
à 1/320 000 Bourges
à 1/1 000 000 Moitié Nord de la France.

Sont en préparation les feuilles à 1/80 000 de Séverac-le-Château et Orange (voir figure 1).

Parallèlement aux travaux de cartographie gravimétrique, le BRGM a développé des systèmes de cartographie automatique et des méthodes de traitement de l'information par ordinateur, fondées sur l'emploi de la transformation de FOURIER qui permet d'exploiter les facilités de calcul inhérentes au domaine fréquentiel.

CARTE GRAVIMÉTRIQUE DE LA FRANCE

ETAT D'AVANCEMENT

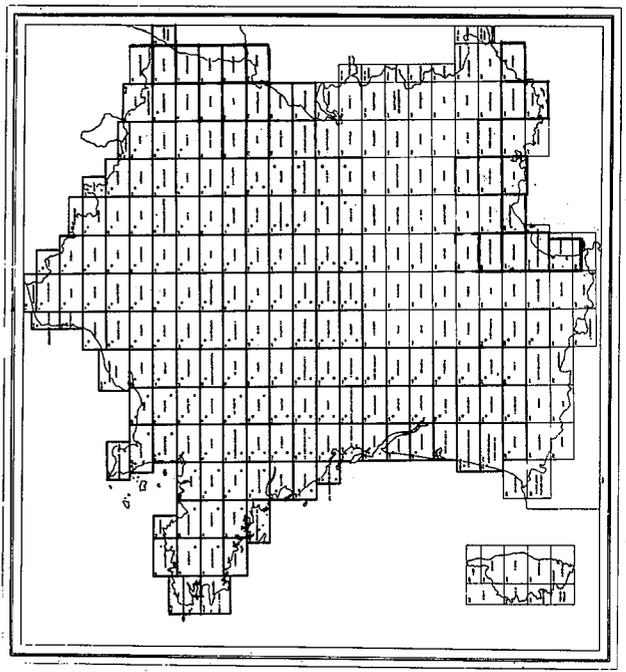
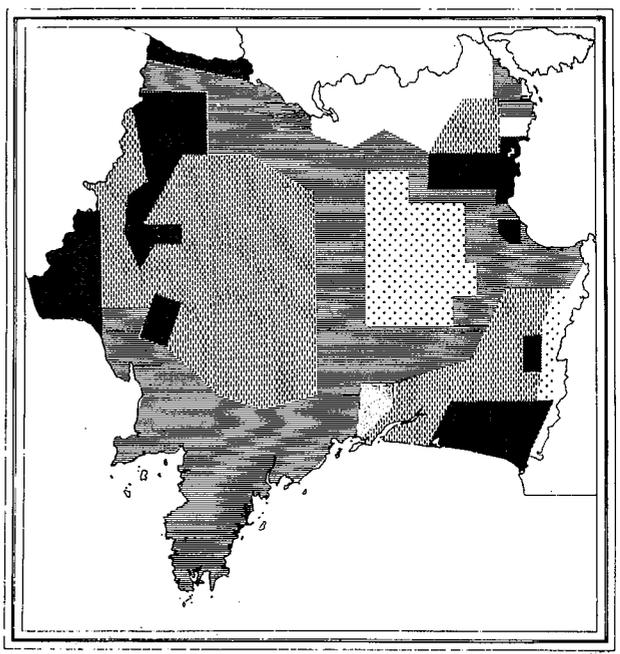
DENSITE DES MESURES :

-  Levé très détaillé
-  3-8 km² par Station
-  1-2 km² par Station
-  env. 15 km² par Station

-  Carte éditée
-  Carte en préparation

LEVES

1/80.000



Actuellement, deux logiciels complets, destinés à l'interprétation, sont opérationnels, l'un pour le calcul de dérivées et prolongements, l'autre pour la recherche de surfaces de contact pouvant créer le champ observé.

Assistée par de tels moyens, la synthèse géologique des résultats à l'échelon régional fournit des renseignements de plus en plus précis.

CORON S., GUILLAUME A. — Etude gravimétrique sur le Golfe de Gascogne et les Pyrénées. Histoire structurale du Golfe de Gascogne, T. 1, IV, 9 Pub. Inst. Fr. Petrole N° 22. Ed. Technip 1971.

DEBEGLIA N. — Bourges : Notice explicative de la feuille à 1/320 000. BRGM — Service géologique national (1972).

FLORI G. — Contribution à l'étude de la bordure occidentale du Morvan méridional (méthode gravimétrique). Diplôme Ingénieur géoph. Univ. L. Pasteur — Strasbourg 29 octobre 1973.

GERARD A., WEBER C. — L'anomalie magnétique du Bassin de Paris interprétée comme élément structural majeur dans l'histoire géologique de France. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 272, p. 921-923 (1971).

GERARD A. — Apports de la gravimétrie à la connaissance de la tectonique profonde du Bassin de Paris. *Bulletin du BRGM*, deuxième série, n° 2 (1971).

GERARD A., GRIVEAU P. — Paris : Notice explicative de la feuille à 1/320 000. BRGM, Service géologique national (1971).

GERARD A., GRIVEAU P. — Interprétation quantitative en gravimétrie ou magnétisme à partir de cartes transformées de gradient vertical. *Geophysical Prospecting*, volume XX, n° 2 (1972).

GERARD A. — L'interprétation par cartes transformées des champs magnétiques et de pesanteur. Application à une étude géophysique du Bassin parisien et de l'anomalie magnétique de la Manche. Thèse Doct. Ing. Université de Strasbourg (1973).

GOGUEL J. — Tendances modernes dans l'interprétation géologique des données gravimétriques. *Bulletin du BRGM*, deuxième série, n° 5 (1972).

KERN G. — Le prolongement du champ de pesanteur vers le bas. Etude mathématique et application au fossé Rhénan méridional. Diplôme Ing. Géoph. Université L. Pasteur, Strasbourg, 16 mars 1971.

KHALDI N. — Sur quelques méthodes de traitements de cartes du champ. Application à l'anomalie gravimétrique de Saverne. Diplôme Ing. Géoph. — Univ. L. Pasteur. Strasbourg, 1973.

WEBER C. — Le socle antepérimien sous la bordure sud du Bassin de Paris, d'après les données géophysiques. *Bulletin du BRGM*, deuxième série, n° 3 (1971).

WEBER C. — Le socle antétriasique sous la partie sud du Bassin de Paris d'après les données géophysiques. Thèse Université Paris VI — *Bulletin du BRGM*, deuxième série, section II, n° 3 et 4, pages 219-343 (1973).

III — ETUDE DES MAREES TERRESTRES

R. LECOLAZET

Professeur à la Faculté des Sciences
Institut de Physique du Globe
5, Rue Descartes — 67000 Strasbourg

Les travaux qui ont été exécutés en France, dans le domaine des marées terrestres, au cours des années 1970 à 1974, sont surtout d'ordre technique et expérimental ; quelques questions théoriques ont cependant été traitées.

Le perfectionnement des appareils de mesures (essentiellement clinomètres et gravimètres) a retenu l'attention de plusieurs chercheurs. Les clinomètres de P.-A. BLUM, construits entièrement en silice fondue et fonctionnant sous vide, ont été décrits en détail à l'occasion de leur emploi en sismologie basse fréquence (5). H. HAESSLER a utilisé deux de ces appareils en leur adjoignant un système de contre-réaction électromagnétique pour les faire fonctionner par méthode de zéro (10). Un ancien gravimètre Askania a été transformé par C. QUEILLE (6). Un système d'asservissement électrostatique a été adapté par J. GOSTOLI à un gravimètre La Coste-Romberg (1) ; cet appareillage, muni d'un enregistrement numérique de haute précision, a fait l'objet d'améliorations successives ; il fournit depuis le début de 1973, des résultats particulièrement satisfaisants. Enfin, A. SAKUMA, au B.I.P.M., a modifié un gravimètre de type Western par l'adjonction d'une détection capacitive et d'un asservissement électrostatique ; l'étalonnage mutuel avec l'appareil de mesure absolue de la pesanteur doit fournir notamment les corrections exactes de marée à supporter aux mesures absolues (13).

Une première catégorie de recherches est constituée par les essais de mise en évidence, d'une part des effets indirects des marées océaniques en vue de leur utilisation possible pour des études sur la structure de la croûte, d'autre part des ondes diurnes de petite amplitude pour préciser les effets dynamiques du noyau liquide.

En 1970, P.-A. BLUM et D. HATZFELD ont poursuivi, à partir de mesures clinométriques à la station de Moulis, l'étude spectrale des enregistrements, en particulier en ce qui concerne les ondes de faible amplitude et les ondes d'origine purement océanique (2) (3). Depuis le début de 1974, s'appuyant sur de nouvelles séries de données de la même station (4 ans d'enregistrement pratiquement continu), P.-A. BLUM a repris l'étude des ondes M_4 et MS_4 et des ondes d'origine essentiellement météorologique (S_1 , S_2) ainsi que de l'influence saisonnière sur S_2 . Pour aider à ces études et pour tâcher de préciser la flexion provoquée par les marées océaniques, M. FIGEAC a installé en 1973 quatre stations clinométriques depuis le voisinage de l'Océan Atlantique jusqu'au Massif Central.

La recherche des effets dynamiques du noyau liquide sur les marées terrestres, considérée déjà en 1957 comme un sujet de grand intérêt, a acquis récemment une importance encore plus grande depuis qu'il a été montré que la nutation presque diurne n'avait pas pu réellement être décelée. La mise en évidence de ces effets est difficile car elle exige la détermination des ondes diurnes de très petite amplitude, notamment les ondes ψ_1 et Φ_1 . Elle a été tentée, en utilisant de longues séries d'observation, par P.-A. BLUM, D. HATZFELD et G. WITTLINGER d'une part (7) et par R. LECOLAZET et L. STEINMETZ d'autre part (8) (9). Des variations significatives des facteurs d'amplitude δ et γ apparaissent mais il est difficile d'en tirer une conclusion quant à leur origine.

Toutefois les nouveaux résultats, plus précis, fournis très récemment par le gravimètre asservi de Strasbourg, sont en accord très net avec la théorie de MOLODENSKY.

La valeur globale du nombre k_2 de LOVE peut être déterminée par les variations de la vitesse de rotation de la Terre, dues aux marées zonales ; elle peut l'être aussi par les perturbations des orbites des satellites artificiels. Ces deux méthodes, déjà utilisées dans un passé plus ou moins récent, ont été reprises avec des données nouvelles.

B. GUINOT a recherché les ondes périodiques de TUI (4) (11). Son deuxième travail utilise les données du B.I.H. de 1967 à 1974. Deux valeurs différentes de k_2 ont été trouvées : $0,334 \pm 0,005$ pour l'onde Mf et $0,295 \pm 0,011$ pour l'onde Mm. L'écart entre les deux valeurs a déjà été noté par d'autres auteurs travaillant sur des données indépendantes. On peut soupçonner (remarque du rédacteur) une influence différente des marées océaniques Mf et Mm.

La deuxième des méthodes citées plus haut a été employée par K. LAMBECK, A. CAZENAVE et G. BALMINO (12). Les analyses des observations des satellites, corrigées le mieux possible des effets non négligeables des marées océaniques ont conduit, en ce qui concerne l'onde M_2 , à une valeur de k_2 égale à 0,31 et à un retard de phase de $0^\circ,5$. Ce déphasage correspondrait à une valeur globale du facteur de qualité Q, égale à 60.

Les nombreuses observations de marée clinométrique, dont on dispose actuellement, font apparaître des variations très significatives du rapport d'amplitude et du déphasage d'une station à l'autre et même d'un endroit à l'autre d'une cavité d'observation, particulièrement dans les tunnels. R. LECOLAZET et G. WITTLINGER (14) ont montré, par le calcul sur deux modèles très simples, qu'une cause certaine de ces variations résidait dans la déformation de marée des cavités d'observation, ce qui rend très délicate l'interprétation des mesures au moins en ce qui concerne la structure de la croûte et ses hétérogénéités latérales.

- (1) GOSTOLI J. — Etude et construction d'un dispositif d'asservissement pour un gravimètre La Coste-Romberg. Enregistrement numérique de la marée gravimétrique. Thèse Doct.-Ing., Strasbourg, 1970.
- (2) HATZFELD. — Mise en évidence de composantes faibles de la marée terrestre d'inclinaison. *C.R. Acad. Sc.*, t. 270, p. 818, 1970.
- (3) HATZFELD D. — Etude préliminaire de l'influence océanique sur les marées terrestres d'inclinaison dans la région pyrénéenne. Thèse 3^e cycle, Paris, 1970.
- (4) GUINOT B. — Short period Terms in Universal Time. *Astron. and Astrophys.* t. 8, p. 26-28, 1970.
- (5) BLUM P.-A. et GAULON R. — Détection et traitement des ondes sismiques de très basse fréquence. *Ann. Géophys.*, t. 27, p. 123-140, 1971.
- (6) QUEILLE C. — La marée terrestre enregistrée à Garchy. Enregistrement, analyse et interprétation des résultats. Thèse Doct. d'Etat, Paris, 1972.
- (7) BLUM P.-A., HATZFELD D. et WITTLINGER G. — Résultats expérimentaux sur la fréquence de résonance due à l'effet dynamique du noyau liquide. *C.R. Acad. Sc.*, t. 277, p. 241-244, 1973.
- (8) LECOLAZET R. et STEINMETZ L. — Nouveaux résultats expérimentaux concernant les ondes diurnes de la marée gravimétrique. *Bull. Géod.*, n° 109, p. 301-307, 1973.
- (9) LECOLAZET R. et STEINMETZ L. — Sur les ondes diurnes de la marée gravimétrique observée à Strasbourg. *C.R. Acad. Sc.*, t. 278, p. 295-297, 1974.
- (10) HAESSLER H. — Etude et réalisation d'un dispositif d'asservissement pour un inclinomètre de BLUM. Premiers résultats. Thèse 3^e cycle, Strasbourg, 1974.
- (11) GUINOT B. — A Determination of the LOVE Number k from the periodic Waves of UT1. *Astron. and Astrophys.* 1974, sous presse.
- (12) LAMBECK K., CAZENAVE A. and BALMINO G. — Solid Earth and Ocean Tides Estimated From Satellite Orbit Analyses. *Rev. Geophys. Space Phys.*, t. 12, p. 421-434, 1974.
- (13) SAKUMA A. — La station de marée gravimétrique au B.I.P.M. Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures, 1974, sous presse.
- (14) LECOLAZET R. et WITTLINGER G. — Sur l'influence perturbatrice de la déformation des cavités d'observation sur les marées clinométriques. *C.R. Acad. Sc.*, t. 278, p. 663-666, 1974.

IV – TRAVAUX SUR LE GEOÏDE

J.J. LEVALLOIS

Ingénieur Général Géographe
140, rue de Grenelle – 75 – Paris (7)

I – GEOÏDE EUROPEEN

Un certain nombre de documents publiés depuis l'Assemblée Générale de Moscou permettent de compléter au moins en partie le géoïde publié par le Brigadier G. BOMFORD à cette occasion (2).

Avec le concours de l'Institut Géographique National, cette question a été reprise assez en détail et a abouti à la publication de deux documents :

1) Un *document provisoire* non daté, paru en Février 1974 et contenant toutes les données utilisables publiées au 31 Décembre 1973. Ce document qui a été présenté et examiné au Symposium de Munich (Réunion de Travail de la Commission pour la nouvelle compensation des triangulations européennes, RETRIG, avril 1974) sous forme d'une carte à l'échelle initiale du 1 : 5 000 000 ou d'après une réduction de cette dernière, a été en fait connu d'un public assez restreint.

Il est basé sur les points suivants :

– constitution d'un ensemble homogène, calculé en un seul bloc intégrant les réseaux astro-géodésiques de France, d'Allemagne, du Benelux, les profils de la Suisse, la partie occidentale de l'Italie (Lombardie, Piémont).

– ce bloc est lié au bloc nordique Suède, Norvège, Finlande par une liaison fort étroite au niveau des détroits Baltiques, on a donc calculé ce dernier en le liant sur le premier (par ce rattachement) ; les données utilisées sont celles qui ont été recueillies sur la liste 4 de déviation de la verticale de l'A.I.G. (1).

– sur ce ensemble on a calculé le réseau tchécoslovaque et polonais tel qu'il est publié sur la liste 4 de l'A.I.G. (1).

Le réseau a alors été étendu aux régions balkaniques en le liant par le profil astro-géodésique péninsulaire de l'Italie, depuis la Lombardie jusqu'à Otrante, la liaison italo-grecque Otrante-Corfou, et le profil grec jusqu'à Athènes (1) ; enfin d'Athènes aux frontières yougoslave et bulgare par le profil observé par Balodimos (3). La confrontation des résultats sur ces frontières avec les altitudes du géoïde en Italie julienne déduites de (1) a permis d'identifier dans (2) le basculement qu'il convenait d'appliquer au géoïde yougoslave publié par Muminagic (4). Cette opération permet de définir une solution d'ensemble pour l'Europe centrale, le bloc Yougoslavie-Bulgarie, et l'ensemble Tchécoslovaquie-Pologne. Elle tient compte de la liste 4 (1) et de nouvelles valeurs de déviation à utiliser en Autriche (5).

Pour compléter ce travail qui contient évidemment de nombreux blancs, on a utilisé le géoïde gravimétrique tel qu'on peut le calculer dans la région en adoptant les anomalies gravimétriques $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ publiées par le Bureau Gravimétrique International (6) et par l'A.C.I.C. (7).

Ce géoïde a été ensuite basculé sur les valeurs astro-géodésiques des chaînes qui pouvaient lui servir de cadre, notamment le profil Nord Sud Portugal Espagne Maroc, les chaînes du Sud de la France, de l'Italie, la jonction gréco-Turque, la Turquie, la chaîne libyenne, ce qui a permis de définir une ou plusieurs formules de la forme suivante :

$$h_{\text{Europe}} = h_{\text{grav.}} + a(\varphi - \varphi_0) + b(\lambda - \lambda_0) + c(\varphi - \varphi_0)^2 + d(\varphi - \varphi_0)(\lambda - \lambda_0) + e(\lambda - \lambda_0)^2$$

chaque formule permettant l'adaptation de la gravimétrie au réseau européen au voisinage d'une origine locale (λ_0, φ_0)

C'est également de cette manière que l'on a soudé le bloc roumain au bloc tchécoslovaque et bulgare.

2) Le "Géoïde Européen 1975"

Il constitue un travail basé sur le précédent et exécuté récemment.

L'étude des résidus du premier travail, notamment aux raccords de la Roumanie et de l'U.R.S.S., un examen plus attentif de la liste 4 (1), de nouveaux résultats qui nous ont été communiqués, notamment par l'Italie, par la D.M.A.A.C. (8), la communication par le B.G.I. de valeurs gravimétriques dans le bassin oriental de la Méditerranée, rendaient nécessaire un réexamen de la question. On y a fait concourir également pour l'U.R.S.S. le géoïde de DUBOVSKY tel qu'il est décrit dans (9).

On a suivi à peu près la même méthode que précédemment en considérant comme fixés et invariablement liés les blocs astro-géodésiques Europe de l'Ouest, Europe du Nord, Tchécoslovaquie-Pologne du Sud déjà calculés.

Tout le reste a été remis en question en une compensation générale unique dans laquelle le solide bloc turco-bulgare a été considéré comme fixé à une translation près, le bloc gravimétrique Espagne-Méditerranée basculé sur l'ensemble des données du bassin méditerranéen. Il s'est avéré que dans la région Turquie, Mer Noire, lisière Sud de l'U.R.S.S. les géoïdes gravimétriques publiés (10) ou que l'on pouvait calculer par (7) et (8) étaient pratiquement incompatibles avec ce que l'on pouvait tirer de vraisemblable de la liste 4 (1), notamment du réseau turc lui-même, du calcul de la méridienne de Pulkowo et des basculements exigés par ce que l'on connaît de correct dans le bassin méditerranéen. Ceci tient probablement à ce qu'une bonne partie des anomalies turques n'est pas publiée, que ces mêmes anomalies sont vraisemblablement issues de prédictions dans la région Sud d'U.R.S.S.

On s'est donc contenté dans cette partie de ce que l'on pouvait tirer de plus vraisemblable de (1) et de (9), ainsi que d'une liaison directe incertaine entre le Massif turc et le Nord de la Crimée. Tout ceci est évidemment très sujet à caution, et de fortes erreurs dues à l'absence de tout document viable sont à craindre, au moins à partir du 30^e méridien vers l'Est, au Nord du 42^e parallèle.

Tel qu'il est, ce travail nous paraît fournir le parti le plus vraisemblable que l'on puisse tirer des documents actuellement publiés. De fortes erreurs sont à craindre également vers la Sicile et le rattachement tunisien à la Sicile et à la Sardaigne. De plus amples détails sont fournis dans la communication de J.J. LEVALLOIS (11).

(1) Association Internationale de Géodésie (1971). — Liste des stations de déviation de la verticale rattachées au réseau européen.

(2) BOMFORD G. (Moscou, 1971). — The astrogeodetic geoid in Europe and connected areas.

(3) BALODIMOS D.D. (1972). — Geoidal Studies in Greece (Oxford, 1972).

(4) MUMINAGIC A. (1971). — Investigation of real geoid in Yugoslavia.

(5) Bundesamt für Eich und Vermessungswesen. — Die zweite Ausgleichung des Osterreichischen Dreiecksnetzes 1. Ordnung et communications personnelles.

(6) Bulletin de liaison du B.G.I. Mars 1973. Anomalies moyennes à l'air libre $1^\circ \times 1^\circ$.

(7) A.C.I.C. Reference publication n° 29. - 1° x 1° mean free air gravity anomalies (August 1971).

(8) D.M.A.A.C. Reference publication 73-0002. - 1° x 1° mean free air gravity anomalies (Décembre 1973).

(9) Travaux de l'A.I.G. - Tome 20 - BOMFORD G. - Déviation de la verticale 1954-56 - Groupe spécial d'études n° 10.

(10) VINCENT S. and STRANGE W. - A detailed gravimetric geoid from North America to Eurasia, Goddard space flight center (1972).

(11) LEVALLOIS J.J. et MONGE H. - Le géoïde Européen, version 1975 - Grenoble 1975.

II - ETUDE DETAILLEE DU GEOIDE LOCAL PAR LES MESURES DU GRADIENT DE LA PESANTEUR

Le mesure du gradient de la pesanteur peut revêtir dans les années qui viennent une grande importance pratique pour la détermination de la structure locale fine du "géoïde". Si nous considérons en effet la surface topographique et si nous y effectuons des mesures de gradient, aussi serrées que l'on veut, on peut écrire en tout point de cette surface que le potentiel perturbateur $T = W - U$, différence entre le potentiel réel W et le potentiel de référence U , est une fonction harmonique, dont le Laplacien est donc nul :

$$\Delta T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$$

Dans cette expression

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}$$

n'est autre que la différence entre le gradient de la pesanteur réelle et celui de la pesanteur de référence ; c'est donc une quantité observée $f(x, y)$, fonction de la position *planimétrique* du point de mesure. On est donc ramené à traiter un problème de Poisson dans le plan.

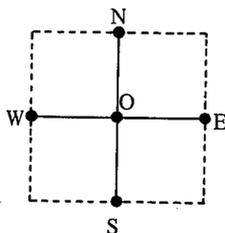
$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + f(x, y) = 0$$

c'est-à-dire à intégrer cette équation aux dérivées partielles dans un domaine fermé plan (*), connaissant $f(x, y)$ et se donnant par exemple les valeurs de T sur le contour.

Pratiquement, on peut appliquer la méthode classique du maillage carré et utiliser une approximation du Laplacien sous la forme :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{T_N + T_E + T_S + T_W - 4T_O}{a^2}$$

$a = ON = OE = \text{côté du carré}$



(*) Le problème se généralise facilement au domaine sphérique ou ellipsoïdique.

et tout se ramène à résoudre un système régulier d'équations linéaires, *si les valeurs sur le contour sont données ou si quelque autre système équivalent vient apporter les informations nécessaires.*

Le problème peut se poser sous un aspect assez voisin des problèmes de physique mathématique ; problèmes de Dirichlet, de Neumann ou de type mixte. Il affecte toutefois une allure moins formelle, car les données expérimentales dont on dispose, à savoir :

- la mesure du gradient proprement dit ou son évaluation par le calcul
- les données au voisinage du contour

sont affectées d'erreurs aléatoires ou systématiques, et par conséquent, leur présence exige des informations surabondantes.

Un exemple numérique a été traité pour le géoïde de France sur un rectangle de 150 x 300 kilomètres, décomposé en 450 mailles carrées de 10 kilomètres de côté (soit 495 inconnues).

Les valeurs du gradient ont été tirées des cartes d'anomalies du gradient vertical publiées par le Bureau des Recherches Géologiques et Minières. Ce gradient, qui est obtenu par l'analyse en série double de Fourier des anomalies gravimétriques (Bouguer) de la région considérée, est malheureusement filtré des longueurs d'ondes supérieures à 30/40 kilomètres et inférieures à 2/3 kilomètres, et d'autre part, ne correspond pas exactement à la définition littérale des conditions du problème. Les résultats du calcul, qui sont présentés à part dans une communication à l'Assemblée Générale de Grenoble (1), sont cependant assez probants pour attirer l'attention sur cette méthode, qui pourrait être appliquée sur des surfaces petites, donnant la structure fine d'un géoïde local, à condition de compléter les mesures sur le contour par des mesures à la balance de torsion et quelques mesures astronomiques de très haute précision.

(1) J.J. LEVALLOIS : Construction du géoïde par utilisation du gradient de pesanteur - Grenoble 1975.

V – TELEMETRIE LASER TERRE – LUNE

J. KOVALEVSKY

CERGA 8, Boulevard E. Zola – 06130 – Grasse

La station expérimentale française, située à l'Observatoire du Pic du Midi, a été utilisée pour mettre au point les techniques d'observation et les divers sous-systèmes d'émission et de réception (1). Au cours des séances d'observation, des échos ont été obtenus sur divers réflecteurs français et américains déposés sur la Lune (2). L'expérience acquise sur cette station a permis de concevoir et de mettre en route la construction d'un nouveau système, muni d'un télescope de 1,50 mètre qui sera installé fin 1976 au CERGA à Grasse.

Une importante contribution française au programme international de télémétrie Laser a été le dépôt sur la Lune, à bord des véhicules spatiaux soviétiques Luna 17 et Luna 21, de réflecteurs en novembre 1970 et en janvier 1973 (3).

Si le premier réflecteur semble s'être très rapidement empoussiéré par suite du mouvement du véhicule porteur, les cataphotes de Luna 21 sont restés en bon état et sont régulièrement utilisés dans les programmes d'observation laser-lune américains et soviétiques (4).

Un assez grand effort théorique a été fait en France sur l'interprétation théorique des observations de distance Terre-Lune. Il a porté sur la précision (5) et la méthodologie de la détermination des divers paramètres physiques relatifs à la Terre et à sa rotation et les éléments orbitaux et les paramètres de rotation de la Lune (6). Des discussions de la précision de ces déterminations ont aussi été faites en fonction du nombre et de la distribution des stations de télémétrie laser sur la Terre.

Signalons enfin que les études théoriques de Mécanique Céleste pour obtenir de meilleures théories analytiques (8) ou semi-numériques du mouvement de la Lune sont menées au Bureau des Longitudes. Une théorie semi-numérique a d'ores et déjà été construite pour le problème principal qui dépasse en précision la théorie de BROWN, améliorée par ECKERT (9).

(1) ORSZAG A.G. – "Aspects récents de la télémétrie Laser-Lune". *Space Research* XIII, 1001, 1973.

(2) ORSZAG A., ROSCH J. et CALAME O. – "Acquisition des cataphotes français de Luna 17" *Space Research* XII, 205, 1972.

(3) FOURNET M. – "Le réflecteur laser de Lunokhod" *Space Research* XIII, 261, 1973.

(4) ABALAKIN V.K., CALAME O., KOKURIN Yu. L., MULHOLLAND J.D., ORSZAG A. et SILVERBERG E.G. – "Analyse des premiers échos laser obtenus sur le réflecteur de LUNA 21". *Compte-rendus de l'Académie des Sciences*, 276B, 673, 1973.

(5) ORSZAG A.G. – "Influence des erreurs d'éphémérides sur diverses déterminations par mesures de distance Terre-Lune", *Astronomy and Astrophysics*, 23, 441, 1973.

(6) CALAME O. – "Détermination de la libration lunaire par télémétrie laser Terre-Lune", *Astronomy and Astrophysics*, 22, 75, 1973.

(7) KOVALEVSKY J. – "Que pourra-t-on déduire des mesures de distance Terre-Lune par Laser ?" in *New problems in Astrometry*, colloque UAI N° 61, 269, 1974 (Reidel edit.).

(8) BEC A. KOVALEVSKY J. et MEYER C. – "Contribution to an analytical lunar theory". *The Moon*, 8 434, 1973.

(9) CHAPRONT-TOUZE M. – "Iterative construction of a solution of the main problem of the Moon". *Astronomy and Astrophysics*, 36, 5, 1974.

VI – ISAGEX ET CAMPAGNES D'OBSERVATION

J. KOVALEVSKY

I – ISAGEX

La campagne internationale ISAGEX (International Satellite Geodesy Experiment) a son origine dans une initiative que le centre National d'Etudes Spatiales a prise à l'occasion du lancement du satellite PEOLE ayant une inclinaison faible (14°) et qui était muni de rétroreflecteurs laser. Le principal intérêt géodésique de PEOLE était que, en l'absence de tout satellite utilisable en géodésie, d'inclinaison inférieure à 28° , les observations de PEOLE pouvaient lever une importante indétermination qui subsistait dans le modèle de potentiel terrestre, et notamment, dans le système d'harmoniques zonaux.

L'appel du CNES à une collaboration internationale fut soutenu par le COSPAR et de nombreuses réponses favorables furent reçues : près de 50 stations d'observation ont effectivement participé à l'expérience qui s'est déroulée en janvier et août 1971. L'importance de cette participation entraîna la mise sur pied d'une organisation très structurée, destinée à coordonner efficacement le travail des stations et rassembler les données recueillies.

Dans cette organisation, le centre principal situé en France sous la responsabilité conjointe du CNES et du GRGS, a exécuté les tâches suivantes : (2)

- Préparation du plan d'expérience
- Programmation de toutes les visées simultanées pour la géodésie géométrique et des télécommandes des éclairs de GEOS-B (soit 483 séries).
- Coordination entre les 5 sous-centres (SAO, GODDARD, CNES Brétigny, ASTROSOVIET et ONDREJOV).
- Tenue à jour des listes d'observations et analyse des rapports hebdomadaires (1400 messages transmis ou reçus ; 180 rapports analysés).
- Etablissement d'un fichier des observations sur bandes magnétiques : constitution d'un catalogue complet comprenant notamment toutes les observations simultanées.
- Etablissement d'un document de synthèse, donnant le bilan de la campagne.
- Gestion de la banque des données provenant de l'opération et transmission de ces données aux participants de tous les pays (9).
- Essais de calculs sur les données reçues et établissement d'un rapport préliminaire sur le nombre et l'évaluation des données.

Par ailleurs, la participation française aux observations a inclu un laser de télémétrie à Dakar et un autre à San Fernando (en Espagne) tandis qu'un troisième à Saint Michel de Provence était couplé à un laser d'illumination et à un télescope de Schmidt. Enfin, une caméra de Baker Nunn était placée à Dakar et la caméra Antarès de Nice participait aussi au programme.

Les stations ont en général travaillé pendant toute la durée de l'expérience, soit du 5 janvier au 31 août 1971 (à l'exception de la station de Haute Provence qui n'a travaillé que 4 mois). Le nombre de passages observés par les diverses stations est :

– Laser : Dakar	: 131
Haute Provence	: 123
San Fernando	: 236
Total	: 490 passages
– Photos : Dakar	: 265
Haute Provence	: 22
Nice	: 71
Total	: 358 passages (4)

Par rapport à l'ensemble de l'opération, cela représente 20 % du nombre total de passages observés en laser et 8 % du nombre total de passages photographiés. Toutes les données d'ISAGEX ont été rassemblées dans une banque de données et 14 arcs de 15 jours ont été réduits pour servir de base aux recherches relatives au potentiel terrestre (5). D'autres arcs, notamment de PEOLE, ont été utilisés pour améliorer les harmoniques zonales paires du potentiel (6) et (7).

II – AUTRES CAMPAGNES

Une autre campagne d'observation a été organisée en 1973 à l'occasion du lancement, non réussi, de D5 B.

Les deux lasers étaient placés à NOUAKCHOTT et à ADDIS ABEBA et une caméra Baker Nunn à OUAGADOUGOU et ont travaillé de mai à octobre 1973.

En été 1972, une des stations laser du CNES a participé à OIJGOROD (URSS), au programme "ARCANT".

Enfin, la caméra ANTARES à Nice a participé quelques mois au programme EPSOC et s'est jointe au programme européen SHORT ARC.

La préparation de la campagne GEOS-C/STARLETTE qui doit avoir lieu en 1975 s'est activement poursuivie en 1974. Les instruments d'observation ont été améliorés.

Enfin, une nouvelle station de télémétrie-laser, dite de deuxième génération, est en construction.

(1) KOVALEVSKY J. – "La campagne internationale de géodésie par satellites ISAGEX" Vladimiro KRISTOV septuagénario, Académie des Sciences de Bulgarie, 1973, p. 67.

(2) BRACHET G. – Documents ISAGEX N° 7 (1970), 9, 11, 13 (1971) 14, 15 (1972), 16 (1973) publiés par le GRGS/CNES.

(3) BROSSIER C. – "Centre de données géodésiques. Organisation du Centre de données géodésiques à la date du 1.9.72." Note CNES/GRGS (ref. CB/GR/2.109/CB/GRGS).

(4) BRACHET G., BROSSIER C. – "Réductions des données laser françaises d'ISAGEX". *Bulletin du GRGS* N° 4 (mai 1972).

(5) KOVALEVSKY J. – "Results of the ISAGEX campaign", Revue générale présentée au COSPAR, Sao Paulo, 1974.

(6) PIEPLU J.L. et LEFEBVRE M. – "Détermination d'équation de conditions entre les harmoniques de résonance d'ordre 14 à partir d'observations du satellite EOLE". *Space Research*, XIII, 31, 1973.

(7) CAZENAVE A., FORESTIER F., NOUËL F. et PIEPLU J.F. – "Improvement of zonal harmonics by the use of Observations of low inclination satellites DIAL, SAS and PEOLE" in "the Use of artificial Satellites for Geodesy", p. 145, 1972.

VII – MOUVEMENT DES SATELLITES ARTIFICIELS

J. KOVALEVSKY

L'étude du mouvement des satellites artificiels constitue une base théorique essentielle à l'interprétation de ces mouvements à des fins d'études géodésiques ou géodynamiques. Cette branche de la Mécanique Céleste, appliquée aux satellites artificiels, a été bien développée ces dernières années en France et certaines applications qui en ont été faites ont permis d'obtenir des résultats originaux.

Un effort important a été fait pour construire une théorie analytique du mouvement d'un satellite artificiel. Une étude approfondie des termes du 2nd ordre et des termes séculaires en J_2^3 a été faite (1), (2). Les divers couplages entre les harmoniques ont également été étudiés avec détail et des effets insoupçonnés, parfois de forte amplitude, ont été découverts (3).

Ces travaux sont constamment contrôlés par des méthodes d'intégration numériques (4) qui ont permis de reconnaître la réalité des phénomènes de couplage découverts et en contrôler l'amplitude. L'effet des marées terrestres a également été calculé analytiquement (5) et la plupart des théories ainsi établies ont été programmées (6), (7).

Il apparaît néanmoins que pour le couplage avec les forces gravitationnelles ou l'attraction luni-solaire, la solution purement analytique n'est pas pratique, et des méthodes mixtes, semi-analytiques, combinant des expressions analytiques à une intégration numérique, ont été mises au point et appliquées à des cas précis (8), (9).

Parmi les applications pratiques de ce type de méthodes semi-analytiques, il faut signaler une étude sur les harmoniques de résonance (10) et le mouvement du satellite PAGEOS (11).

Par ailleurs, une étude très complète de l'évolution des paramètres de rotation d'un satellite aimanté circulant dans le champ magnétique terrestre a été effectuée. Il a été démontré que l'effet sur le mouvement orbital est négligeable (12).

En revanche, plusieurs types de mouvements autour du centre de gravité ont été trouvés, et des représentations analytiques de ces mouvements ont été obtenues dans la plupart des cas (13), (14).

(1) BRETAGNON P. – "Termes à courtes périodes du second ordre dans la théorie d'un satellite artificiel" *Bulletin GRGS* N° 2, p. 1, 1972.

(2) BERGER X. – "Expression analytique des termes séculaires en J_2^3 et à longue période en J_2^2 ". *Bulletin du GRGS* N° 5, p. 29, 1972.

(3) BERGER X. – "Coupling effects between the Earth potential harmonics in the movement of an artificial satellite"; présenté au Symposium sur la dynamique des satellites, à Sao Paulo en 1974, sous presse.

(4) BERGER X. – "Comparaison théorie analytique-intégration numérique (termes en J_2^2)". *Bulletin GRGS* N° 2, p. 34, 1972.

(5) BALMINO G. – "Analytical Expression for Earth tides perturbations on close Earth Satellites". Symposium de Lagonissi, 1973.

(6) BERGER X et BOUDON Y. – "Théorie analytique programmée de l'influence gravitationnelle de la Lune et du Soleil dans le mouvement des satellites artificiels". *Bulletin du GRGS* N° 5, p. 1, 1972.

(7) BERGER X. – "Moon-Earth coupling effects : a semi-analytical solution" présenté au Symposium sur la Dynamique des satellites à Sao Paulo, 1974, sous presse.

(8) KOVALEVSKY J. – "Revue générale des méthodes numériques de calcul de théories analytiques de satellites artificiels" *Astronautical Research*, vol. 1971, p. 15, publié en 1973.

(9) BALMINO G. - "Coriolis forces in numeric integration of satellite orbits and absolute reference system". *Celestial Mechanics*, Vol. 10, p. 423, 1974.

(10) BALMINO G. et REIGBER CH. - "13th order harmonics in the Geopotential from the analysis of orbits of 5 resonant satellites", présenté au COSPAR, Sao Paulo, 1974, sous presse.

(11) GAMBIS D. - "On the effect of Earth radiation pressure on the motion of PAGEOS ; comparison between different models", présenté au Symposium sur la Dynamique des satellites à Sao Paulo, 1974. Sous presse.

(12) STELLMACHER I. - "Mouvement de translation-rotation d'un satellite aimanté dans le champ magnétique terrestre" *Bulletin GRS* N° 6, 1972.

(13) STELLMACHER I. - "Influence du champ magnétique terrestre sur le mouvement d'un satellite autour de son centre de gravité". *Celestial Mechanics*, vol. 5, p. 470, 1972.

(14) STELLMACHER I. - "Evolution d'attitude des satellites dans un champ magnétique". *Celestial Mechanics*, vol. 10, p. 57, 1974.

VIII – OBSERVATIONS DOPPLER DE SATELLITES TRANSIT POUR L'ETUDE DU MOUVEMENT DU POLE

Mme Nicole CAPITAINE (*), Melle Martine FEISSEL (*), Mme Liliane SAINT-CRIT (**)

Les observations Doppler de satellites artificiels peuvent être utilisées pour calculer la position instantanée du pôle de rotation sur la Terre. Ceci a été montré par ANDERLE (1970) et depuis 1967 le Dahlgren Polar Monitoring Service (DPMS) du Naval Weapons Laboratory (NWL) publie les coordonnées du pôle obtenues à partir d'observations d'un ou plusieurs satellites Transit faites de quinze à dix-neuf stations bien réparties sur la Terre (Anderle 1972 et 1973).

Les résultats obtenus actuellement ont une précision du même ordre que celle des résultats astronomiques (ANDERLE 1973, GUINOT et al. 1973) et on peut en espérer une amélioration sensible par l'adoption d'un meilleur modèle de forces pour le calcul d'orbite du satellite observé.

Des études ont été faites en France pour rechercher les divers types d'erreurs pouvant intervenir dans les différentes étapes de la méthode employée par le DPMS (TATON 1972), les comparer à celles intervenant dans les méthodes astronomiques classiques (CAPITAINE et FEISSEL 1974) et comparer les coordonnées DPMS à celles obtenues par les méthodes classiques (FEISSEL et al 1971). Des différences systématiques entre les deux types de résultats ont ainsi pu être expliquées. D'autre part, il est apparu que pour effectuer des comparaisons plus fines entre les résultats obtenus par ces deux types de mesures il serait très intéressant de disposer d'une station astronomique classique et d'une station Doppler en un même lieu durant une longue période. Cette coexistence des deux types d'observation en un même lieu a fait l'objet d'une recommandation du symposium n° 48 de l'UAI à Morioko en 1971 et fut réalisée en France de façon expérimentale en avril et mai 1972 lors de l'expérience TRAPOL. Cette expérience, menée avec la participation du BIH, du CNES et du GRGS et la collaboration du NWL, a, en fait, surtout permis aux astronomes et géodésiens français de s'initier à la pratique de la mesure du mouvement du pôle par les méthodes spatiales. Une méthode de traitement adaptée aux observations Doppler d'une station isolée et utilisant l'orbite connue du satellite observé a ainsi été mise au point (NOUEL 1973, CAPITAINE 1973b). L'orbite du satellite fournie par le NWL et exprimée dans un repère lié à la Terre est prise pour référence et on déduit des observations la valeur instantanée de la latitude et de la longitude géocentriques de la station.

Les résultats encourageants de cette expérience ont conduit à la transformer depuis novembre 1973 en une campagne à long terme d'observations Doppler à la station du CERGA (près de Grasse) où se trouve également un astrolabe de Danjon ; nous disposons actuellement de plus d'une année de résultats continus.

1) EXPERIENCE TRAPOL (AVRIL ET MAI 1972)

Trois stations françaises ont observé régulièrement le satellite 1967-92A durant cet intervalle de temps. En fait certains récepteurs utilisés se sont révélés peu adaptés à ce

(*) Observatoire de Paris-Meudon.

(**) Centre d'Etudes et de Recherches Géodynamiques et Astronomiques, Grasse.

travail et seule la station de Brétigny a donné des résultats de qualité suffisante (NOUEL et MARTINIÈRE 1972, CAPITAINE 1973 b).

Les observations étaient prédépouillées au CNES (NOUEL et MARTINIÈRE 1972) : élimination des observations de hauteur trop basse et des passages affectés d'erreurs dues au mauvais fonctionnement du récepteur. Elles étaient ensuite traitées à l'Observatoire de Meudon pour rechercher les variations de latitude et de longitude de la station dues au mouvement du pôle (CAPITAINE 1973 a et b). La première étape du traitement a consisté à déterminer les coordonnées de la station de Brétigny dans le repère NWL 9 (ANDERLE 1972).

On a obtenu :

$$X = (4\ 222\ 503.8 \pm 2.6) \text{ m}$$

$$Y = (173\ 159.2 \pm 5.0) \text{ m}$$

$$Z = (4\ 761\ 323.8 \pm 2.0) \text{ m}$$

La deuxième étape a fourni les variations de latitude et de longitude de la station avec une précision de l'ordre de 1 m de latitude et 3 m en longitude pour des intervalles de temps comprenant une dizaine de passages bien répartis géométriquement.

2) RESULTATS OBTENUS PAR LA STATION PERMANENTE DU CERGA

L'acquisition des données a été automatisée au CERGA. Les satellites observés ont été le 67-92 A jusqu'au 31 mars 1974 puis le 70-67 A.

La méthode utilisée pour l'exploitation des données a été allégée, le prédépouillement étant remplacé par des tests d'élimination introduits dans le programme de traitement. Elle a de plus été améliorée par une pondération des mesures et un calcul de correction troposphérique.

Les coordonnées de la station du CERGA obtenues dans le repère NWL 9 sont (NOUEL et CAPITAINE 1974) :

$$X = (4\ 581\ 874.6 \pm 1) \text{ m}$$

$$Y = (556\ 315.6 \pm 2) \text{ m}$$

$$Z = (4\ 389\ 154.1 \pm 1) \text{ m}$$

Les variations de latitude et de longitude de la station dues au mouvement du pôle sont déterminées par des réductions régulières des mesures par périodes de deux jours. De novembre 1973 à août 1974, 556 passages ont été utilisés pour les réductions. La précision obtenue est de l'ordre de 0.5 m en latitude et de 2 m en longitude pour six passages bien répartis géométriquement. La meilleure qualité possible des résultats n'a pas toujours été atteinte au cours de cette première année, durant laquelle différentes mises au point ont été apportées à la station pour la rendre permanente.

ANDERLE R.J. - "Polar motion determinations by U.S. Navy Doppler satellite observations", NWL Technical Report TR. 2432, 1970.

ANDERLE R.J. - "Pole position for 1971 based on Doppler satellite observations", NWL Technical Report TR. 2734, 1972.

ANDERLE R.J. - "Pole position for 1972 based on Doppler satellite observations", NWL Technical Report TR. 2952, 1973.

CAPITAINE N. - "Results on Doppler tracking GRGS/CNES during the TRAPOL experiment". First International Symposium on the use of artificial satellites for Geodesy and Geodynamics, Athens, May 1973.

CAPITAINE N. - "Résultats de l'expérience TRAPOL" Détermination du pôle par des observations Doppler en une seule station. *Bulletin GRGS* n° 9, juillet 1973.

CAPITAINE N. et FEISSEL M. - "Systematic differences between global or local solutions of polar motion derived from astronomical and spatial measurements" IAU colloquium n° 26 ; "Reference Coordinate Systems for Earth Dynamics", Torun, August 1974.

FEISSEL M., GUINOT B., TATON N. (Mme CAPITAINE). – "Comparison of the coordinates of the pole as obtained by classical astrometry (IPMS, BIH) and as obtained by Doppler measurements on artificial satellites (Dahlgren Polar Monitoring Service)" Symposium n° 48, IAU, Rotation of the Earth, Morioka, May 1971.

GUINOT B., FEISSEL M., GRANVEAUD M. – Rapport Annuel de BIH pour 1972.

NOUEL F. – "De Grasse au pôle, Vade Mecum de l'opération TRAPOL", *Rapport GRGS*, Février 1974.

NOUEL F. et MARTINIÈRE G. – "Campagne TRAPOL, catalogue des données et documents de travail" *Rapport GRGS/CNES*, décembre 1972.

NOUEL F. et CAPITAINE N. – "Variation of latitude and longitude of a station from Doppler satellite tracking and precise satellite ephemeris" presented at the COSPAR, Sao Paulo, June 1974.

TATON N. (Mme CAPITAINE). – "Détermination du mouvement du pôle à partir d'observations de satellites artificiels", Thèse 3^e cycle, Paris, Mars 1972.

IX – DETERMINATION GLOBALE DU CHAMP DE POTENTIEL TERRESTRE

M. LEFEBVRE

CNES/GRGS

18, Avenue Edouard Belin – 31004 – Toulouse

En 1971 le G.R.G.S. a décidé de déterminer indépendamment le potentiel de la terre par les méthodes spatiales.

Cette décision a été prise en tenant compte de plusieurs facteurs :

- une valorisation de l'expérience acquise entre 1967 et 1971, tant dans le domaine des observations, de leur réduction et des méthodes de traitement (expériences DIADEME RCP 133),

- une prise de conscience que seules des déterminations globales pourraient apporter des informations scientifiquement utiles pour le futur,

- une meilleure appréciation des objectifs scientifiques à atteindre et notamment dans l'apport de la détermination précise du géoïde pour l'étude de la convection dans le manteau,

- une analyse préliminaire des méthodes nouvelles de détermination du mouvement du globe et en particulier de la nécessité d'une parfaite connaissance du modèle de forces,

- le lancement de GEOS C et de STARLETTE en 1975 donnant une impulsion nouvelle aux études de potentiel (GEOS C), ou géodynamique (STARLETTE), à condition d'avoir la capacité de disposer d'outils, notamment d'un modèle de base,

- l'existence d'un centre de calcul à Toulouse ayant une configuration suffisante pour se lancer dans cette entreprise avec des chances de succès et dans un temps raisonnable.

Il apparaissait, toutefois, évident qu'une telle entreprise ne pourrait réussir qu'à l'aide de programmes en coopération.

Sur le plan des données, il est nécessaire de disposer d'un nombre suffisant d'observations sur de nombreux satellites. La coopération initialisée dès 1967 avec DIADEME, puis dans le cadre de GEOS B et de la RCP 133, et qui aurait permis de constituer une base de données, s'est poursuivie rigoureusement. Le G.R.G.S. a pris en charge la coordination de l'expérience ISAGEX en 1971 estimant nécessaire de prendre part à l'effort international d'acquisition des données. 46 stations de 18 pays ont permis d'obtenir – non sans difficultés – un lot de données supplémentaires et, en particulier, de mesures laser de 10 stations. L'expérience ISAGEX a été initialisée à l'occasion du lancement du satellite PEOLE – premier satellite Géodésie, d'inclinaison $L 28^\circ$. L'apport du GSF et du SAO a été prépondérant dans cet échange de données.

La coopération s'est aussi poursuivie sur le plan de l'analyse des données en particulier à l'Institut de Géodésie de Munich. Elle a, tout d'abord, porté sur la détermination des harmoniques de résonance par la méthode de SCHNEIDER et REIGLER. Elle s'est poursuivie par le partage d'une partie des tâches à entreprendre pour la détermination d'une solution en commun.

L'effort accompli depuis 4 ans par l'ensemble d'une équipe, a permis d'aboutir à une première solution baptisée GRIM 1 (GRGS et Institut de Munich). Cette solution est basée sur des méthodes d'intégration numérique et de calcul des dérivés partielles, sur un

processus de sélection des inconnues soigné. Elle a été établie à partir de 26 arcs d'orbites de neuf satellites. La durée de chaque arc est d'une quinzaine de jours. 36 stations ont participé aux 140 000 observations laser et photographiques. De plus, des observations supplémentaires de 21 satellites ont été utilisées pour une détermination des harmoniques de résonance (la solution pour les harmoniques d'ordre 15 étant celle de KING-HELE et pour les harmoniques zonaux celle de WAGNER).

Cette première solution a été comparée avec d'autres solutions utilisant un matériel d'observations nettement plus important. Les résultats de la comparaison avec ces modèles, avec des orbites de satellite et avec des profils de géoïde donnés par l'altimètre de Skylab sont suffisamment encourageants pour affirmer que les méthodes sont bien au point et que les améliorations ultérieures prévues (utilisations d'arcs supplémentaires, utilisation des données gravimétriques et altimétriques, itérations supplémentaires) permettront d'obtenir des solutions futures d'un niveau suffisant pour permettre un apport direct aux interprétations géophysiques et pour participer, de manière efficace, aux études géodynamiques.

Le modèle GRIM 1 a été réalisé et présenté par MM. BALMINO, REIGLER et MOYNOT.

Il est toutefois l'œuvre d'une équipe et les contributions de MM. BRACHET, FORESTIER, BROSSIER, MINGOT et de Mme BORDERIE, doivent être soulignées.

X – BIBLIOGRAPHIE COMPLEMENTAIRE

Comité National Français de Géodésie et Géophysique. – 136 bis, Rue de Grenelle, 75007 Paris. Comptes rendus 1971, 1972, 1973, 1974.

BALMINO G. (GRGS/CNES). – Sur certains problèmes et fonctions spéciales rencontrés en géodésie spatiale. Note G.R.G.S. (Réf. GB/3.237/CB/G.R.G.S.) – Avril 1973.

BALMINO G. (GRGS/CNES). – Inversion de grands systèmes linéaires. Note G.R.G.S. (Réf. GB/3.136/CB/G.R.G.S.) – Août 1973.

BALMINO G. (GRGS/CNES). – Mesures altimétriques et potentiel terrestre. Note G.R.G.S. (Réf. GB/2.249/CB/G.R.G.S.) – Août 1972.

BALMINO G. (GRGS/CNES). – Contribution à l'amélioration du potentiel terrestre. *Bulletin G.R.G.S.* n° 12 – Janvier 1974.

BALMINO G. (GRGS/CNES). – La représentation du potentiel terrestre par masses ponctuelles. *Bulletin géodésique* n° 111 – page 85.

BALMINO G., LAMBECK K. et KAULA W.M. (G.R.G.S. et Université de Californie). – A spherical analysis of the earth's topography. *Journal of Geophysical Research*, 78, 478, 1973.

BARLIER F., FALIN J.L., ILL M. et JAECK C. (G.R.G.S. – Meudon – Besançon). – Structure of the neutral atmosphere between 150 et 500 km. *Space Research XIII*, 349, 1973.

BARLIER F., BAUER P., JAECK C. et THUILLIER G. (G.R.G.S. – Meudon – C.N.E.T. et Service d'Aéronomie). – North-South Asymmetry in the Thermosphere during the last maximum of the solar cycle. COSPAR, Constance, 1973.

BORDET J.P. (G.R.G.S. – Meudon). – Etude de données géophysiques – Modélisations statistiques par régression factorielle. Thèse du 3^e cycle – Paris VI, 1973.

BOUDON Y. (G.R.G.S. – Meudon). – Correction de réfraction troposphérique dans la télémétrie par laser. Note technique G.R.G.S. n° 2 – Meudon – Mai 1973.

BROSSIER Cl. (G.R.G.S./CNES). – Sélection de données géodésiques pour la détermination du potentiel terrestre. Note G.R.G.S. (Réf. CB/GR/3.223/CB/G.R.G.S.) – Décembre 1973.

CAZENAIVE A. (G.R.G.S. Toulouse). – Détermination des paramètres de marées terrestres et océaniques à partir d'observations de satellites. Présenté au congrès international d'astronautique – Amsterdam, 1974.

CHAPRON-TOUZE M. (Bureau des Longitudes). – Détermination locale des anomalies de gravité et hauteur du géoïde à l'aide d'observations de satellites artificiels. *Bulletin géodésique*, n° 103, p. 47.

CORON S. – Grandes zones d'anomalies de la pesanteur dans le Bassin méditerranéen et ses bordures – Détails pour la région de Gibraltar. Symposium sur la Géodynamique de la région méditerranéenne, Athènes.

CORON S. et GUILLAUME A. – Etude gravimétrique sur le Golfe de Gascogne et les Pyrénées – Histoire structurale du Golfe de Gascogne, t. 1, IV, 9 – *Pub. Inst. Fr. Pétrole* n° 22 – Ed. Technip, 1971.

CORON S. et LAGRULA J. – Sur le gradient vertical sous-marin de la pesanteur C.R. *Académie des Sciences de Paris*, t. 272, p. 1449-1452.

DINESCU A. et BARLIER F. (Observatoire de Bucarest et G.R.G.S. Meudon). – Quelques utilisations simultanées optiques laser et doppler des satellites artificiels dans la géodésie géométrique spatiale. Note technique G.R.G.S. n° 4, 1974.

FOGLIANI-DELHAYE R. (Université de Tananarive et G.R.G.S. – Meudon). – Influence du frottement atmosphérique sur les satellites artificiels. Etude analytique du 3^e cycle – Paris VI – 1973.

FUTAULLY R. – Techniques, apports et avenir des principales méthodes de photographie des satellites artificiels. Thèse de Doctorat d'Université, Paris, 1974.

GAMBIS D. (G.R.G.S. Meudon). – On the effect of Earth radiation pressure in the motion of PAGEOS. Présenté au symposium COSPAR-UAI-UITAM – Sao Paulo, 1974.

HATAT J.L. – Ensemble de désignation et de commande de tir pour une station de télémétrie laser. Thèse de Doctorat d'Université, Paris, 1974.

HEUDIER J.L. (Observatoire de Nice). – Etude de la poursuite des satellites artificiels. *Bulletin G.R.G.S.*, n° 6, Décembre 1972.

HUSSON J.C. – Techniques laser en géodésie spatiale. Recueil de textes rassemblés. *Bulletin n° 1 du G.R.G.S.* (Juin 1971)

LAGRULA J. – Tectonique des plaques, expansion de la Terre et origine des continents. *C.R. Académie des Sciences*, 275, série B, p. 881.

LAGRULA J. – Sur le compartimentage de la Terre en éléments de même surface au moyen de méridiens et de parallèles. *C.R. Académie des Sciences, Paris*, t. 273, p. 884-888.

LAGRULA J., CLAVE DE OTAOLA B., DELATTRE J.M., SCHUSTER J.M. et WALCH J.J. – Etude de quelques anomalies gravimétriques du Sahara algérien (promontoire d'Amguid et Tafassasset). *C.R. Académie des Sciences*, t. 276, Série D, p. 1261-1265, 1973.

LAMBECK K. (G.R.G.S.). – Gravity anomalies over Ocean Ridges. *Geophys. Journal of the RAS*, 30, 37, 1972.

LAMBECK K. - The relation of some geodetic datums to a global geocentric reference system. *Bulletin géodésique* n° 99, p. 37, 1971.

LAMBECK K. - Comparison of surface gravity data with satellite data. *Bulletin géodésique* n° 100, p. 203, 1971.

LAMBECK K. - Determination of the Earth's pole of rotation from laser range observation to satellites. *Bulletin géodésique*, n° 101, p. 263, 1971.

LAMBECK K. - Ocean tide perturbations in the orbits of GEOS 1 and GEOS 2. *Celestial Mechanics* 10 (1974), p. 179-182.

LAMBECK K. - Determination of Earth and Ocean tides from the analysis of satellite orbits. Sydney, 1973 (Earth Gravity Field), p. 522-528.

LAMBECK K. - Effects of tidal distribution in the oceans on the Moon's orbit and the Earth rotation. *J. Geophys. Research* (in press, June 1975).

LAMBECK K. et CAZENAVE A. - The Earth's rotation and atmospheric circulation I. Seasonal variations. *Geophys. J.R. Astron. Soc.* 32, p. 79-93.

LAMBECK K. et CAZENAVE A. - The Earth's rotation and atmospheric circulation II. The continuum. *Geophys. J.R. Astron. Soc.* 38, p. 49-61.

LEVALLOIS J.J. - Le système géodésique de référence 1967 et le calcul des anomalies de la pesanteur. *Bulletin géodésique*, n° 103, Page 85.

LOUIS P. - Les grandes anomalies de la carte gravimétrique de l'Afrique occidentale et centrale. Assemblée Générale U.G.G.I., Moscou 1971.

MONGET J.M. et ALBUISSON M. - A new statistical treatment of gravity data. *Bulletin géodésique* n° 102 - Décembre 1971 - Page 451.

NOUEL F. (G.R.G.S./CNES). - Utilisation des mesures Doppler simultanées de 2 stations. Note G.R.G.S., Novembre 1973.

COMPTE-RENDU D'ACTIVITE D'ORGANISMES INTERNATIONAUX

On trouvera ci-après des articles concernant l'activité d'organismes internationaux dont le siège central est en France.

Nous remercions les Directeurs de ces organismes ainsi que les auteurs des articles d'avoir bien voulu permettre l'insertion, dans notre volume, de comptes rendus traduisant les activités marquantes des organismes qu'ils représentent.

ACTIVITE DU BUREAU INTERNATIONAL DE L'HEURE (*)

B. GUINOT

Directeur du BIH
Observatoire de Paris
62, Avenue de l'Observatoire - 75 - Paris (14)

Durant les années 1971 à 1975, le Bureau international de l'Heure (BIH) a poursuivi ses activités sur l'évaluation du temps universel UT1 et des coordonnées du pôle terrestre, sur la formation du temps atomique et sur l'unification mondiale de l'heure. Les améliorations des techniques de mesure et de leur traitement statistique, ainsi que les décisions prises par des organismes internationaux ont permis d'accroître la qualité de ces travaux et d'en étendre la portée.

ROTATION DE LA TERRE

a) Travaux courants

Le nombre d'instruments astrométriques employés pour suivre la rotation de la Terre est resté voisin de 80, mais le remplacement de quelques uns d'entre eux a amélioré la qualité moyenne des mesures.

Aux données de ces instruments s'ajoutent celles qui sont obtenues par les observations Doppler de satellites artificiels, traitées par le Dahlgren Polar Monitoring Service (U.S.A.). Après une étude comparative étendue sur les années 1967 à 1971, les résultats du DPMS ont pu être introduits dans les travaux réguliers du BIH le 1^{er} janvier 1972. Leur contribution est voisine de celle de l'ensemble des données astrométriques. De plus, une station française a entrepris des observations de satellites, qui, traitées à l'aide d'éphémérides fournies par le DPMS, conduisent à des mesures de latitude et de longitude ; ces mesures ont été utilisées par le BIH à partir du 1^{er} janvier 1974.

Une connaissance plus approfondie du comportement des instruments, apportée par l'accumulation des données passées, a permis d'améliorer la pondération qui assure la stabilité à long terme.

On rappelle que les résultats du BIH apparaissent sous forme de valeurs brutes des coordonnées x , y du pôle et de UT1-TAI, obtenues tous les 5 jours. Les valeurs finales de ces quantités sont publiées dans les rapports annuels du BIH. A partir du 1^{er} janvier 1972, afin de permettre la combinaison avec les données des satellites artificiels, les observations astrométriques ont été corrigées pour la déflexion de la verticale et pour la nutation diurne.

Pour les applications courantes, les données brutes par 5 jours sont lissées mensuellement par la méthode de Vondrak. Les valeurs lissées sont publiées dans les circulaires mensuelles et rappelées dans les rapports annuels.

A titre d'exemple, l'amélioration progressive des résultats du BIH est illustrée par la stabilité à court terme des valeurs brutes de 5 jours (figure 1). On notera que l'amélioration

(*) Ce rapport ne fait état que des travaux statutaires du BIH. Les travaux de recherche des membres du BIH sont rappelés ailleurs.

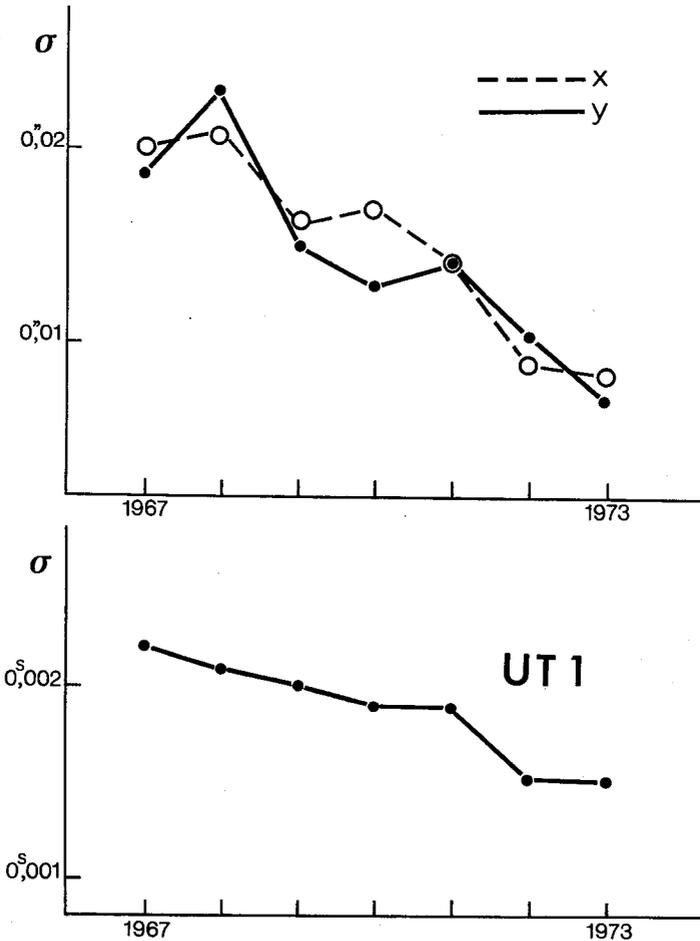


Figure 1 - Stabilité à court terme des valeurs des coordonnées x et y du pôle et de UT1. On donne la racine carrée de la variance d'Allan : $\sigma = \sigma(N = 2, T = \tau = 5 \text{ jours})$.

est moins nette pour UT1. D'une part UT1 ne bénéficie qu'indirectement des mesures sur satellites artificiels qui s'introduisent par l'intermédiaire des coordonnées du pôle ; d'autre part, il s'ajoute aux erreurs d'observation les effets des fluctuations de la rotation terrestre à très court terme. Ces fluctuations, survenant en quelques jours, ont été particulièrement sensibles au cours des premiers mois de 1974.

Bien entendu, les méthodes de calcul du BIH permettent d'utiliser les observations par des techniques d'observation autres que celles dont on vient de parler, même si elles ne fournissent qu'une équation liant x , y et UT1.

b) Service rapide pour la détermination de x , y et TU1

Pour les besoins de la recherche spatiale, et avec l'aide financière du Jet Propulsion Laboratory (USA) le BIH a inauguré en avril 1971 un service rapide de calcul des coordonnées du pôle et de TU1.

Ce service, toujours en fonctionnement en 1974, utilise les données d'une quinzaine d'observatoires et, depuis 1973, celles du DPMS. Grâce aux échanges de données par

télescriteur, les valeurs de x, y et UT1 pour tous les jours de chaque semaine sont mises à la disposition de leurs utilisateurs au cours du jeudi qui suit. Les incertitudes sont de l'ordre de 0''03 pour x et y, 0,003s pour UT1. Lors des manoeuvres des sondes spatiales Mariner 9 et Mariner 10, on a pu faire fonctionner un service journalier avec un jour de délai et des incertitudes du même ordre.

Ce service s'est révélé particulièrement utile en janvier 1974, lorsqu'une brusque accélération de la rotation terrestre a coïncidé avec les manoeuvres de Mariner 10.

TEMPS ATOMIQUE INTERNATIONAL

Depuis juillet 1955, le BIH a établi une échelle de temps basée sur un nombre aussi grand que possible d'étalons atomiques de fréquence. En octobre 1971, cette échelle a été reconnue par la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures et elle est devenue le "Temps Atomique International", désigné par TAI.

De 1969 à 1973, TAI fut calculé à partir des sept échelles locales de temps atomique de grands laboratoires d'Amérique du Nord et d'Europe. Cependant, pour unifier le traitement statistique des horloges participantes et pour en accroître le nombre, le BIH a jugé préférable de traiter directement les données de chacune des horloges. Après mise au point d'un programme de gestion automatique et d'un algorithme permettant de pondérer les données des horloges, des essais ont porté sur un an et demi, puis la nouvelle méthode est entrée en usage courant en juillet 1973.

En 1974, le TAI repose sur environ 60 étalons à césium commerciaux répartis dans 16 laboratoires. Son bruit aléatoire en fréquence, au delà d'un mois est un bruit de scintillation. On a trouvé que la stabilité en fréquence relative était caractérisée par la valeur suivante de la racine carrée de la variance d'Allan : $\sigma(N=2, \tau=30 \text{ jours}) = 0,5 \times 10^{-13}$.

Des travaux effectués à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (R.F.A.), au National Bureau of Standards (U.S.A.) et au BIH laissent craindre que la fréquence des étalons à césium commerciaux ait une dérive de fréquence commune ; par suite TAI serait affecté par cette dérive qui est de l'ordre de 1×10^{-13} par an. Du reste, même en présence du seul bruit aléatoire de scintillation en fréquence, la fréquence du TAI peut varier excessivement à long terme. Ces constatations imposent la référence aux étalons primaires, moins stables, mais plus exacts que les étalons commerciaux. Une méthode de "pilotage" du TAI a été mise au point et essayée par simulation. Elle sera mise en œuvre après l'achèvement des étalons primaires en cours de construction.

A grande distance et au plus haut degré de précision, la diffusion du TAI peut être assurée à 0,2 μ s près à l'aide du système de navigation LORAN-C, des transports d'horloges et des liaisons par satellites. Le BIH publie les écarts entre TAI et les indications des horloges participantes, à 0,2 μ s près environ ; chacune de ces horloges peut donc servir de référence temporelle.

UNIFICATION DE L'HEURE

Il est bien connu que les signaux horaires importants suivent le système du Temps Universel (Coordonné), UTC (*) qui réalise un compromis satisfaisant à la fois les utilisateurs de UT1 et de TAI. Le BIH est chargé de la mise en pratique de UTC, il prend les décisions et diffuse les avis nécessaires.

Au cours des dernières années, les horloges maîtresses des principaux laboratoires de métrologie et services horaires ont été ajustées sur UTC à quelques microsecondes près. De

(*) Ces désignations et notations ont été recommandées par le Comité international des Poids et Mesures en septembre 1974.

plus, dans plusieurs établissements, la fréquence des horloges maitresses est ajustée de façon à assurer le synchronisme avec UTC. Afin de montrer un exemple de la précision avec laquelle on peut maintenir ce synchronisme, nous signalerons que l'écart entre UTC et l'horloge maitresse de l'Observatoire Naval des Etats-Unis (Washington) n'a jamais excédé $0,7 \mu\text{s}$ entre le 8 mars 1973 et le 21 juin 1974.

On peut conclure que l'unification mondiale de l'heure au niveau de la microseconde est possible. Elle est déjà partiellement réalisée à quelques microsecondes près.

FONCTIONNEMENT DU BIH

Le financement du BIH est une cause permanente de soucis, en dépit de l'accroissement de l'allocation de la FAGS en 1973, de l'apport du Bureau International des Poids et Mesures et de l'aide considérable des autorités françaises. Le financement du Service Rapide par le Jet Propulsion Laboratory nous aide pour le moment, non pas parce que ce Service est bénéficiaire, mais parce que ses résultats nous épargnent du travail pour gérer le UTC.

En revanche, nous avons le plaisir de bénéficier d'une coopération totale des observatoires et laboratoires ; beaucoup d'entre eux nous ont aidés par des prêts d'instruments, par des prestations de services telles que transports d'horloges, diffusion locale de nos circulaires, par l'accueil en stage de nos collaborateurs. Il serait trop long d'indiquer ici la liste de tous ceux qui ont rendu nos travaux possibles — mais ils se reconnaîtront aisément ; la communauté scientifique et, d'une façon plus générale, tous les utilisateurs du temps leur doivent beaucoup de reconnaissance.

ACTIVITE DU BUREAU GRAVIMETRIQUE INTERNATIONAL, PARIS

Mlle CORONS

Directeur par interim du BGI

11, Quai Saint Bernard, Tour 14, 75 – Paris (5)

Un rapport détaillé sur le Bureau Gravimétrique International a été distribué à la réunion de la Commission Gravimétrique Internationale (Paris, Septembre 1974) et publié dans le Bulletin d'Information n° 35 (Novembre 1974).

Le Bureau Gravimétrique International a poursuivi son rôle de centralisateur et d'informateur. Il s'est efforcé au cours de ces dernières années d'étendre sa collaboration à de nombreux pays (69 en totalité) et de tenir à jour des cartes d'anomalies moyennes de la pesanteur à l'air libre. Des études particulières de ces anomalies moyennes ont été faites sur les résultats obtenus en Mer et en Antarctique.

L'adoption du nouveau système de référence gravimétrique mondial IGSN 71 (International Gravity Standardization Net 1971) intéresse un nombre de plus en plus grand de géodésiens et géophysiciens, qui se traduit par une demande accrue au B.G.I. de renseignements concernant ce Système.

Un Bulletin d'Information est distribué régulièrement à 300 exemplaires. Les principaux articles de ces Bulletins sont indiqués ci-après :

A) BULLETINS D'INFORMATION

N° 25, Mars 1971, 72 p.

- Compte-rendu de la Commission Gravimétrique Internationale (Sept. 1970)
- Mesures en mer – Cartes trajets n° 8, 11 et 12.

N° 26, Juin 1971, 70 p.

- Travaux gravimétriques effectués en U.R.S.S. en 1965-1969, C.G.I., Sept. 1970, Paris (texte français).
- Equal-area blocks, by J. LAGRULA
- Gravity base values in Tahiti, by R.T. HAWORTH
- Cartes d'altitudes moyennes (liste).

N° 27, Novembre 1971, 93 p.

- XVth General Assembly of the IUGG, Moscow, 28 July – 14 August 1971
- Rep. of the Sp. St. Gr. n° 4.21 on Special Techniques of Gravity Measurements by T. HONKASALO.
- Tables for condensation reduction by J.C. BHATTACHARJI (54 p.).

N° 28, Mars 1972, 72 p.

- Interpretation of the Geoid Shape by G. BARTA
- On the dependency of a sharp gravimeter scale factor on the altitude of observation points by Yu. D. BOULANGER and others.
- The three categories of Bouguer or isostatic anomalies by J. LAGRULA

N° 29, Juillet 1973, 70 p.

- On the further development of the IGSN 71 (International Gravity Standardization Net 1971) and the secular variation of gravity by YU. D. BOULANGER and T. HONKASALO.

- Carte d'anomalies moyennes à l'air libre par $5^{\circ} \times 5^{\circ}$, B.G.I. by S. CORON.

- Equal area blocks : on a practical solution for the sphere and the ellipsoid, by J. LAGRULA & J.M. LUBART.

- Mise au point concernant les méthodes d'extrapolation statistiques des données gravimétriques, by J. LEBART.

N° 30, Novembre 1972, 63 p.

- Notice nécrologique sur M.P. TARDI, Directeur du B.G.I.

- Information sur I.G.S.N. 71 (station Hanover) by W. TORGE.

- Traduction de 2 articles extraits de publications russes :

• Calcul des déviations gravimétriques ... pour la région des Alpes Occidentales par O.M. OSTACH et L.P. PELLINEN

• Un procédé d'interpolation des anomalies et des calculs des déviations gravimétriques de la verticale dans la région des Alpes Occidentales, par V.I. ARONOV et V.M. GORDIN.

N° 31, Mars 1973, 76 p.

- Sur les anomalies moyennes de la pesanteur, tests et résultats, anomalies à l'air libre par $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ par S. CORON.

- Anomalies moyennes s'étendant de 30° à 70° N et de 20° W.G. à 20° E.G.

N° 32, Juin 1973, 89 p.

- Corrections isostatiques Airy, 20 et 30 km, pour la région de la Méditerranée Occidentale à l'Ouest du méridien de 11° E.G. Tableaux et cartes donnant les corrections pour des points à intervalles réguliers de 15 minutes sexagésimales.

N° 33, Novembre 1973, 128 p.

- Liste des cartes d'anomalies de Bouguer (cartothèque B.G.I.) établie par J. BOUVET.

N° 34, Février 1974, 120 p.

- List of Bouguer anomalies maps (complements and errata to the list published in n° 33)

- Determination of gravitational acceleration ...

• at Moscow, Murmansk, Odessa and Nakhodka,

• at Cairo,

• at Postdam and Tokyo by YU. D. BOULANGER and others

Antarctique - Anomalies moyennes de la pesanteur par S. CORON et al.

N° 35, Novembre 1974, 120 p.

- VIIth Meeting of the International Gravity Commission (Sept. 1974)

- The International Gravity Community (I.G.C. - I.G.B.)

- Absolute gravity measurements

- Gravity measurements at sea.

B) CARTES

Carte d'Isanomales de Bouguer, au 1/10.000

“Europe – Afrique”; cette carte s'étend entre les parallèles 0° et 72° N et les méridiens 30° W.G. – 40° E.G.

La 4^e édition a été présentée à la réunion de la C.G.I. et vient d'être imprimée (1975).

Cartes des anomalies moyennes de pesanteur

- Anomalies moyennes à l'air libre par 5° x 5° (mondiale),
ancien système de référence 1972 (Bull. Inf. 29)
nouveau système de référence, nouvelle édition 1974 (C.G.I.)
- Anomalies moyennes à l'air libre par 1° x 1°
1^{ère} feuille : 30° à 70° N et 20° W.G. à 20° E.G. 1973 (Bull. Inf. 31)
- Anomalies moyennes de l'Antarctique
(air libre et Bouguer) 1974 (Bull. Inf. 34)

Cartes des ondulations du géoïde 1974 (C.G.I.)

LA MESURE ABSOLUE DE LA PESANTEUR

A. SAKUMA

Bureau International des Poids et Mesures (B.I.P.M.)
92310 Sèvres France

I. STATION GRAVIMETRIQUE DE SEVRES

Pendant la période de 1970 à 1974, le B.I.P.M. a poursuivi ses études pour améliorer l'exactitude de la mesure absolue de g avec l'installation fixe qui existe à Sèvres depuis 1967 [4].

Grâce à ces études et à l'utilisation des techniques les plus récentes : laser asservi sur une raie d'absorption saturée de l'iode pour la mesure des distances par exemple, la reproductibilité des mesures successives de g atteint $\pm 1 \mu\text{Gal}$ environ et l'exactitude des mesures est presque du même ordre [6]. Pourtant, les valeurs moyennes de g , obtenues d'un jour à l'autre en appliquant les corrections des marées théoriques, n'ont pas été aussi reproductibles ; parfois l'écart entre deux valeurs dépasse $\pm 5 \mu\text{Gal}$; cet écart est vraisemblablement dû à l'écart entre la marée théorique et la marée réelle. Ainsi une nouvelle station permanente de mesure de la marée gravimétrique "Sèvres M1" a été créée en 1974 au voisinage de l'appareil absolu de g [2].

L'appareil utilisé pour cette station est un gravimètre à ressort de type Western, transformé pour fonctionner avec une méthode de zéro, fondée sur un système d'asservissement électrostatique. Ce gravimètre a été installé sur une table anti-vibratoire, cette table elle-même se pose au fond d'un puits de 2 m de profondeur où la pression atmosphérique est maintenue constante. Pendant les sept premiers mois d'enregistrement quasi-ininterrompu, jusqu'à la fin 1974 la dérive moyenne du gravimètre a été de $+ 0,5 \mu\text{Gal}$ par jour. Cette faiblesse de dérive instrumentale a permis de déceler clairement des perturbations de la pesanteur liées à des variations de la pression atmosphérique dont les coefficients varient selon les conjonctures météorologiques entre $- 0,4 \mu\text{Gal}$ et $- 0,2 \mu\text{Gal}$ par millibar.

Cette combinaison du gravimètre relatif et du gravimètre absolu présente des avantages réciproques : l'appareil absolu permet d'évaluer les dérives de l'autre et de l'étalonner, l'appareil relatif fournit de façon continue pour l'appareil absolu les corrections réelles de la marée gravimétrique. Ainsi, la tendance à une variation séculaire de g de l'ordre de $10 \mu\text{Gal}$ par an [5, 6] pourra être évaluée plus précisément dans un avenir proche.

II. GRAVIMETRE ABSOLU TRANSPORTABLE

En collaboration avec l'Institut de Métrologie (I.M.G.C.) à Turin, le B.I.P.M. a construit un gravimètre absolu transportable de haute sensibilité : $\approx 10 \mu\text{Gal}$ [1]. Cet appareil est une version miniaturisée de l'appareil fixe du B.I.P.M. ; il utilise le même principe de la chute libre symétrique : montée et descente d'un trièdre optique. Toutefois les modifications suivantes présentent des avantages pour le transport :

– la distance parcourue par le trièdre lancé ($\approx 30 \text{ cm}$) est mesurée par comptage et décomptage de franges d'interférence d'un laser stabilisé :

— la mesure de g est faite dans un vide modeste de l'ordre de 0,1 Pa ($\approx 1 \mu\text{m Hg}$) : des expériences ont montré que grâce aux propriétés remarquables de la chute symétrique, la mesure de g reste correcte malgré le freinage de l'air résiduel.

L'appareil principal est composé de deux parties séparables : l'interféromètre dans un caisson étanche installé sur un bâti anti-vibratoire (≈ 40 kg) et la catapulte sous vide (≈ 60 kg), son encombrement en état de marche est de 0,6 m x 0,4 m x 1,5 m ; une équipe de deux personnes peut établir en une semaine une base absolue dans des lieux climatisés.

A la suite de nombreuses demandes pour l'utilisation de ce gravimètre, une firme française en a entrepris la fabrication commerciale [3].

III. STATION GRAVIMETRIQUE DE MIZUSAWA

Depuis 1972, le B.I.P.M. collabore avec l'International Latitude Observatory of Mizusawa (Japon) pour la création d'une station permanente de gravimétrie absolue [7] analogue à celle de Sèvres. Un laboratoire indépendant ($\approx 400 \text{ m}^2$) a été construit à cet effet en 1974 dans cet Observatoire et la construction des appareils est en cours.

[1] CERUTTI G. *et al.* — A transportable apparatus for absolute gravity measurements, *VDI Berichte* 212, p. 49-51, 1974.

[2] C.I.P.M. — Marées gravimétriques au B.I.P.M., *Procès-Verbaux du C.I.P.M.*, Tome 41, p. 48, Oct. 1973.

[3] JAEGER. — Transportable absolute gravity meter of $2 \times 10^{-7} \text{ m/s}^2$ accuracy, Document technique JAEGER, Levallois-Perret, France, 1974.

[4] SAKUMA A. — Observations expérimentales de la constance de la pesanteur au B.I.P.M., *Bull. Géod.*, n° 100, p. 159, 1971.

[5] SAKUMA A. — Une tendance de la variation de la pesanteur observée au B.I.P.M., *Bull. d'Information, Bur. Grav. Int.*, n° 27, p. 1-33, Nov. 1971.

[6] SAKUMA A. — A permanent station for the absolute determination of gravity approaching one micro Gal accuracy, *Proc. Symposium on earth's gravitational field & secular variation in position*, p. 674, 1973.

[7] SAKUMA A. — Report on absolute measurements of gravity, S.S.G. 4.18 of I.A.G. *Bull. d'Information, Bur. Grav. Int.*, n° 35, p. 1-40, Nov. 1974.

SECTION II

**SEISMOLOGIE ET PHYSIQUE
DE L'INTÉRIEUR DE LA TERRE**

TABLE DES MATIERES

	Pages
I – Liste des stations sismologiques françaises P. MECHLER	51 3
II – Séismicité et seismotectonique J.P. ROTHE	57 9
III – Ondes de volume : Structure de la terre et sources sismiques G. PERRIER	61 13
IV – Ondes superficielles et vibrations propres de la Terre N. JOBERT	67 19
V – Sismogrammes synthétiques, modèles mathématiques, modèles réduits C. MARTEL	69 21
VI – Prospection sismique G. GRAN	71 23
VII – Microséismes P. BERNARD	76 28
VIII – Prévisions (séismes, tsanamis, houle) P. BERNARD	78 30

I – LISTE DES STATIONS SISMOLOGIQUES FRANCAISES

P. MECHLER

Laboratoire de Géophysique Appliquée
Université Paris VI
4, place Jussieu, 75230 Paris

A l'occasion de l'Assemblée Générale de l'U.G.G.I. (Grenoble 1975), il a paru utile d'inclure dans le compte-rendu national français une liste des principales stations sismologiques françaises. Dans une première partie, nous indiquerons les stations de France métropolitaine, dans une seconde, celles des Départements et Territoires français d'Outre-Mer. Ne pouvant fournir une description détaillée de toutes ces stations, il nous a paru plus judicieux de donner un tableau, par ordre alphabétique du code, des stations, avec indication des coordonnées et de l'organisme auprès duquel tout sismologue intéressé pourra obtenir les renseignements complémentaires ainsi que des données sismiques. Ce tableau sera suivi d'une liste des organismes auprès desquels il est possible de se renseigner, avec indication de leur adresse, de la personne responsable, et de brefs commentaires sur les stations sismiques.

Finalement, nous donnerons de brèves informations sur des stations situées en dehors de la France, mais dont l'équipement a été fourni par la France.

FRANCE METROPOLITAINE

Code	Nom	Latitude	Longitude	Altitude	Orga- nisme
ARH	ARCHIGNAC	45°00'35" N	01°18'42" E	320 m	6
BAF	BELACKER	47°50'05" N	06°59'43" E	1 025 m	5
BSF	BALLON de SERVANCE	47°50'00" N	06°47'38" E	1 200 m	6
CVI	CALVI	42°34'04" N	08°52'10" E	530 m	6
CDF	CHAMP DU FEU	48°24'49" N	07°16'35" E	1 080 m	6
FLN	LA FOLINIÈRE	48°45'45" N	00°28'55" W	230 m	6
GRC	GARCY	47°17'44" N	03°04'25" E	191	2
GRR	GORRON	48°23'18" N	00°51'30" W	220 m	6
HAU	HAUDOMPRES	48°00'19" N	06°21'00" E	570 m	6
ISO	ISOLA	44°11'00" N	07°03'00" E	876 m	1
LBF	LES BUTEAUX	46°59'00" N	03°58'38" E	660 m	6
LFF	LA FRESTAL	44°56'15" N	00°44'11" E	180 m	6
LMR	LA MOURRE	43°20'00" N	06°30'33" E	200 m	6
LNS	LANSLEVILLARD	45°17'20" N	06°54'53" E	1 480 m	5
LOR	LORMES-SOMME	47°16'00" N	03°51'05" E	520 m	6
LPF	LE PERTRE	48°01'54" N	01°02'30" W	170 m	6
LPO	LE POUCHOU	44°41'00" N	01°11'14" E	330 m	6
LRG	LORGUES	43°27'15" N	06°21'38" E	100 m	6
LSF	LA SOUTERRAINE	46°15'00" N	01°32'03" E	425 m	6
MFF	St MARTIN du FOUILLOUX	46°36'05" N	00°08'36" W	260 m	6
MLS	MOULIS	42°57'36" N	01°04'48" E	450 m	3
MLV	MALVAUX	47°15'56" N	03°02'19" E	180 m	2
MNY	MONTEYNARD	44°57'38" N	05°41'28" E	422 m	5
OPSM	Observatoire du Parc St-Maur	48°48'34" N	02°29'37" E	47 m	4
POU	POUILLOUX	46°36'53" N	04°21'55" E	327 m	2
RSL	ROSELEND	45°41'18" N	06°37'32" E	1 583 m	5
SGR	SEGRE	47°42'36" N	00°55'12" E	90 m	3
SPF	St PAUL en FORET	43°33'50" N	06°41'46" E	340 m	6
SSB	St SAUVEUR en RUE	45°16'48" N	04°32'24" E	700 m	3
SSC	St SAUVEUR de CARROUGES	48°35'03" N	00°06'27" W	300 m	6
SSF	St SAULCE	47°03'41" N	03°30'25" E	360 m	6
STR	STRABOURG	48°35'05" N	07°45'57" E	135 m	5
TCF	TOULX Ste CROIX	46°17'17" N	02°12'50" E	640 m	6
VDM	VILLIERS ADAM	49°06'00" N	02°19'48" E	70 m	3
VOU	VOUGLANS	46°23'56" N	05°39'03" E	495 m	5
WLS	WELSCHBRUCH	48°24'46" N	07°21'13" E	775 m	5
	CLERMONT-FERRAND	45°45'46" N	03°06'09" E	400 m	7

LISTE DES ORGANISMES

auprès desquels il est possible d'obtenir des renseignements complémentaires sur les stations sismologiques. Indiquons bien que ce ne sont pas forcément les organismes dont dépendent juridiquement les stations.

(1) ASSOCIATION FRANCAISE DE SEISMOLOGIE EXPERIMENTALE

26, rue Censier – 75005 Paris

Personne à contacter : Mme Y. LABROUSTE

La station ISO est équipée de sismographes courte période (V et H) à enregistrement photographique.

(2) CENTRE DE RECHERCHES GEOPHYSIQUES DU C.N.R.S.

58150 Pouilly-sur-Loire

Personne à contacter : M.P. BALTENBERGER

La station GRC enregistre en longue période et courte période (enregistrement photographique). Les stations MLV et POU, seulement les C.P. La station MLV, permanente de 1970 à 1972, assure la continuité des enregistrements pendant les arrêts techniques de GRC.

(3) INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS

4, Place Jussieu – Tour 14 – 75230 Paris Cedex 05

Personne à contacter : M.A. SIMONIN

Les stations MLS, SSB et SGR sont équipées de sismographes à large bande, enregistrement magnétique analogique des signaux de forte intensité.

Les stations MLS, SSB et VDM enregistrent en continu les longues périodes sur bandes magnétiques numériques.

(4) INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS

même adresse que le précédent

Personne à contacter : M.P. BERNARD

La station OPSM créée en 1912 est spécialisée dans l'étude des microséismes. Des stations similaires ont été installées par le même organisme : Brest, Hendaye (1969 à 1971), Casablanca (1972-1974), Sidi Bou Said (1972-1973), ou par d'autres personnes : Picauville (Manche) (M. l'Abbé Levert).

(5) INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE STRASBOURG

5, rue René Descartes – 67084 Strasbourg Cedex

Personne à contacter : M.E. PETERSCHMITT

Les stations dépendent de l'I.P.G.S. ou de l'Electricité de France. Les stations sont toutes équipées de courte période à enregistrement photographique ou à encre. La station STR est la plus ancienne de France (1895), elle enregistre aussi les longues périodes.

Signalons aussi les stations de Besançon (BES), arrêtée en juin 1973, et de Bagnères-de-Bigorre (BDB), arrêtée en juin 1970, dont les archives sont conservées à Strasbourg.

(6) LABORATOIRE DE DETECTION ET DE GEOPHYSIQUE

Section de Traitement des données

Boite postale n° 136 - 92120 Montrouge

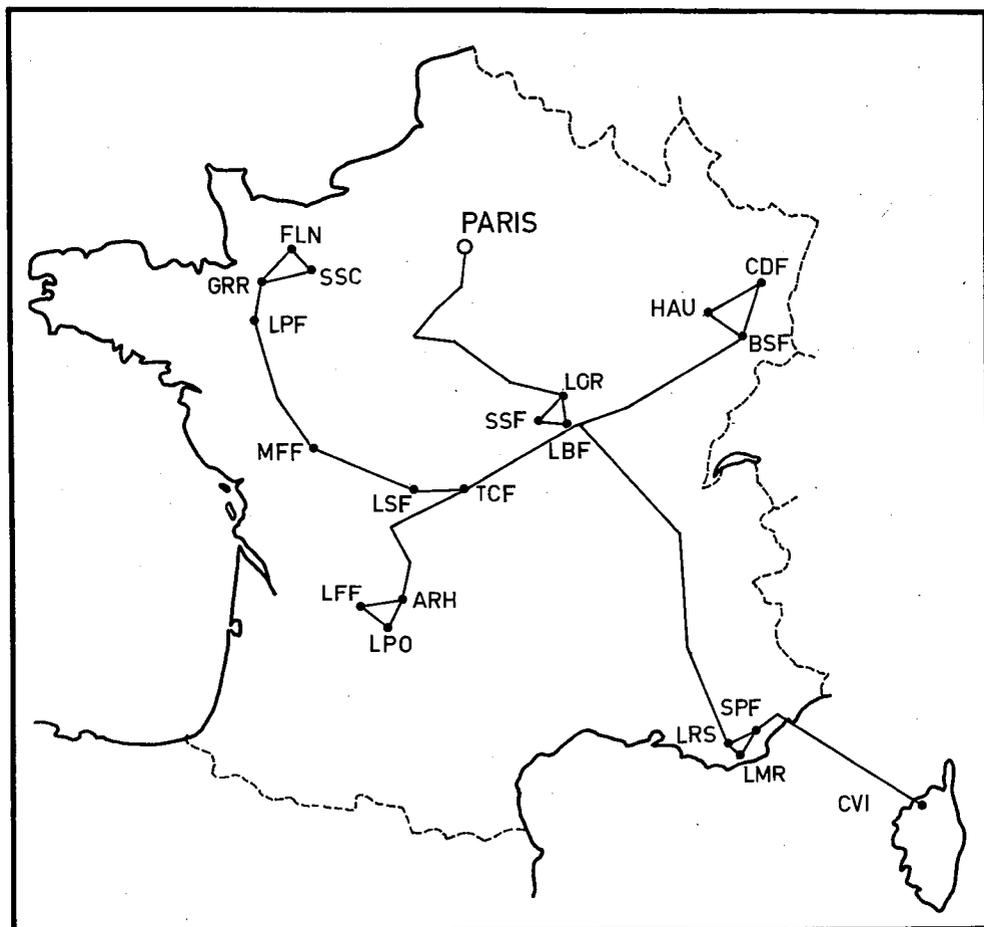
Personne à contacter : M.B. MASSINON

Le Laboratoire de Détection et de Géophysique du Commissariat à l'Energie Atomique assure le fonctionnement du réseau sismique français. Ce réseau constitue l'ensemble français le plus homogène. Il comprend 20 stations courte période : sismographes verticaux 1 Hz munis d'un préamplificateur large bande fournissant un signal de 3,2 millivolt par micromètre. Les signaux sont retransmis dans la région parisienne par un réseau de liaison hertzienne et enregistrés sur bande magnétique (après digitalisation : 50 échantillons par seconde et par voie). La station LOR est aussi équipée de sismographes longue période. D'autres stations, non retransmises à Paris par le réseau de télémesure, n'ont pas été indiquées dans cette liste. La carte jointe montre l'implantation du réseau.

(7) INSTITUT ET OBSERVATOIRE DE PHYSIQUE DU GLOBE DU PUY-DE-DOME

12, Avenue des Landais - 63001 Clermont-Ferrand Cedex

La station possède 3 composantes Galitzine ou Faux-Wenner de moyenne période, et 1 vertical Grenet courte période.



FRANCE D'OUTRE-MER

Code	Nom	Latitude	Longitude	Altitude	Orga- nisme
GUADELOUPE					
	Observatoire de la Guadeloupe	16°01'44" N	61°40'56" W	646 m	3
KERGUELEN					
KCH	MONT du CHATEAU	49°14'39" S	70°08'40" E		2
KPB	PORT BIZET	49°31'10" S	69°54'02" E		2
KPD	PORT DOUZIEME	49°31'00" S	70°09'25" E		2
MARTINIQUE					
	Obs. de la Martinique	14°44'00" N	61°09'01" W	510 m	4
NOUVELLE CALEDONIE et NOUVELLES HEBRIDES					
INH	ISANGEL	19°32'50" S	169°16'23" E	110 m	6
KOU	KOUMAC	20°33'43" S	164°16'53" E	17 m	6
LMP	LAMAP	16°25'32" S	167°48'01" E	60 m	6
LNR	LONORORE	15°51'07" S	168°09'36" E	8 m	6
LUG	LUGANVILLE	15°31'04" S	167°07'48" E	150 m	6
NOU	NOUMEA	22°18'36" S	166°27'02" E	105 m	6
PVC	PORT VILA	17°44'24" S	168°18'43" E	80 m	6
POLYNESIE FRANCAISE					
AFR	AFAREAITU	17°32'18" S	149°46'40" W		1
PAE	PAEA	17°39'43" S	149°34'48" W		1
PMO	POMARIORIO	15°00'13" S	147°53'50" W		1
PPN	PAPENOO	17°31'51" S	149°25'56" W		1
PPT	PAMATAI	17°34'08" S	149°34'32" W		1
RKT	RIKITEA	23°07'11" S	134°58'24" W		1
RUV	RAUVAI	15°11'20" S	147°23'02" W		1
TPT	TIPUTA	14°59'04" S	147°37'11" W		1
TVO	TARAVAO	17°46'57" S	149°15'06" W		1
VAH	VAIHOA	15°14'20" S	147°37'52" W		1
TERRITOIRE FRANCAIS des AFARS et des ISSAS					
ART	ARTA	11°31'16" N	42°50'16" E	710 m	1
ATA	ATAR	11°27'12" N	43°12'20" E	50 m	5
OBK	OBOCK	11°59'07" N	43°17'30" E	40 m	5
TDJ	TADJOURA	11°47'44" N	42°53'20" E	60 m	5

(1) LABORATOIRE DE GEOPHYSIQUE

B.P. 640 PAPEETE Polynésie Française
 Personne à contacter : M.J. TALANDIER

L'équipement utilisé dans ces dix stations est le même que celui du réseau sismique français (voir plus haut à Laboratoire de Détection et de Géophysique). Toutes les stations, à l'exception de RKT, sont retransmises par liaison radio à la station principale de PPT. L'enregistrement est fait sous forme graphique.

(2) LABORATOIRE DE GEOPHYSIQUE APPLIQUEE

Université Paris VI - 4, Place Jussieu - Tour 15-14 - 75230 Paris Cedex 05
 Personne à contacter : M.L. PASTOR

Ces trois stations équipées du même matériel que celles du réseau sismique français sont retransmises à Port-au-Français où se trouve l'ancienne station des Iles Kerguelen. Les stations dépendent des "Terres Australes et Antarctiques Françaises".

(3) LABORATOIRE DE PHYSIQUE DU GLOBE

97120 ST-CLAUDE - Guadeloupe

Personne à contacter : M.M. FEUILLARD

En plus de la station mentionnée, un réseau de sismographes téléenregistrés permet d'assurer la surveillance sismique du Volcan de la Guadeloupe. Les stations dépendent de l'I.P.G. de Paris.

(4) OBSERVATOIRE DE MORNE DES CADETS

Fonds St Denis - 97250 St Pierre - Martinique

Personne à contacter : M.J.P. VIODE

Comme en Guadeloupe, un réseau sismique téléenregistré permet d'assurer la surveillance volcanologique de l'île. Les stations dépendent de l'I.P.G. de Paris.

(5) OBSERVATOIRE SISMOLOGIQUE DU T.F.A.I.

B.P. 1888 Djibouti - Territoire Français des Afars et des Issas

Personne à contacter : M.J.C. LEPINE

Toutes les informations provenant de sismographes verticaux courte période sont centralisées dans la station principale de ART par liaison radio. L'enregistrement se fait en permanence de façon graphique et, lorsque les signaux dépassent un seuil, sur bande magnétique analogique. Les stations dépendent de l'I.P.G. de Paris.

(6) OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Centre de Nouméa - B.P. A 5 Nouméa Cedex - Nouvelle Calédonie

Personne à contacter : M.J. DUBOIS

Cet ensemble de stations est équipé de sismographes verticaux courte période (et horizontaux à NOU). Signalons que de 1963 à 1974, une station complémentaire a fonctionné à Ouanaham (OUA).

Un certain nombre de stations a été installé par la France dans le monde entier, soit que la France ait fourni le matériel nécessaire et, depuis, la station fonctionne grâce à nos collègues étrangers, soit qu'il s'agisse de stations dont les enregistrements sont dépouillés par des Français.

Il est possible d'obtenir des renseignements pour les stations dépouillées en France aux adresses suivantes :

ORSTOM, 24, rue Bayard - 75008 Paris

IPGP, Tour 14, 4, Place Jussieu - 75230 Paris Cedex 05

II – SEISMICITE ET SEISMOTECTONIQUE

J.P. ROTHE

Professeur à l'Université Louis Pasteur
5 Rue René Descartes
67000 – Strasbourg

L'essor des études de sismicité déjà signalé dans le rapport précédent a continué à se manifester en particulier en raison du souci qu'ont les ingénieurs d'assurer la sécurité des nouvelles installations utilisant l'énergie nucléaire. De plus les cartes de sismicité fournissent les documents indispensables à la compréhension de la tectonique régionale et mondiale ; elles constituent le guide le plus sûr pour définir les limites des "plaques" en déplacement.

La sismicité de la France pendant la période 1961-1970 a fait l'objet d'une publication détaillée (ROTHER, 1972a) ; 193 séismes ont été étudiés et 56 cartes isoséistes ont été dessinées ; le tracé de ces cartes reste un moyen précieux pour la détermination des épicentres et, par suite, pour l'interprétation des phases des séismogrammes. L'analyse des enregistrements obtenus pour ces 193 séismes dans les stations françaises – et en particulier dans le réseau dense et efficace mis en place par le laboratoire de Physique de l'Ecole Normale Supérieure avec la collaboration du Commissariat à l'Energie atomique – a fait l'objet d'une étude détaillée en utilisant le programme mis au point sur ordinateur par le Centre de Calcul de l'Université de Strasbourg. Par ailleurs à partir d'épicentres macroséismiques les vitesses des ondes Pn, Pg, Sg ont été calculées ; les valeurs trouvées dans les ondes Pg sont généralement un peu inférieures aux vitesses utilisées dans les Tables d'Haslach incorporées au programme sur ordinateur. L'établissement de nouvelles tables régionales est souhaitable.

L'activité sismique pendant la période 1971-1974 a été régulièrement étudiée. Certaines des répliques du séisme qui a provoqué des dégâts dans l'île d'Oléron (7 septembre 1972) ont pu être enregistrées par des stations mobiles temporaires ; pour quatre des répliques on a calculé les spectres de réponse fournissant les valeurs maximales d'accélération, de vitesse et de déplacement et définissant la bande de fréquence correspondante (ANONYME, 1973).

L'abbé GRAINDOR (Laboratoire de Géologie du Collège de France), spécialiste de l'étude des socles européens, après avoir recherché les relations entre la sismicité du Massif Armoricaïn et les grandes fractures du socle, a étendu ses recherches à la Vendée et au détroit du Poitou ; dans cette dernière région de nouvelles directions rhégnatiques apparaissent qui expliquent les anomalies que présente le tracé du cours de la Charente et en particulier son tronçon nord-sud entre Civray et Angoulême. Une nouvelle étude détaillée a montré que dans le domaine du socle ante-mésozoïque de la France les séismes destructeurs se situaient toujours dans quelques régions bien délimitées, régions dont une étude rhégnatique plus serrée permet de définir les emplacements (GRAINDOR 1970, 1973 ; GRAINDOR et ROTHÉ, 1972).

Les photographies de la France obtenues par satellites permettent de dessiner un certain nombre de grands alignements structuraux ; il est possible que certains de ces alignements soient en relation avec les épicentres des séismes ; des recherches sont en cours dans ce domaine (GUILLEMOT et al, 1973).

Profitant de son séjour à Strasbourg et de l'abondante documentation conservée au Bureau central sismologique français, M. RADU a cherché à comparer la sismicité de l'arc

alpin en Roumanie avec celle que cet arc présente dans sa partie occidentale dans le Sud-est de la France. Cette comparaison a amené M. RADU à présenter la première étude statistique précise de la sismicité de la France, étude basée sur la détermination de la magnitude de 200 séismes pour la période 1901-1972. Le problème de la prévision de l'activité future a été abordé par le calcul et soulève en particulier la question importante de la magnitude maximale pour une région déterminée (RADU, 1973). Il ne saurait de toute façon s'agir que d'une prévision à l'échelle régionale. Sauf dans quelques cas très particuliers (par exemple au voisinage de lacs-barrages surveillés par des réseaux spéciaux de sismographes), la prévision de la date et du lieu précis d'un séisme restera, pour longtemps encore sans doute, irréalisable.

Plusieurs travaux importants de sismicité régionale présentés comme Thèses de Doctorat d'Etat ont été publiés. Outre la thèse de C. RADU (1974) dans laquelle a été reprise l'étude statistique de la sismicité de la France citée plus haut, il faut souligner les travaux de C. BLOT (1974) et de G. PASCAL (1974). C. BLOT a présenté la synthèse des résultats de longues et tenaces recherches sur les relations temporelles entre les séismes intermédiaires et profonds, des arcs insulaires et les éruptions volcaniques. La possibilité de prévoir certaines éruptions volcaniques a été mise à l'épreuve avec succès.

Le mémoire de G. PASCAL est une contribution à l'étude de la sismicité des Nouvelles-Hébrides ; une première partie est consacrée à la curieuse zone de foyers se trouvant à des profondeurs de 600 à 650 kms au nord-est de l'arc des Nouvelles Hébrides ; l'absence d'activité sismique entre 300 et 600 kms de profondeur correspond à une absence de lithosphère ; dans une deuxième partie, l'auteur s'est intéressé plus spécialement à la lithosphère plongeant sous l'arc des Nouvelles Hébrides entre 0 et 300 km de profondeur ; la zone sismique a été redéfinie de façon précise ; peu épaisse (30 km entre 0 et 70 km de profondeur, 20 km au moins au delà de 70 km) elle plonge avec un pendage très élevé variant entre 80° et 60° suivant la latitude (PASCAL, 1974).

Poursuivant l'étude de la sismicité de l'Algérie - et utilisant en particulier la documentation rassemblée par Mlle A. GRANDJEAN - BENHALLOU et ROUSSEL (1971a, 1971b) ont rédigé un catalogue détaillé des secousses originaires de l'Algérie pendant la période 1951-1970 ; 70 cartes isoséistes ont pu être tracées avec précision à partir des enquêtes macroséismiques. La carte des épicentres dressée pour cette période confirme les relations de la sismicité avec les grandes zones tectoniques précédemment définies en Algérie.

L'application de la théorie de la tectonique des plaques à la Méditerranée occidentale s'avère très délicate et a fait l'objet de plusieurs études de chercheurs français (BEUZART, 1972 ; GRINDA, 1974).

G. DUBOURDIEU a établi une carte de la sismicité du globe en considérant dans chaque carré de 4 degrés de côté en longitude et en latitude le séisme de magnitude la plus élevée pendant la période 1897-1965 et en traçant à partir de ces données des lignes d'égale énergie sismique. Bien que la représentation géométrique utilisée ait pour résultat de dessiner des zones sismiques de largeur anormalement grande la carte montre clairement les régions de forte activité sismique et permet de reconnaître le tracé - approximatif - des Rifts océaniques (G. DUBOURDIEU, 1973a).

Par ailleurs le même auteur a poursuivi l'étude statistique des séismes déjà mentionnée dans le rapport précédent et tenté de confirmer sa théorie du "corps pulsant". (G. DUBOURDIEU, 1971, 1972, 1973b, 1973c, 1974).

Dans le domaine du génie paraséismique et en particulier en ce qui concerne l'influence des séismes sur les réacteurs nucléaires, plusieurs travaux ont été publiés (COSTES, 1972 ; DESPEYROUX, 1973 ; GABLE, 1971 ; GABLE et HUMBERT, 1972 ; PLICHON, 1970). On mentionnera que le comité interministériel pour l'étude des risques naturels a demandé que les Règles de protection paraséismiques PS-69 soient rendues obligatoires pour les

bâtiments publics des localités appartenant aux cantons français classés en zones de "sismicité moyenne". Un rapport de synthèse concernant la sismicité de la France et l'application des Règles de constructions parasismiques a été présenté au symposium de Cannes consacré à la sécurité des constructions (ROTHE, 1973).

L'activité sismique "provoquée" a continué à attirer l'attention des chercheurs. Un rapport général a été présenté au symposium de Knoxville (ROTHE, 1973a). En France il faut signaler les séismes qui se sont produits en juin 1971 au voisinage du grand barrage de Vouglans (hauteur : 110 m ; volume du réservoir : 605 Mm³). Dans le bassin d'Aquitaine l'exploitation du gisement pétrolifère de Lacq et la mise en oeuvre de puits d'injection d'eau sur ce gisement se sont accompagnées d'une activité sismique non négligeable (ROTHE, 1972a) dont l'étude se poursuit au moyen de stations mobiles.

L'UNESCO a assuré la publication régulière chaque année d'un "Résumé d'information sur les catastrophes naturelles" ; le chapitre consacré aux séismes comporte dans chaque fascicule annuel l'indication des paramètres (heure origine, coordonnées hypocentrales, magnitude) de 600 à 700 séismes (en particulier tous ceux de magnitude au moins égale à 6), des renseignements sur l'ampleur des dégâts causés par ces séismes et une bibliographie (ROTHE, 1971, 1972, 1973, 1974).

ANONYME. - Etude des séismes récents de la région d'Oléron, rapport préliminaire, Département de sûreté nucléaire, Commissariat à l'Energie atomique, rapport SESR-R-1, juin 1973.

BENHALLOU H., FERRER A. et ROUSSEL J. - Catalogue des séismes algériens de 1951 à 1970, Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie, publ. N° 3, Alger 1971a, 197 pages et annexe.

BENHALLOU et ROUSSEL J. - Sur les séismes et la sismicité de l'Algérie de 1951 à 1970, Note I.M.P.G.A. N° 4, 1971b. Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie, Alger 1971, 47 pages, 68 cartes isoséistes.

BEUZART P. - Sismicité du bassin méditerranéen et des régions avoisinantes, Centre océanologique de Bretagne, Département scientifique, Contribution n° 147, 1972, 5p., 5 fig.

BLOT CL. - Volcanisme et sismicité dans les arcs insulaires ; prévision de ces phénomènes, Thèse Clermont-Ferrand, juin 1974.

COSTES D. - Précautions parasismiques pour les réacteurs nucléaires, *Nuclear Engineering and Design*, 20 (1972), pp. 371-383.

DESPEYROUX J. - L'état actuel de la protection antisismique, Symposium sol et sous-sol et sécurité des constructions (Cannes 1973), *Bur. Recherches Géol. et Minières*, vol. II, pp. 173-177.

DUBOURDIEU G. - L'énergie des séismes et les mécanismes géologiques, 1 fasc., Imprim. du Neubourg, 1971, 80 p.

DUBOURDIEU G. - Sur la période sismique de 4 ans, 1 fasc., Impr. di Neubourg, 1972, 48 p.

DUBOURDIEU G. - Carte sismique du Monde (en deux feuilles), Géotechnip, Nantes, 1973a.

DUBOURDIEU G. - Sur la théorie des pulsations internes de la Terre et sur certaines variations du champ magnétique terrestre, 1 fasc., impr. du Neubourg, 1973b, 60 p.

DUBOURDIEU G. - Un argument en faveur de la théorie des pulsations internes de la Terre : la variation quadriennale de la distribution des séismes intermédiaires et profonds, *C.R. Acad. Sc., Paris*, t. 277, (Série D) 1973, pp. 1109-1112.

DUBOURDIEU G. - La théorie des pulsations internes de la Terre : compléments, B.E.I.C.I.P. *Geotechnip*, 1974, 48 p.

EDEL J.B. - Sismicité de la structure salifère de Manosque, Institut Phys. Globe Strasbourg, un rapport, juin 1974, 67 pages ronéotypées.

GABLE R. - Recueil d'une documentation sur le "génie sismique", Service géologique national, Orléans 1971, rapport 71 GPHO 45, 10 p. ronéotypées.

GABLE R. et HUMBERT M. - Prévision et prévention du danger sismique, Service géologique national, Orléans, Rapport 72 SGN 111 AME, Mars 1972, 26 p. ronéotypées.

GRAINDOR M.J. - Influence des dislocations majeures du Massif Armoricaïn sur la néotectonique, *Revue géographie phys. et géol. dynamique* (2), vol. XIII, fasc. 1, Paris 1970, pp. 25-34.

GRAINDOR M.J. - Le rhéguatisme du socle varisque à l'Ouest de la France, ... au centre de la France, ... au Nord et à l'Est de la France, suivi d'un schéma d'ensemble, (*C.R. Acad. Sc. Paris*, vol. 274, 1972 (série D), pp. 2427-2430, 2566-2569, 3061-3064).

GRAINDOR M.J. - Répartition des épicentres sismiques dans le socle antémésozoïque de la France, Symposium sol et sous-sol et sécurité des constructions (Cannes 1973), *Bur. recherches géologiques et minières*, t. I, pp. 225-234.

GRAINDOR M.J. et ROTHE J.P. - Sismicité et Rhéguatisme dans l'Ouest de la France, *Annales Inst. Phys. Globe Strasbourg*, nouvelle série, 3^e partie (Géophysique), t. IX, Strasbourg, 1972, pp. 135-141, 8 fig.

- GRINDA L. — Les problèmes non-résolus de la tectonique de plaques en Méditerranée occidentale, Rapports et procès-verbaux. Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Méditerranée, (C.I.E.S.M.), vol. 22, fasc. 2a, 1973, pp. 61-63.
- GUILLEMOT J., GUY M. et Mlle LOBJOIT M. (Mme CAVALIER M.). — Un système cohérent d'alignements structuraux commun aux Alpes et aux Pyrénées mis en évidence par le satellite ERTS 1, *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 277 (30 juillet 1973), série D, pp. 481-484, 2 fig.
- PASCAL G. — Contribution à l'étude de la sismicité des Nouvelles Hébrides, Thèse, Paris 1974.
- PLICHON C. — Etude dynamique de la réponse d'un réacteur nucléaire à une excitation sismique, *Nuclear Engineering and Design*, 12, (1970), p. 1.
- RADU C. — Fréquence et magnitude des séismes en France, Symposium sol et sous-sol et sécurité des constructions (Cannes 1973), *Bur. recherches géologiques et minières*, t. I, pp. 235-246.
- RADU C. — Contribution à l'étude de la sismicité de la Roumanie et comparaison avec la sismicité du bassin méditerranéen et en particulier avec la sismicité du Sud-Est de la France, Thèse, Strasbourg, avril 1974.
- ROTHER J.P. — Sismicité de l'Atlantique oriental, de la Méditerranée occidentale et de ses bordures, *Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique* (2), vol. XIII, fasc. 5, pp. 419-428, Paris 1971.
- ROTHER J.P. — La sismicité de la France de 1961 à 1970, *Annales Inst. Phys. Globe Strasbourg*, nouvelle série, 3^e partie, Géophysique, t. IX, Strasbourg 1972a, pp. 3-134, 60 fig.
- ROTHER J.P. — L'étude macrosismique ; la sismicité (Séismes et Séismologie), *Encyclopaedia Universalis*, 1972d, pp. 842-845.
- ROTHER J.P. — Geophysics Report, Man-Made Lakes, Their problems and Environmental Effects, *Geophysical Monograph* 17, Amer. Geophys. Union, Washington DC, 1973a, pp. 441-454.
- ROTHER J.P. — Sismicité (Rapport de synthèse), Symposium sol et sous-sol et sécurité des constructions, (Cannes 1973), *Bur. Recherches géol. et minières*, vol. II, 1973b, pp. 47-64, 6 fig.
- ROTHER J.P. — La vie et l'oeuvre de Montessus de Ballore, *Revue mensuelle de la Société des anciens élèves de l'Ecole polytechnique*, Paris, n° 286, 1973c, pp. 25-32.
- ROTHER J.P. — Tremblements de terre, Résumé annuel d'informations sur les catastrophes naturelles, N° 4 (1969), UNESCO Paris 1971, pp. 7-56 ; *id.* N° 5 (1970), UNESCO Paris 1972, pp. 7-50 ; *id.* N° 6 (1971), UNESCO Paris 1973, pp. 9-52 ; *id.* N° 7 (1972), UNESCO Paris 1974, pp. 7-52.

III – ONDES DE VOLUME : STRUCTURE DE LA TERRE ET SOURCES SISMIQUES

Guy PERRIER

Institut de Physique du Globe de Paris
Université Paris – VI
4 place Jussieu, Paris 75230

L'introduction de l'enregistrement magnétique dans la plupart des observatoires permanents et dans les stations mobiles explique en grande partie la qualité des recherches qui furent effectuées ces quatre dernières années dans le domaine des ondes de volume.

LES SONDAGES SISMIQUES PROFONDS

En 1968, dans un souci de coordonner les recherches de sismologie expérimentale, était créée l'opération "Grands Profils Sismiques" dans le cadre de l'Institut National d'Astronomie et de Géophysique. Après un renouvellement et une modernisation de l'appareillage (30 stations mobiles) ainsi qu'après une étude de nouvelles techniques de tir, la première campagne des GPS était réalisée en 1970 dans le Massif Central. D'autres campagnes devaient se succéder chaque année permettant la réalisation, souvent en collaboration avec des chercheurs étrangers, de profils terrestres (grands profils Brest-Toulon, Abbeville-Valence, Cherbourg-Limoges, Vallée du Rhône, Préalpes, Fossé Rhéna etc.), marins ou couplés terre-mer (TFAL, mer d'Alboran-Maroc-Espagne, Baléares-Corse, Madère-Iles Canaries-Iles du Cap Vert, Iles Açores etc.). Le grand nombre et la qualité des enregistrements permettaient une étude fine de la croûte et du manteau supérieur dans ces régions.

Dans le Massif Central (PERRIER et RUEGG, 1973 ; HIRN et PERRIER, 1974), deux types principaux de structure furent mis en évidence : l'un situé à l'est et à l'ouest du massif sous le vieux socle cristallin correspond à une croûte stratifiée moins épaisse et plus morcellée à l'est (27 km) qu'à l'ouest (30 km). Le manteau qu'elle surmonte est normal. Dans la partie centrale, sous les zones volcaniques et les fossés d'effondrement, la croûte s'amincit (24 km) et le manteau devient anormal. Le bombement du massif dont le Forez est la clé de voûte s'accompagne également d'un bombement des couches plus profondes dont celui de l'asthénosphère plus légère, ce qui a pour effet de provoquer en surface une extension dont l'intensité a dû varier dans le temps mais qui est à l'origine de la formation des fossés et des fractures par lesquelles la lave en fusion a pu remonter jusqu'à la surface, donnant ainsi naissance aux volcans.

Un tel amincissement de la croûte est également observé dans d'autres régions à tectonique d'extension telles que le fossé rhéna (Rhinegraben Research group for explosion seismology, 1972) et la vallée du Rhône (SAPIN et HIRN, 1974). Dans les Préalpes, à l'est du Rhône, (SAPIN et HIRN, 1974), les résultats obtenus confirment l'épaississement rapide de la croûte normale en direction des zones alpines internes. En Bretagne (SAPIN, 1973, SAPIN et PRODHEL, 1973), la structure de la croûte est semblable à celle obtenue en France pour d'autres domaines hercyniens, et ne comprend en particulier ni inversions de vitesse ni larges zones de transition entre la croûte et le manteau. On observe cependant une grande corrélation entre les hodochrones des ondes Pg et les variations dans la géologie du socle.

Les très longs profils réalisés en France en 1971 et 1972 permirent de définir avec précision la loi de vitesse des ondes P dans le manteau supérieur. Dans la lithosphère (HIRN, STEINMETZ, KIND et FUCHS, 1973), deux phases suivant l'onde Pn furent observées entre 300 et 600 km de distance. L'inversion simultanée des durées de propagation, des vitesses de phase et des amplitudes avec l'aide des sismogrammes synthétiques mit en évidence l'existence d'une zone à moindre vitesse épaisse de 10 km, 10 km seulement en dessous du Moho, et celle d'une augmentation rapide de vitesse vers 85 km de profondeur. Cette zone à moindre vitesse, dans l'hypothèse d'un manteau pyrolitique, serait une zone enrichie en serpentine et pourrait ainsi permettre un découplage à l'intérieur de la lithosphère (BOTTINGA, HIRN et STEINMETZ, 1974). A plus grande distance, une phase P réfléchie de forte amplitude est observée entre 900 et 1500 km ainsi que la réfractée associée.

La profondeur maximale du niveau réflecteur est trouvée égale à 190 km. L'étude des vitesses permet de conclure à l'existence d'une zone à moindre vitesse, identifiée comme étant l'asthénosphère, entre 100 et 190 km (Steinmetz, Hirn et Perrier, 1974). Une autre discontinuité est trouvée vers 330 km de profondeur.

En résumé, nous pouvons dire que la stratification de tout le manteau supérieur a été mise en évidence en France au fur et à mesure que les dispositifs d'observations ont gagné en densité de stations et en étendue. Les observations ont fait apparaître de nombreuses branches d'hodochrones se relayant l'une l'autre tout au long d'une hodochrone moyenne passant par les maximums d'amplitude successifs et qui, ne pouvant être résolue par les observations classiques de séismes, est de ce fait improprement associée à la phase dite Pn.

Les profils sismiques permettant d'étudier la structure de la croûte et du manteau supérieur en zone océanique sont en cours d'interprétation. Les seuls résultats publiés concernent la zone de dorsale de l'AFAR en territoire français des Afars et des Issas (RUEGG, 1974). Si le type de croûte mis en évidence est océanique, la croûte épaisse de 6 à 10 km surmonte un manteau anormal (7 km/s). La vitesse des ondes S anormalement faible indique la possibilité de fusion partielle à faible profondeur. Des arrivées tardives de basse fréquence semblent indiquer d'autre part, la présence d'une zone d'inversion de vitesse entre 30 et 50 km de profondeur. Signalons qu'un réseau local de surveillance sismique fonctionne dans cette région et que, dans le cadre de l'ATP Géodynamique, des stations temporaires ont été également installées au Maroc et en Espagne pour l'étude sismologique de la zone entourant Gibraltar et la mer d'Alboran (IPG Paris).

L'étude de la zone de transition entre les structures continentale et océanique de la croûte en Provence a été achevée par RECQ (1974). Elle montre un amincissement rapide de la croûte non seulement du NW vers le SE lorsqu'on se rapproche de la côte mais aussi d'W en E en direction de Monaco.

L'étude sismique de la zone d'anomalie magnétique du Bassin Parisien a été poursuivie (BALTENBERGER, 1973). L'absence d'onde Pn et PmP dans l'axe de l'anomalie conduit à relier cette dernière à une anomalie du manteau supérieur.

LES TELESEISMES ET LA STRUCTURE DU MANTEAU ET DU NOYAU TERRESTRES

Une interprétation des anomalies des durées de propagation et des amplitudes de téléseismes enregistrés dans le réseau sismique français du laboratoire de détection et de géophysique du CEA a été faite par MECHLER, MSEDDEI, OKAL, PLANTET et ROCARD (1974). Ces anomalies sont attribuées à une variation en profondeur de la discontinuité des 600 km qui plongerait sous la France de 550 km(NE) jusqu'à 710 km(SW). Une carte des anomalies des durées de propagation des ondes P enregistrées en France à partir des tirs souterrains des îles Aléoutiennes a été également présentée (BALTENBERGER, LABROUSTE et MECHLER, 1973).

On y remarque surtout les retards, de l'ordre de la seconde, observés par rapport aux massifs cristallins anciens dans la région des volcans du Massif Central. D'autre part, GIRARDIN ET POUPINET (1974) ont montré les retards importants des ondes S pour des séismes ayant eu lieu sur la dorsale médio-atlantique et enregistrés en Europe.

L'utilisation de l'enregistrement magnétique dans les observatoires a permis de développer les recherches sur l'atténuation des ondes sismiques. Ainsi CHOUDHURY (1972) et CHOUDHURY et DOREL (1973) ont montré : d'une part qu'il était possible de connaître avec assez de précision l'atténuation moyenne Q_p avec la distance : en particulier la région de faible Q mise en évidence à la base du manteau à partir des longues périodes n'est pas confirmée pour les courtes périodes (1 à 2,5S) ; d'autre part, à partir des ondes ScP et ScS, que la valeur moyenne de Q_s dans le manteau entre la mer de Tasmanie et la Terre Adélie était de 380. CHOUDHURY (1973) a également montré par des études spectrales de la phase P de séismes de magnitude 5, 2-6, 4 que le spectre présentait un maximum autour de 2 s et que le calcul de la magnitude M_b pouvait être erroné du fait des pertes de type Q aux courtes périodes et des différences dans la fonction source pour les grandes périodes.

SARY (1974) a étudié les ondes S transformées en P aux discontinuités du manteau terrestre.

En ce qui concerne la zone de transition manteau-noyau, l'étude des durées de propagation des ondes S, ScS et SmKS a conduit PASCAL (1974) à proposer un nouveau modèle de vitesse des S dans le manteau inférieur (gradient de vitesse négatif dans les 192 derniers kilomètres du manteau), un nouveau rayon du noyau ($R = 3489$ km) et un modèle de vitesse dans le noyau externe. BUCHBINDER et POUPINET (1973), à partir de l'étude des PcP, suggèrent l'existence d'une couche liquide de plusieurs km d'épaisseur et de haute impédance entre le manteau et le noyau. Les mêmes auteurs associés avec WRIGHT (1973) font également part de l'observation d'ondes PKiKP à des distances faibles ($20 < \Delta < 50^\circ$ et $70 < \Delta < 105^\circ$) avec des sismographes verticaux de courtes périodes.

LES ARCS INSULAIRES

La collaboration entre l'ORSTOM et l'Université de CORNELL pour l'étude des arcs insulaires du sud-ouest du Pacifique. (Nouvelles-Hébrides, Tonga, Fidji) s'est poursuivie activement. Les résultats qui ont fait l'objet de plusieurs publications (voir bibliographie) ont été rassemblés par PASCAL (1974). Ils montrent que le trou important d'activité sismique observé entre les séismes de foyers intermédiaires et profonds dans la partie nord de l'arc des Hébrides correspondrait à une absence de lithosphère plongeante et que les séismes profonds étaient la marque d'un morceau de lithosphère qui se serait détaché. Un autre trou de sismicité est également mis en évidence entre 50 et 130 km de profondeur au centre de l'arc.

La sismicité de l'arc des petites Antilles a été étudiée par DOREL, ESCHENBRENNER et FEUILLARD (1971). On note l'absence de séisme ayant une profondeur supérieure à 200 km et une concentration des foyers les plus profonds au centre de l'arc. Les mécanismes au foyer de deux séismes importants sont compatibles avec une extension de la croûte en avant de l'arc. D'autre part, des profils sismiques réalisés entre la Guadeloupe et la Martinique ont montré que la structure profonde qui rappelle celle que l'on trouve sous le Japon, prolongeait celle déjà connue du bassin Caraïbe mais avec un épaissement des couches. Si le Moho existe sous l'arc, sa profondeur devrait être supérieure à 28 km.

LES MODELES DES SOURCES SISMQUES

HOANG THONG PHO (1974) et MINSTER B. (1974) ont apporté une contribution importante à la théorie des sources sismiques. Leurs travaux sont le reflet des recherches

effectuées dans ce domaine à l'IPG de Strasbourg et au California Institute of Technology. HOANG TRONG PHO précise dans son travail les modèles de source sismique utilisant la théorie des dislocations en s'intéressant plus particulièrement aux spectres de l'onde P pour plusieurs types de failles. Les résultats sont appliqués aux séismes de l'Hindou-Kouch. Minster examine de son côté les aspects élastodynamiques du phénomène de rupture en milieu continu précontraint, son but étant d'obtenir un modèle physique du phénomène sismique qui permette de prédire le champ de radiation élastique en fonction des paramètres décrivant la source. Il donne la solution générale dans le cas d'une zone de rupture dont la croissance et la propagation sont déterminées à l'avance. Après une étude détaillée sur l'origine de l'énergie libérée, il conclut que le flux d'énergie est le facteur essentiel qui contrôle la croissance de la zone de rupture.

AUBERT M. et PERRIER G., 1971. — Structure profonde du Massif Central, in "Symposium J. Jung, Géologie, Morphologie et structure profonde du Massif Central français, Ed. Scientifique, Clermont-Ferrand, p. 45-69.

BALTENBERGER P., 1971. — Contribution à l'étude de la croûte terrestre dans le sud et le sud-est du Bassin

BALTENBERGER P., 1973. — Etude sismique de la zone d'anomalie magnétique du Bassin Parisien, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 276 D, p. 277-280.

BALTENBERGER P., LABROUSTE Y. et MECHLER P., 1973. — Anomalies de durée de propagation des ondes P observées en France lors des explosions nucléaires souterraines des Iles Aléoutiennes, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 277 D, p. 1625-1628.

BARAZANGI M., ISACKS B.L., OLIVER J., DUBOIS J. et PASCAL G., 1973. — Descent of lithosphere beneath New Hebrides, Touga-Fiji and New Zealand : evidence for detached slabs, *Nature*, 242, p. 90-101.

BARAZANGI M., ISACKS B.L., DUBOIS J. et PASCAL G., 1974. — Seismic wave attenuation in the upper mantle beneath the southwest Pacific, *Tectonophysics*, sous presse.

BOTTINGA Y., HIRN A. et STEINMETZ L., 1974. — Implications de l'existence d'un canal à moindre vitesse sous Moho, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, XV, 5-6, p. 500-505.

BUCHBINDER G.G.R. et POUPINET G., 1973. — Problems related to PcP and the core-mantle boundary illustrated by two nuclear events, *B.S.S.A.*, 63, pp.2047-2070.

BUCHBINDER G.G.R., WRIGHT C. et POUPINET G., 1973. — Observations of PKiKP at distance less than 110°. *BSSA*, 63, p. 1699-1707.

CHOUDHURY M.A., GIESE P. et VISINTINI G. de, 1972. — Crustal structure of the Alps : some general features from explosion seismology, *Boll. Geol. Teor. Appl.*, XIII, 51-52, p. 211-240.

CHOUDHURY M.A., 1972. — P. Wave attenuation in the mantle, *Zeits. f. Geophys.*, 38, p. 447-453.

CHOUDHURY M.A., 1973. — Behaviour of P phase spectrum in relation to magnitude calculation, *Pure and Appl. Geophys.*, 103, p. 397-404.

CHOUDHURY M.A. et HOURI A., 1973. — A low cost observatory tape Recorder, *BSSA*, 63, p. 877-884.

CHOUDHURY M.A. et DOREL F., 1973. — Spectral ratio of short-period ScP and ScS phases in relation to the attenuation in the mantle beneath the Tasman sea and the Antarctic region, *J.G.R.*, 78, p. 462-469.

COULOMB J. et JOBERT H., 1973. — Rédacteurs, *Traité de Géophysique Interne*, Messon, Paris.

DOREL J., ESCHENBRENNER S. et FEUILLARD M., 1972. — Vitesses sismiques et anomalies de propagation sous l'arc des petites Antilles, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 273 D, p. 302.

DOREL J., ESCHENBRENNER S. et FEUILLARD M., 1971. — Contribution à l'étude sismique de l'arc des petites Antilles, *Ann. Géophys.*, 27, p. 205-302.

DOREL J., ESCHENBRENNER S. et FEUILLARD M., 1974. — Profils sismiques dans les petites Antilles, *Ann. Geophys.*, 30, p. 117-126.

DUBOIS J., 1971. — Propagation of P waves and Rayleigh waves in Melavessia, Structural implications, *JGR*, 76, p. 7217-7240.

DUBOIS J., PASCAL G., BARAZANGI M., ISACKS B.L. et OLIVER J., 1973. — Travel times of seismic waves between the New Hebrides and Fiji islands : a zone of low velocity beneath the Fiji plateau, *JGR*, 63, p. 3431-3437.

DUBOIS J., LARVE B., PASCAL G. et REICHENFELD C., 1973. — Seismology and structure of the New Hebrides, in the Western Pacific : island arcs, marginal seas, geochemistry, Coleman Ed., Univ. Western Australia p. 213-222.

GIESE P., MORELLI C. et STEINMETZ L., 1973. — Main features of Crustal structure in western and Southern Europe based on data of explosion Seismology, *Tectonophysics*, 20, p. 267-379.

GIRARDIN N. et POUPINET G., 1974. — Teleseismic S travel time delay for Mid-Atlantic ridge earthquakes, *Phys. Earth, Plan. Int.*, sous presse.

GOBERT B., HIRN A. et STEINMETZ L., 1972. — Shots of profile II, recorded on land, North of Pyrénées, *Bull. Centre Rech. Pan, SNPA*, 6, p. 433-444.

- GRUPE GRANDS PROFILS SISMIQUES et GERMAN RESEARCH GROUP FOR EXPLOSION SEISMOLOGY, 1972. — A long-range profile from the Bretagne to the Provence, *Ann. Géophys.*, 28, p. 247-256.
- BUCHBINDER G.G.R., WRIGHT C. et POUPINET G., 1973. — Observations of PKiKP at distance less than 110°, *lower lithosphere in France (Southern Bretagne)*, *Zeitsch. f. Geoph.*, 39, p. 363-384.
- HIRN A. et PERRIER G., 1974. — Deep seismic sounding in the Limagne graben, in "Approaches to Taphrogenesis", Illies et Fuchs, Ed., Stuttgart, p. 329-340.
- HOANG TRONG PHO et ROULAND D., 1971. — Mécanisme au foyer du séisme d'Arette, Pyrénées atlantiques, *C.R. Acad. Sci.*, 272 D, p. 3249-3251.
- HOANG TRONG PHO, 1971. — Etude comparative des spectres d'énergie de la composante verticale de l'onde P observée en deux stations voisines, *Ann. Géophys.*, 27, p. 303-310.
- CHOUDHURY M.A. et DOREL J., 1973. — Spectral ratio of short-period ScP and ScS phases in relation to the attenuation
- HOANG TRONG PHO et LEGROS H., 1973. — Modèle circulaire de source sismique, *Pure and Appl. Geophys.*, 11.
- HOANG TRONG PHO et LEGROS H., 1973. — Quelques paramètres caractéristiques des sources sismiques de l'Hindou. Kouch, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 278, p. 135-137.
- HOANG TRONG PHO, 1974. — Caractérisation des sources sismiques au moyen des spectres de l'onde P. Application à l'étude de quelques séismes de l'Hindou-Kouch. Thèse d'Etat, Strasbourg.
- COULOMB J. et JOBERT H., 1973. — Rédacteurs, *Traité de Géophysique Interne*, Masson, Paris.
- LABROUSTE Y., 1972. — Sismographie, les ondes sismiques et leur interprétation, in *Encyclopedia Universalis* 2, p. 832-839.
- LEPINE J.C., STEINMETZ L. et RUEGG J.C., 1972. — Seismic profiles in Djibouti Area, in East African Rifts, Gindler, Ed., *Tectonophysics*, 15, p. 59-64.
- LEPINE J.C. et RUEGG J.C., 1973. — Premiers enseignements de la crise sismique survenue dans la région de Djibouti (T.F.A.L.) en mars-avril 1973, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 277 D, p. 33-36.
- MECHLER P., MSEDDE R. et PLANTET J.L., 1971. — Carte générale du bas de l'asthénosphère sous la France, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 273 D, p. 298-301.
- MECHLER P. et ROCARD Y., 1971. — Description d'un relief remarquable présenté aux Vosges par une couche de discontinuité de vitesse vers 600 km de profondeur, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 272 D p. 3120-3123.
- MECHLER P., PLANTET J.L. et RUDANT J.P., 1973. — Temps de propagation des ondes sismiques et vitesse de ces ondes sous la France, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 276 D, p. 2139-2142.
- MECHLER P., MSEDDE R., OKAL E., PLANTET J.L. et ROCARD Y., 1974. — Investigation of the 600 km discontinuity based on data of explosion Seismology, *Tectonophysics*, 20, p. 367-379.
- MINSTER J.B., 1974. — Contribution à la théorie des sources sismiques : aspects élastodynamiques du phénomène de rupture en milieu continu, Thèse d'Etat, Paris.
- MSEDDE R., 1972. — Structure du bas de l'asthénosphère sous la France ; implications sismotectoniques. Thèse 3^e cycle, Paris.
- PASCAL G., DUBOIS J., BARAZANGI M., ISACKS B.L. et OLIVER J., 1973. — Seismic velocity anomalies beneath the New-Hebrides island arc : evidence for a detached slab in the upper mantle, *JGR*, 78, p. 6998-7004.
- PASCAL G., 1974. — Contribution à l'étude de la sismicité des Nouvelles-Hébrides. Ondes sismiques réfléchies, réfractées, ou diffractées par la surface du noyau terrestre, Thèse d'Etat, Paris.
- PERRIER G., 1972. — Sismographie et Sismologie, in *Encyclopedie internationale des Sciences et des Techniques*, Paris.
- PERRIER G., 1973. — Structure profonde des Alpes occidentales et du Massif Central français, Thèse d'Etat, Paris, 203 p.
- PERRIER G. et RUEGG J.C., 1973. — Structure profonde du Massif Central français, *Ann. Géophys.*, 29, p. 435-502.
- PLANTET J.L., 1972. — Cartographie du bas de l'asthénosphère sous l'Europe occidentale ; vérifications sismologiques, Thèse 3^e cycle, Paris.
- REQQ M., 1972. — La structure profonde de la croûte terrestre sous le massif de l'Estérel, *Boll. di Geof. Teor. ed Appl.*, XIV, 55 p. 253-268.
- REQQ M., 1972. — Profils de réfraction en Ligurie, *Pure and Appl. Geophys.*, 101, p. 155-161.
- REQQ M., 1972. — Sur la stabilité récente du massif des Maures et son indépendance par rapport aux régions environnantes, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 275 D, p. 333-336.
- REQQ M., 1973. — Contribution à l'étude de la structure profonde de la croûte terrestre dans la région de Nice, *Boll. di Geof. Teor. ed Appl.*, XV, 58, p. 161-180.
- REQQ M. et BELLAICHE G., 1972. — La structure de la croûte terrestre au sud des Maures, *Boll. di Geof. Teor. ed Appl.*, XIV, 53-54, p. 128-149.
- REQQ M., 1974. — Contributions à l'étude de la zone de transition entre la structure continentale et la structure océanique de la croûte terrestre entre Toulon et Gênes, Thèse d'Etat, Paris, 190 p.
- RHINEGRABEN RESEARCH GROUP FOR EXPLOSION SEISMOLOGY, 1974. — The 1972 seismic refraction experiment in the Rhinogreben — First results, in *Approaches to Taphrogenesis*, Illies et Fuchs, Ed., Stuttgart, p. 122-137.
- RUDANT J.P., 1973. — Contribution à l'étude des tables de propagation des ondes sismiques à faible distance. Cas de la France, Thèse de 3^e cycle, Paris.

RUEGG J.C. et HIRN A., 1971. — Réflexions sismiques profondes observées à courtes distances dans le sud du Massif Central, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 268, p. 1544-1546.

RUEGG J.C., 1974. — Structure profonde de la croûte terrestre au moyen de grands profils sismiques. Application à l'étude de zones de distension (sud-est AAR et Massif Central français), Thèse d'Ehah, Paris, 461 p.

SAPIN M., 1973. — Structure de la croûte de la Bretagne au Massif Central, Thèse 3^e cycle, Paris.

SAPIN M. et PRODEHL C., 1973. — Long range profiles in western Europe ; I — Crustal structure between the Bretagne and the Central Massif of France, *Ann. Géophys.*, 29, p. 127-145.

SAPIN M. et HIRN A., 1974. — Results of explosion seismology in the southern Rhône Valley, *Ann. Géophys.*, 30, p. 181-202.

SARY D., 1974. — Recherche des ondes transformées S \longrightarrow P, aux discontinuités du manteau terrestre, Mém. Ing. IPG Strasbourg.

SOURIAU M., 1974. — Acquisition et traitements des données numériques pour les Grands Profils Sismiques, Thèse d'Etat, Paris.

STEINMETZ L., HIRN A. et PERRIER G. 1974. — Réflexions sismiques à la base de l'asthénosphère, *Ann. Géophys.*, 30, p. 173-180.

VEINANTE J.L., 1973. — Filtres de vitesse pour les ondes de volume, Thèse de 3^e cycle, Paris.

IV – ONDES SUPERFICIELLES ET VIBRATIONS PROPRES DE LA TERRE

N. JOBERT

Institut de Physique du Globe
Université Paris VI
4 place Jussieu, Paris 75230

Quatre stations sismologiques à très longue période, équipées d'enregistreurs numériques, ont été progressivement installées et fonctionnent régulièrement depuis 1972. Les enregistrements obtenus ont permis de poursuivre les études de vibrations propres de la Terre présentées par R. Gaulon dans sa thèse (1971) : à partir des enregistrements de 12 séismes importants des périodes de vibrations propres toroïdales et sphéroïdales ont été déterminées pour le mode fondamental, quelques harmoniques et des modes radiaux, ainsi que des vitesses de phases pour divers grands cercles.

Les mesures du facteur de qualité effectuées par R. Gaulon ont été suivies d'une étude systématique de l'amortissement des vibrations propres et des ondes superficielles du manteau par G. ROULT (1974). Cette étude a bénéficié de progrès réalisés dans le traitement de l'analyse des enregistrements (CARA, 1973 ; A. SOURIAU, 1974).

Des mesures de vitesse de phase d'ondes de Rayleigh entre les deux stations méridionales (St Sauveur-Badols et Moulis) mettent en évidence un manteau supérieur anormal dans cette région (A. SOURIAU, 1974).

Les effets d'ondulations topographiques irrégulières sur la propagation d'ondes de Rayleigh de longueur d'onde courte par rapport au rayon de courbure font l'objet de la thèse de L. MARTEL (1974). Il montre, avec l'aide de modèles réduits, qu'un effet sur la vitesse de phase et l'amplitude, cumulatif avec la distance, avec de plus un effet local sur l'amplitude, sont calculables pour une surface quelconque. Une méthode de G. JOBERT (1974) est utilisée.

Une étude de la propagation des ondes PL au Canada a permis à G. POUPINET (1972) de déduire des vitesses de groupe des variations régionales de la structure de la croûte. Il a ensuite expliqué certaines propriétés des ondes PL(S) observées par des particularités de la courbe de propagation des S dans le manteau supérieur (1972, 1974). G. POUPINET (1973) a d'autre part contribué à une interprétation par des modes à perte d'effets de résonance dans la croûte terrestre dus à la présence d'une couche sédimentaire.

GAULON R. – Détection, traitement et interprétation des ondes sismiques de très basse fréquence (ondes de surface et oscillations libres de la Terre). Thèse de Doctorat d'Etat, Paris 1971.

BLUM P.A. et GAULON R. – Détection et traitement des ondes sismiques de très basse fréquence. *Ann. Géophys.*, 27, 123, 1971.

GAULON R. – Observations des oscillations propres sphéroïdales et toroïdales.

– Mode fondamental pour les ordres compris entre 2 et 51. *Ann. Géophys.*, 27, 141, 1971.

– Observation des harmoniques. *Ann. Géophys.*, 28, 225, 1972.

GUPTA S.K. et MARTEL L. – Onde amortie de type Rayleigh à l'interface de deux milieux solides à fort contraste de densité et de vitesses. *Geophys. Prospecting*, Vol. XIX, 413, 1971.

POUPINET G. – Relations entre les ondes PL dans un milieu borné et les modes normaux de vibration. *Ann. Géophys.*, 27, 105, 1971.

MARTEL L. – A propos des ondes de Rayleigh sur une surface courbe : surface cylindrique concave. *Ann. Géophys.*, 28, 199, 1972.

- POUPINET G. — PL waves and the crustal structure in Canada. *Can. Journ. of Earth Sciences*, 9, 1011., 1972.
- POUPINET G. and WRIGHT C. — The generation and properties of shear coupled PL waves. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 62, 1699, 1972.
- CARA M. — Méthodes d'analyses de trains d'ondes multimodes et observation d'ondes S_2 de type SH. Thèse de Coctorat de 3^e cycle, Paris, 1973.
- CARA M. — Filtering problem of dispersed wave-trains. *Geophys. Journ. of the R.A.S.*, 33, 65, 1973.
- GIRARDIN N. — Propagation de l'onde R_2 en Afrique. Thèse de Doctorat de 3^e Cycle, Paris, 1973.
- RATNIKOVA L., POUPINET G. et LEVŠHIN A. — Les propriétés de guide d'onde de la croûte terrestre avec une couche sédimentaire. *Ann. de Géophys.*, 29, 375, 1973.
- SOURIAU-THEVENARD A. — Conditions d'observation et méthodes d'analyse des modes de Rayleigh (Thèse de Doctorat de 3^e cycle Paris 1973) *Ann. Géophys.*, 30, 203, 1974.
- SOURIAU-THEVENARD A. — Vitesse de phase des ondes de Rayleigh dans le sud de la France. *C.R.Ac.Sc.*, 279D, 1523, 1974.
- ROULT G. — Etalonnage des appareils destinés aux enregistrements sismiques à très longue période. *Cahiers IPG*, n° 44, Paris 1972.
- ROULT G. — Thèse de Doctorat de 3^e Cycle, Paris 1973. Atténuation des ondes sismiques de très basse fréquence. *Ann. Géophys.*, 30, 141, 1974.
- ROULT G. — Attenuation of seismic waves of very low frequency. *Phys. Ear h and Planet. Interiors*. Sous Presse.
- MARTEL M. — Ondes de Rayleigh en milieu homogène à surface irrégulièrement ondulée. Thèse de Doctorat d'Etat, Paris 1974.
- JOBERT G. — Méthode d'Haskell pour les ondes P-SV et les ondes de Rayleigh en milieu à stratification cylindrique. *C.R. Ac. Sc.*, 278, 1083, 1974.
- POUPINET G. — PL(S) à 40° et la discontinuité de vitesse des S à 850 km de profondeur. *Ann. Géophys.*, 30, 127, 1974.

V – SISMOGRAMMES SYNTHETIQUES, MODELES MATHEMATIQUES, MODELES REDUITS SISMIQUES

L. MARTEL

Institut de Physique du Globe
Université Paris VI
4 place Jussieu, Paris 75230

Une méthode couramment employée dans la construction des sismogrammes synthétiques utilise la théorie géométrique des rais et l'équation de l'eikonal. OKAL et MECHLER (1973) ont montré que la série obtenue dans la méthode de l'eikonal diverge au bout d'un temps fini. Pour des milieux hétérogènes à stratification non plane (ou non sphérique) et à faible pendage JOBERT (1973) a donné des méthodes permettant de paramétrer les rais, de calculer et d'inverser les hodochrones. L'étude de la discontinuité des ondes S à 850 kilomètres de profondeur a été faite par POUPINET (1974) à partir d'une sommation de rais. SOURIAU (1972) a proposé un algorithme d'inversion totale pour les sismogrammes synthétiques de réflexion sous incidence oblique à partir de la méthode matricielle d'HASKELL. JOBERT (1974) a donné une formulation nouvelle des propagateurs qui est une solution exacte en coordonnées cartésiennes de problèmes de propagation des ondes élastiques en coordonnées cylindriques. Un autre mode de calcul, à partir d'une superposition de modes normaux, a été développé par N. JOBERT (1972).

Enfin dans certains cas, l'utilisation de modèles réduits sismiques peut suppléer aux calculs numériques, ou permettre de vérifier la validité des hypothèses avancées (GUPTA et MARTEL 1971, MARTEL 1972, 1974).

MINSTER, JORDAN, MOLNAR et HAINES (1973) ont déterminé à la surface du globe des ellipses de confiance pour la position des différents pôles relatifs et ont retrouvé à 15° près tous les azimuts des chaînes volcaniques. L. LLIBOUTRY (1972, 1974) a poursuivi ses recherches sur la dynamique des plaques. En supposant un manteau inférieur assez rigide pour se comporter comme un système de référence, il a pu, grâce à un théorème de mécanique fondamentale, calculer le mouvement relatif des plaques par rapport à ce système (vitesses absolues). Elles sont en accord avec celles déduites de la migration du volcanisme récent, et la vitesse absolue des fossés semble reliée à la pente des plaques lithosphériques plongeantes.

FRIZONNET J.M. – Calcul des sismogrammes synthétiques par la méthode des différences finies. Thèse de doctorat de 3^e cycle. Université Paris VI, 1972.

GUPTA S.K. et MARTEL L. – Onde amortie de type Rayleigh à l'interface de deux milieux solides à fort contraste de densités et de vitesses. *Géophys. Prospec.* XIX, 413, 1971.

JOBERT G. – Rais dans un milieu élastique faiblement anisotrope. *C.R.A.S.* 277 B. 651, 1973.

JOBERT G. – Travel time equation and energy propagation for an elastic, heterogeneous, isotropic medium : correction and approximate inversion. *B.S.S.A.*, 63. 1967, 1973.

JOBERT N. – Synthèse d'onde PL et PL(S) à partir de modes normaux. *Communic. C.S.E., Assemblée de Brasov, 1972 (Technical and Economical Studies n° 10).*

KHAYATI A. – Inversion approchée des hodochrones pour un milieu où les surfaces d'égale vitesse ont un pendage et une courbure faibles. Thèse de doctorat de 3^e cycle, Université de Paris VI, 1974.

JOBERT N. – Synthèse d'onde PL et PL(S) à partir de modes normaux. *Communic. C.S.E., Assemblée de Brasov, 1972 (Technical and Economical Studies n° 10).*

KHAYATI A. – Inversion approchée des hodochrones pour un milieu où les surfaces d'égale vitesse ont un pendage et une courbure faibles. Thèse de doctorat de 3^e cycle, Université de Paris VI, 1974.

- LLIBOUTRY L. — The driving mechanism, its source of energy, and its evolution studied with a three-layer model, *J. Geophys. Res.*, 77, 3759, 1972.
- LLIBOUTRY L. — Some results on plate dynamics deduced from a three-layer model, *J. Geophys. Res.*, 79, 1230, 1974.
- LLIBOUTRY L. — Plate movement relative to rigid lower mantle, *Nature*, 250, 288, 1974.
- LLIBOUTRY L. — Rheological properties of lithosphere. *Tectonophysics*, 24, 13, 1974.
- MARTEL L. — A propos d'une onde de Rayleigh sur une surface courbe : surface cylindrique concave. *Ann. de Géophys.* 28, 1972.
- MARTEL L. — Ondes de Rayleigh en milieu homogène à surface irrégulièrement ondulée. Thèse de doctorat d'Etat, Université Paris VI, 1974.
- MINSTER J.B., JORDAN T.H., MOLNAR P., HAINES E. — Numerical modelling of instantaneous plate tectonics, *Geophys. J.* 36, 541, 1973.
- OKAL E. — Sur la convergence de certains développements de sismogrammes synthétiques obtenus par la méthode de l'eikonal. *C.R.A.S.* 275 B, 569, 1972.
- OKAL E. et MECHLER P. — On the problem of the convergence of the eikonal expansion for synthetic seismograms. *B.S.S.A.* vol. 63, 1315, 1973.
- POUPINET G. — PL(S) à 40° et la discontinuité de vitesse de S à 850 km de profondeur. *Ann. de Géophys.*, 30, 127, 1974.
- SOURIAU M. — Un algorithme d'inversion totale pour les sismogrammes synthétiques de réflexion sous incidence oblique. *C.R.A.S.* 275 B, 617, 1972.

VI – PROSPECTION SISMIQUE

G. GRAU

Institut Français du Pétrole
92502 – Rueil-Malmaison

La période 1971-1974 a été une période d'assez forte activité aussi bien en prospection proprement dite à terre et en mer qu'en reconnaissance préliminaire des marges continentales marines (voir le chapitre Etudes Géologiques du rapport de la section d'Océanographie Physique). L'activité industrielle et les travaux de recherche ont porté presque exclusivement sur la sismique par réflexion.

1 – SOURCES

L'utilisation de sources de surface par les équipes terrestres a continué à se répandre.

D'importants progrès sont à signaler dans le domaine des sources sismiques marines permettant des tirs en couverture multiple. La Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G.) a équipé tous ses navires de sa source à vapeur, le Vaporchoc. Chaque émission acoustique résulte de l'implosion d'une bulle de vapeur surchauffée (60 bars, 400°C) qu'un dispositif adapté envoie dans l'eau. L'Institut Français du Pétrole (I.F.P.) a d'autre utilisé une autre source à implosion, le Flexichoc. Cette source fonctionne par gonflement et dégonflement d'une chambre étanche et n'utilise aucun fluide dangereux. Le signal émis est très reproductible et a une forme assez simple. Le Centre Océanologique de Bretagne a fait des campagnes d'essai d'un canon à eau, le Simplon.

2 – ENREGISTREMENT

D'autre part, la Société SERCEL a mis en production industrielle son enregistreur numérique SN 338. Cet appareil possède un multiplexeur à bas niveau et un amplificateur à virgule flottante commun à toutes les traces. Il est léger (160 kg pour 48 traces) et fiable. Il peut être utilisé en bateau, en camion, ou par colis séparés dans des équipes de forêt ou de marécage.

Les méthodes de terrain ont rapidement évolué vers la couverture multiple d'ordre 48, qui est maintenant presque universellement utilisée en mer, et très souvent également à terre. On fait couramment 80 tirs au kilomètre en mer et de 10 à 20 tirs au kilomètre à terre. Il semble que la tendance à l'augmentation du nombre de traces par tir doive se confirmer dans le futur. Les années 1972 et 1973 ont vu le début de la méthode des profils larges de C.G.G. Par l'emploi de tirs déportés latéralement à différentes distances (en général inférieures à 50 m) du profil, on obtient des informations sur la composante transversale des pendages. A terre, cette méthode est utilisée avec succès et parfaitement industrialisée. Dans la version marine, on utilise une source et trois flûtes, mais la mise en oeuvre reste délicate. Une variante à une flûte et trois sources a été essayée. Un essai de couverture homogène de miroirs pentés a été fait par l'I.F.P. et la Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine (S.N.P.A.) à l'aide de dispositifs de réception perpendiculaires à la ligne sur laquelle se trouvent les points de tir. Enfin la S.N.P.A. et la C.G.G. ont mis en oeuvre en mer la

méthode des tirs codés due à la S.N.P.A. (procédé Sosie). Des essais de la même méthode à terre (procédé Seiscode) ont été faits.

3 - TRAITEMENT ET INTERPRETATION

Des machines de tailles fort diverses ont été employées pour le traitement industriel des données sismiques. Certains organismes ont utilisé les plus gros calculateurs actuellement en service alors que d'autres trouvaient avantageux de travailler avec des machines de faible capacité. Le choix de ces moyens de calcul dépendait aussi bien des besoins propres des géophysiciens que de contingences particulières à chaque groupe, telles que la présence ou l'absence, près du centre de traitement sismique, d'un ordinateur utilisé par ailleurs à des travaux scientifiques ou de gestion. A cet égard, il faut observer que l'organisation qui a semblé la plus rationnelle pour le traitement de grandes masses de données sismiques a consisté à faire le prétraitement sur des machines du milieu de la gamme et le traitement sur grosses machines. Des calculateurs légers sont utilisés dans certaines bases de la C.G.G. situées dans des régions éloignées. L'I.F.P. a étudié une machine, le Géoprocasseur, qui réalise rapidement les opérations de convolution et transformation de Fourier, ainsi que, d'une façon générale, les opérations sur tables qui interviennent très souvent lors du traitement sismique.

Des "systèmes" de programmes spécialisés pour le traitement de la sismique ont été écrits et sont utilisés par les diverses entités se livrant au traitement : Bureau d'Etudes Industrielles et de Coopération de l'Institut Français du Pétrole (B.E.I.C.I.P.), Compagnie Française des Pétroles (C.F.P.), C.G.G., I.F.P., S.N.P.A. Nombre de ces organismes ont également mis au point des programmes et systèmes de programmes destinés à la cartographie automatique ou semi-automatique à partir des pointés de coupes.

La C.G.G. a élaboré des programmes de sismique conversationnelle utilisant un terminal interactif. Un opérateur peut faire apparaître des résultats de calcul sur un écran : graphiques, coupes sismiques, pointés, etc. Au vu de ces résultats, il peut modifier certains des paramètres du calcul et lancer une nouvelle phase de manipulation des données. Cet agencement se prête bien aux calculs itératifs. Il a été utilisé principalement pour l'amélioration des analyses de vitesse et de la couverture multiple et pour des études de modèles.

Des progrès ont été réalisés en ce qui concerne l'affinement des analyses de vitesse et leur emploi pour des travaux à caractère lithologique : étude des variations latérales de faciès, établissement de pseudo-diagraphies de vitesse, détection des interfaces eau-huile ou huile-gaz. Ce type d'interprétation est évidemment d'un grand intérêt pour la prospection pétrolière : il sera amené à se développer.

D'autre part, les questions de migration et d'analyse de vitesse en présence de pendages ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche. Ces problèmes constituent un domaine important pour la prospection du fait de l'abandon dans lequel, faute d'outils, on a souvent dû laisser les zones à forte structuration. Leur résolution passera vraisemblablement par la constitution de modèles mathématico-géologiques dont on déterminera les propriétés par des méthodes itératives. A cet égard, le calcul des sismogrammes synthétiques à source ponctuelle constituera un outil de choix.

La déconvolution destinée à améliorer le signal de certains sources et à enlever les réflexions multiples dues à la présence de la couche d'eau en sismique marine a continué à être améliorée.

La compression de l'information et son effet sur les traitements ont été étudiés.

Enfin, on doit signaler les importants efforts qui ont été faits par la C.G.G. et l'I.F.P. en vue de réaliser des prospections en ondes SH. Ces travaux ont conduit les deux

organismes précités à faire des essais de terrain en France et, avec la collaboration du VNIIGEOFIZIKA de Moscou, en Tatarie (U.R.S.S.).

4 - TENDANCES

Les tendances qui semblent se dégager dès maintenant sont les suivantes :

- augmentation du nombre des traces par tir et, corrélativement, de l'ordre de couverture ; préparation d'un nouveau type d'appareils de terrain à plus de 100 traces.
- utilisation de plus en plus fréquente de moyens de traitement transportables sur le site de l'acquisition des données ou à faible distance : de plus en plus, les géophysiciens de terrain pourront voir des résultats de traitement très peu de temps après avoir fait les tirs.
- la liaison entre l'interprétation et le traitement s'affermir. Certains traitements fournissent et fourniront de plus en plus des renseignements sur la nature des formations rocheuses et des fluides qui les imprègnent. Dans ce but, on tirera davantage parti de l'information contenue dans l'amplitude des réflexions qu'on ne l'avait fait jusqu'alors
- la prospection des régions fortement structurées, avec les problèmes des restitution qu'elles posent, devient toujours davantage à l'ordre du jour. La migration, et donc aussi l'analyse de vitesse, à trois dimensions apparaîtra bientôt comme nécessaire.

- ANCEAU F., DROUET P., BEAUDUCÉL C., COURBOULAY P., CRETIN J. - Géoprocasseur : a computer for geophysical research. Proc. IFIP 1974 (Stockholm), p. 55-59.
- ARENS G., MORLET J. et RICHARD C. - SYSIS. 34^e Congrès E.A.E.G., Paris, 1972.
- BARANOV V., CECCHINI A. et CLEMENT A. - Numerical computation and use of theoretical seismograms with a point source. 41^e Congrès S.E.G., Houston, 1971.
- BARBIER M.G. - Mini-SOSIE for shallow land seismology. 36^e Congrès E.A.E.G., Madrid, 1974.
- BARBIER M.G. et VIALIX J.R. - SOSIE. A new tool for marine seismology. *Geophysics*, XXXVIII, 4, p. 673-683, 1973.
- BARBIER M.G. et VIALIX J.R. - Pulse coding in seismic prospecting - SOSIE and SEISCODE. *Geophysical Prospecting*, XXII, 1, p. 153-175, 1974.
- BOIS P. - Analyse séquentielle. 3^e Colloque national sur le traitement du signal et ses applications (GRETSI), Nice, I, p. 167-190, 1971.
- BOIS P. - Corrélation à distance. *Geophysical Prospecting*, XIX, 4, p. 592-611, 1971.
- BOIS P. - Analyse séquentielle. *Geophysical Prospecting*, XX, 3, p. 497-513, 1972.
- BOIS P. - Déconvolution rapide. *Geophysical Prospecting*, XXI, 4, p. 736-745, 1973.
- BOIS P. - Compression d'images obtenue en utilisant les transformations orthogonales. 4^e Colloque national sur le traitement du signal et ses applications (GRETSI), Nice, II, p. 1461-1502, 1973.
- BOIS P. - Compatibilité entre la compression de l'information sismique et son traitement. 36^e Congrès E.A.E.G., Madrid, 1974.
- BOIS P., LA PORTE M., LAVERGNE M. et THOMAS G. - Essai de détermination automatique des vitesses sismiques par mesures entre puits. *Geophysical Prospecting*, XIX, 1, p. 42-83, 1971.
- BOIS P., LA PORTE M., LAVERGNE M. et THOMAS G. - Well-towell seismic measurements. *Geophysics*, XXXVII, 3, p. 471-480, 1972.
- BOURROUILH B. - Contrôle optique des traitements numériques. Déconvolution optique des traces sismiques. *Geophysical Prospecting*, XXII, 1, p. 76-92, 1974.
- CASSAND J. et MAGNEVILLE P. - Le Flexichoc. 34^e Congrès E.A.E.G., Paris, 1972.
- CECCHINI A. - Synthetic seismograms with point source. 33^e Congrès E.A.E.G., Hanovre, 1971.
- CECCHINI A. et CLEMENT A. - The screening effect in refraction seismics. Application of synthetic seismograms with a point source. 35^e Congrès E.A.E.G., Brighton, 1973.
- CHAIZE L., DUBESSET M. et HEMON Ch. - SYSIS, a seismic data processing system, 19^e Symposium International Géophysique, Toruń, 1974.
- CHAPPAZ R. - Traitement holosismique de films synthétiques. Améliorations dans la restitution. Thèse, Université de Paris VI, 43 p., 1973.
- CHAVENT G. et HEMON Ch. - Identification itérative d'un modèle de coefficients de réflexion. 34^e Congrès E.A.E.G., Paris, 1972.
- CODET P., DAMOTTE B., ERB E., LAVERGNE M. et LAYOTTE P.C. - Sismique minière à haute fréquence. *Geophysical Prospecting*, XIX, 4, 776-790, 1971.
- COPPENS F. et LAYOTTE P.C. - Quelques aspects du problème posé par le traitement d'enregistrements sismiques en ondes transversales. 4^e Colloque national sur le traitement du signal et ses applications (GRETSI), Nice, I, p. 68-69, 1973.

- COPPENS F. et THILLAYE DU BOULLAY B. - Utilisation de la méthode holosismique pour le calcul des corrections statiques. 35^e Congrès E.A.E.G., Brighton, 1973.
- CRETIN J. - Géoprosesseur, a computer for data processing, 19^e Symposium International Géophysique, Toruń, 1974.
- FAIL J.P. - Application du filtre de Kalman à la navigation. *Geophysical Prospecting*, XX, 3, 665-699, 1972.
- FONTANEL A. - Corrélation optique et holographie acoustique, application à la géophysique. Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences, Paris, 1971.
- FONTANEL A. et GRAU G. - Corrélation optique en lumière cohérente. *Geophysical Prospecting*, XIX, 1, p. 98-117, 1971.
- FONTANEL A., GRAU G. et HEMON Ch. - Filtrage et contraction des hyperboles de diffraction. 3^e Colloque national sur le traitement du signal et ses applications (GRETSD), Nice, I, p. 377-390, 1971.
- FONTANEL A., GRAU G. et HEMON Ch. - Détermination simultanée des vitesses moyennes et des pendages à partir des enregistrements originaux. 33^e Congrès E.A.E.G., Hanovre, 1971.
- FONTANEL A., HEMON Ch. et THILLAYE DU BOULLAY B. - Couverture multiple et holosismique : Comparaison de leurs effets sur les réflexions multiples. 34^e Congrès E.A.E.G., Paris, 1972.
- FOURMANN J. et NEUMANN R. - Les méthodes de prospection sismique. in : Traité de géophysique interne, Masson, Paris, I, chap. 23, p. 599-609, 1973.
- FOURMANN J., SALIS C. et MICHON D. - Seismic reflection amplitudes and signal interferences. 36^e Congrès E.A.E.G., Madrid, 1974.
- FOURMANN J. et TARIEL P. - Cancellation of sea-bottom multiples by prediction. 35^e Congrès E.A.E.G., Brighton, 1973.
- GAROTTA R. - Selection of seismic picking based upon the dip, move-out and amplitude of each event. *Geophysical Prospecting*, XIX, p. 357-370, 1972.
- GAROTTA R. et CECCHINI A. - Automatic adjustment of static corrections. 42^e Congrès S.E.G., Anaheim, 1972.
- GAROTTA R. et PATURET D. - Residual static corrections. 35^e Congrès E.A.E.G., Brighton, 1973.
- HAAS A.G. et VIALLIX J.R. - Krigeage applied to geophysics - the answer to the problem of estimates and contouring. 36^e Congrès E.A.E.G., Madrid, 1974.
- HAAS A.G., VIALLIX J.R., DUVAL J. et FOURMANN J. - Determination of coherent three-dimensional velocity distributions. 34^e Congrès E.A.E.G., Paris, 1972.
- HEMON Ch. - Un procédé de filtrage autodirectif à entrée multiple. 3^e Colloque National sur le traitement du signal et ses applications (GRETSD), Nice, I, p. 463-476, 1971.
- HEMON Ch. - Restitution automatique en profondeur. 8^e Congrès Mondial du Pétrole, Moscou, III, p. 77-85, PD 6(4), 1971.
- HEMON Ch. - Filtrage des réflexions multiples par comparaison avec un modèle. 35^e Congrès E.A.E.G., Brighton, 1973.
- HEMON Ch. et MACE D. - Une application de la transformation de Karhunen-Loève au traitement sismique. 36^e Congrès E.A.E.G., Madrid, 1974.
- JEANNOT J.P. - General purpose static corrections computation. 35^e Congrès E.A.E.G., Brighton, 1973.
- JONCHERAY B. - Well velocity survey. 34^e Congrès E.A.E.G., Paris, 1972.
- LAMER A. - Atténuation des multiples dus à la couche d'eau en prospection sismique marine. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, XXVIII, 2, p. 259-260, 1973.
- LAMER A. - Antimoyenne. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, XXIX, 5, p. 759-762, 1974.
- LA PORTE M., LAKSHMANAN J., LAVERGNE M. et WILLM C. - Mesures sismiques par transmission - application au Génie Civil. *Geophysical Prospecting*, XXI, 1, p. 146-158, 1973.
- LAURENT J. - Un nouvel hydrophone miniature. 35^e Congrès E.A.E.G., Brighton, 1973.
- LAVERGNE M. - Sismique stratigraphique et lithologique. *Revue de l'A.F.T.P.*, n° 222, p. 49-54, 1973.
- LAVERGNE M. - Pseudo-diagraphies de vitesse en offshore profond. 36^e Congrès E.A.E.G., Madrid, 1974.
- LEENHARDT O. - Le sondage sismique continu. Masson, Paris, 164 p., 1972.
- MERCIER F. - Amélioration apportée à l'holosismique classique par la simulation d'un modèle tenant compte de la réfraction aux interfaces. Thèse, Université de Paris VI, 61 p., 1974.
- MICHON D. - Détermination des vitesses en sismique réflexion et migration directe des sections sismiques. *Revue de l'A.F.T.P.*, n° 208, p. 29-44, 1971.
- MICHON D. - Wide-line profiling offers advantages. *Oil Gas J.*, LXX, 48, p. 117-120, 1972.
- MICHON D. - The screening effect in refraction seismics. 35^e Congrès E.A.E.G., Brighton, 1973.
- MICHON D. - A WLP test in America. 43^e Congrès S.E.G., Mexico, 1973.
- MICHON D. - Sismique à trois dimensions - positionnement dans l'espace. *Revue de l'A.F.T.P.*, n° 22, 2, p. 40-49, 1973.
- MICHON D. - Seismic survey by wide-line profiling tackles three-dimensional problems. *Oil Gas J.*, LXXII, 7, p. 64-66, 1974.
- MICHON D. - WLP en mer. *Revue de l'A.F.T.P.*, n° 226, p. 113-119, 1974.
- MICHON D. - Etude de la lithologie au moyen de sections sismiques. *Journée de l'A.F.T.P.*, 21 Février 1974.
- MICHON D. et BOURDAIRE J.M. - Nouveau moyen d'interprétation sismique : le profil large. *Revue de l'A.F.T.P.*, n° 220, p. 21-29, 1973.

- MICHON D. et MUNIZ R. — Deconvolution and broadening of the spectrum. 44^e Congrès S.E.G., Dallas, 1974.
- MICHON D. et TARIEL P. — Linear migration (2D) and spatial migration (3D). 41^e Congrès S.E.G., Houston, 1971.
- MICHON D., TARIEL P. et BEAUCHAMP J.B. — Wide-line profiling, a way of approaching 3D seismology. Interpretation using WLP. 34^e Congrès E.A.E.G., Paris, 1972.
- MICHON D., WLODARCZAK R. et MERLAND J. — A new method of cancelling multiple reflections, "Souston". *Geophysical Prospecting*, XIX, 4, p. 615-625, 1971.
- MORLET J., MEFFRE J.F., CASTAGNE J.L., MOLLON M. et ZACCAGNINO P. — Seismic and data processing. 33^e Congrès E.A.E.G., Hanovre, 1971.
- NAUDOT M. — SN 338 : a modern portable digital seismic recording laboratory. 33^e Congrès E.A.E.G., Hanovre, 1971.
- PATURET D. — Different methods of the time-depth conversion with and without migration. *Geophysical Prospecting*, XIX, 1, p. 27-41, 1971.
- PATURET D. — Use of interactive terminal for seismic modeling. 44^e Congrès S.E.G., Dallas, 1974.
- PATURET D., GUEDJ R., LEGRAND J.C. et MARCHAL P. — Models for seismic interpretation. 34^e Congrès E.A.E.G., Paris, 1972.
- PATURET D. et N.GUYEN THE. — Seismic interpretation by means of interactive terminals. 36^e Congrès E.A.E.G., Madrid, 1974.
- PATURET D. et TARIEL P. — Migrated sections before or after stack. 33^e Congrès E.A.E.G., Hanovre, 1971.
- PENNACCHIONI J.L. et STARON Ph. — Filtering organized or random noise in the field. 34^e Congrès E.A.E.G., Paris, 1972.
- PERALDI R. — New perspectives for seismic exploration with 1000 channel recording. 44^e Congrès S.E.G., Dallas, 1974.
- PERALDI R. et CLEMENT A. — Digital processing of refraction data. Study of first arrivals. *Geophysical Prospecting*, XX, 3, p. 529-560, 1972.
- RAINON E., WLODARCZACK R., DONDON J. et NOROTTE C. — High resolution in offshore seismic shooting. 36^e Congrès E.A.E.G., Madrid, 1974.
- RECQ M. — L'utilisation du canon à air de forte puissance en réfraction et en réflexion profonde. *Vie et milieu, série Océanogr.*, XXI, 2B, p. 281-286, 1971.
- ROCROI J.P. et STARON Ph. — Theoretical and practical design of geophone arrays. 41^e Congrès S.E.G., Houston, 1971.
- RUEGG J.C. et SOURIAU M. — Theoretical and experimental deconvolution. *Zeit. für Geoph.*, XXXIX, 4, p. 525-532, 1973.
- SALIS Ch. et JONCHERAY B. — Synthetic seismogram by seismic modeling. 43^e Congrès S.E.G., Mexico, 1973.
- SALIS Ch. et PATURET D. — Velocity analyses and seismic models. 41^e Congrès S.E.G., Houston, 1971.
- SAYOUS L. — A new seismic source : The Diesel oil gun. 35^e Congrès E.A.E.G., Brighton, 1973.
- SOURIAU M. — Inversion numérique de la fonction de transfert des sismographes en filtrage récursifs. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 277, série B, p. 143-145, 1973.
- STARON Ph. — Vaporchoc : utilization of steam as a new seismic source. *Amer. Inst. of Min. Met. and Petrol. Eng.*, I, p. 487-496, 1973.
- VIALIX J.R. et MALLIERRE E. — Rainbow : a geophysical discovery. 43^e Congrès S.E.G., Mexico, 1973.
- ZAKOVI C.H., ALTHABEGOITY P., VERSINI L. et AUDET J. — Efficient use of digital equipment for seismic processing. 43^e Congrès S.E.G., Mexico, 1973.

VII – MICROSEISMES

P. BERNARD

Institut de Physique du Globe
Université Paris VI
4 place Jussieu, Paris 75230

La publication des résultats d'enregistrements temporaires effectués à Brest, Hendaye-Abbadia, la Corogne et Casablanca et comparés à la station microsismique permanente de Paris-St Maur a mis en évidence quelques circonstances météorologiques caractéristiques de tempêtes microsismiques, notamment le dédoublement d'une dépression en deux centres isobariques, ou l'approche d'une côte par un centre dépressionnaire, deux cas d'accroissement de la turbulence de l'air susceptible de soulever par résonance des vagues plus hautes.

On suit également sur ces graphiques la propagation de l'effet côtier de la houle, observé à La Corogne et à San Fernando respectivement 24 h. et 12 h. plus tôt qu'à Casablanca. A Abbadia, situé au fond du Golfe de Gascogne qui favorise apparemment la localisation de la houle, cet effet côtier se détache nettement de l'agitation microsismique dépressionnaire.

Enfin lors d'expériences à l'aide d'un sismographe portatif effectuées sur les jetées des ports de La Corogne et de Casablanca, ainsi que sur un modèle réduit du Laboratoire d'Hydraulique de Maisons Alfort, on a enregistré des mouvements de période égale à celle de la houle dus à la pression verticale de l'eau sur le soubassement des ouvrages. Malgré leur forte amplitude ils disparaissent sur la terre ferme, ce qui laisse un doute sur la propagation à distance des microséismes "primaires".

M. GRINDA a continué à étendre la notion de houle stationnaire, cause des microséismes, aux houles simplement "croisées" c'est-à-dire à courtes crêtes résultant de l'interférence d'ondes de directions non plus opposées, mais obliques, comme il s'en produit dans la quasi totalité de la surface des zones dépressionnaires, particulièrement à l'arrière du front froid où les vents sont à la fois violents et turbulents, et gardent souvent une direction constante au cours du temps. La houle engendrée par eux rencontre celle du secteur chaud soulevée à l'avant du centre de basse pression, et c'est ce champ de houle qu'il considère comme l'origine des tempêtes microsismiques.

En Méditerranée, les fronts froids sont plus souvent que les dépressions, mais moins intensément, des causes de microséismes. A Monaco, on observe en été de faibles microséismes de 2 à 4 secondes de période, à récurrence diurne, attribuables à la mer de la brise solaire. Ailleurs, l'auteur se réfère à des exemples publiés par De Bremaecker ou Latham et al. et fait remarquer en particulier que les microséismes à période 18^s deviennent importants lorsque le centre cyclonique traverse la côte.

En conclusion, M. GRINDA souligne la complexité du phénomène microsismique, dont la période ne montre qu'approximativement le rapport de 1 à 2 entre les catégories "primaire" et "secondaire" et qui peut comporter des ondes très longues dues éventuellement au vent ou au phénomène bien connu des "surf beats" à période 1 à 5 minutes.

Une étude intéressante par la nouveauté de son emplacement géographique a été faite par J.L. TOURNIER qui dirige la station géophysique de Lamto en Côte d'Ivoire. Le bruit

de fond courte période (1 à 2 secondes) y présente une variation annuelle très nette. Les sismographes sont installés à plus de 100 km de la mer, mais ils ont une amplification de 100 000 ou davantage. Il n'est donc pas exclu qu'ils subissent une influence de la mer ; en effet M. TOURNIER a étudié en détail le passage le long de la côte d'une ligne de grain (15-16 mars 1971) et une véritable dépression centrée le 24 février 1972 sur Lamto, dont le maximum d'effet microsismique, à ces latitudes où les perturbations se déplacent d'Est en Ouest, s'est produit ensuite quand le centre a débouché sur l'Océan.

Ā. MECHLER a signalé oralement au Congrès de Lima que le bruit de fond enregistré par les sismographes courte période est curieusement plus élevé sur les îles hautes de la Polynésie que sur les atolls, où il est possible d'employer une amplification plus forte. L'explication la plus vraisemblable de cette différence est la nature volcanique des premières.

Un des points inscrits au programme de la Commission des microséismes de l'AISPIT est la prospection du bruit sismique préalablement à l'installation de nouvelles stations ; nous citerons à ce sujet le travail de LETOUZEY et MECHLER mené suivant une méthode rigoureuse en plaçant un ou plusieurs sismographes verticaux fixes dans chacune des régions étudiées (Morvan, Provence et Limagne) où des stations mobiles successives leur sont comparées : le domaine de période étudié est de 0,1 à 2,5 secondes. Partout où affleure le socle cristallin, on obtient une amplitude croissant, en gros, comme le carré de la période. Sur les terrains sédimentaires, on note une amplitude plus grande, encore renforcée dans une bande de courte période, généralement 0,3 à 0,4 seconde mais variable avec la nature du sol. Les conditions météorologiques interviennent dans ces observations, car le vent a plus de prise sur les terrains récents que sur le granite, donnant des vibrations de période moyenne 0,2, et les dépressions, même à la distance de la Corse, provoquent en Provence des perturbations de 1,8.

BERNARD P. — Variations des microséismes autour du Golfe de Gascogne *Pure and appl. geoph.* 103 (1973 II) p. 274-81 ; *Met Mar*, Paris, n° 85, p. 26-30 (1974).

BERNARD P. — Les observations microsismiques dans l'hémisphère Sud, introduction historique. AISPIT, Commission des microséismes, 1^{er} rapport Assemblée de Lima 1973, 9 p., bibl.

BERNARD P. — Microséismes à Casablanca et San Fernando. *Communic. C.S.E. Trieste* (sept. 1974).

BERNARD P. et BROSSELDARD FAIDHERBE F. — Microséismes artificiels, *UGGI Monogr.* n° 31 (1972) p. 121-5.

GRINDA L. — Schémas fondamentaux et paramètres du problème des microséismes. *UGGI Monogr.* n° 31 (mars 1972) p. 15-26.

GRINDA L. — Illustration d'une théorie des microséismes par quelques cas concrets. *Pure and appl. geoph.* 103 (1973 II) p. 316-31.

GRINDA L. — Tableau des champs de pression sous marins créés par des phénomènes météorologiques et engendrant des microséismes. AISPIT, Commission des microséismes. 1^{er} rapport (Assemblée de Lima 1973) 14 p.

GRINDA L. — Sources of microséismes. *Communic. CSE Trieste* (sept. 1974).

LETOUZEY J. et MECHLER P. — Influence de l'environnement géologique des stations d'enregistrement sur le bruit de fond sismique entre 0,4 Hz et 20 Hz. *UGGI Monographie* n° 31 (mars 1972) p. 79-109.

ROCARD Y. — Le bruit de fond sismique. *in* : *Dynamique générale des vibrations*, 4^e éd. Paris 1971, p. 445-7.

TOURNIER J.L. — Bruit de fond sismique et perturbations atmosphériques transitoires ou saisonnières en Côte d'Ivoire. *Communic. 17^e Ass. Glé AISPIT Lima* (30 août 1973).

VIII PREVISIONS

P. BERNARD

Institut de Physique du Globe
Université Paris VI
4 place Jullieu, Paris 75230

DES SEISMES

Cette question, encore très tâtonnante, a été abordée en France sous la forme d'une enquête sur l'activité et le risque sismiques régionaux, destinée à mettre en oeuvre des mesures préventives efficaces, et à faire progresser les connaissances dans le domaine de la prédiction sismique.

La méthode du coefficient de Poisson (variation de V_p/V_s) se heurte dans notre pays à la rareté des séismes et à l'absence de secousses prémonitoires, sauf dans le cas des séismes induits par le remplissage des barrages ou les exploitations de gaz naturel et de pétrole (voir le rapport de M. ROTHE sur la sismicité). D'autre part l'importance des effets d'un séisme dépend beaucoup de la qualité des constructions, et des propriétés mécaniques locales du sol, qui peuvent être étudiées au moyen de l'agitation microsismique, ou, pour les glissements de terrain, toujours prévisibles d'après M. PALAUSI, par l'hydrologie souterraine. Les recherches de laboratoire sur la rupture des roches sont également susceptibles d'apporter des résultats. La Section de Volcanologie rend compte d'autre part des travaux de C. BLOT sur les relations du volcanisme et de la sismicité et la prévision de ces phénomènes.

DES TSUNAMIS

La Polynésie, où l'Ecole Normale Supérieure a installé plusieurs groupes de stations, étant au centre du Pacifique, est susceptible de subir l'effet des tsunamis issus de toute la couronne sismique de cet océan ainsi que de la région sismique plus proche des Tonga-Kermadec. J. TALANDIER a développé une méthode de prévision de ces tsunamis qui comporte : l'observation des séismes importants d'après un critère d'amplitude et de simultanéité de l'onde P aux diverses stations du groupe ; la détermination de leur direction d'après les temps d'arrivée sur un triangle de stations, et de leur distance d'après l'angle d'incidence (qui résulte de la vitesse apparente), distance qui est confirmée ensuite par l'intervalle S - P. La profondeur approximative du séisme est indiquée par l'aspect du début de P et sa période, puis par l'importance des ondes de surface. On en tire la magnitude, dont la relation avec l'amplitude des ondes de Rayleigh varie avec la région d'origine.

Pour des séismes de $m > 6,5$, la probabilité d'occurrence d'un tsunami est alors examinée à l'aide des ondes T : s'il n'y en a pas, aucun tsunami ne risque de se produire car un écran éventuel le long du trajet joue son rôle pour les deux phénomènes. Si de fortes ondes T sont enregistrées, c'est leur durée qui intervient dans l'appréciation de probabilité de tsunami suivant les caractéristiques établies empiriquement par M. TALANDIER.

DE LA HOULE

Les méthodes mathématiques de prévision de la houle à partir des champs de vents ne sont pas sans lacunes, notamment en ce qui concerne le temps de propagation du phénomène : l'étude des microséismes donne pour sa vitesse des valeurs entre 50 et 70 km/h, plus grandes et beaucoup moins variables avec la période que ne l'indiquent les formules classiques. D'autre part une augmentation d'amplitude des microséismes est observée avant l'aggravation de la houle et c'est là une information qui n'est pas négligeable.

Les récentes expériences de P. BERNARD au port de Casablanca ont montré que l'avance sur la houle du début et du maximum de la tempête microsismique était d'une douzaine d'heures, ce qui permet de donner une information déjà utile aux Services du Port. De même dans l'hémisphère Sud, les enregistrements sismographiques de La Réunion indiquent, d'après R. ALBERT, une croissance de l'amplitude de l'agitation précédant de 24 heures l'arrivée des grosses lames. Cet article fait également allusion aux vagues pyramidales du centre des dépressions cycloniques : "bien plus hautes que toutes les autres, elles se déplacent peu et s'écroulent sur place tel un mur liquide". Une observation leur a attribué une hauteur de 30 mètres, elles peuvent donc, par leur gigantisme, être la cause de la partie d'origine dépressionnaire des tempêtes microsismiques enregistrées plusieurs jours avant l'arrivée des houles sur une côte éloignée.

ALBERT R. — Les marées de tempête, recherche d'une méthode de prévision pour l'Océan indien du Sud Ouest. *La Météorologie*, 5^e série, n° 13, p. 97 (paru 1972).

COULOMB J. — Prévision et prévention des séismes, in : *Traité de Géophysique interne* t. I, p. 63-65, Paris 1973.

MANGIN J.P. — Localisation des glissements de versants sur les vallons fossiles. Symposium Sol et Sous sol et Sécurité des Constructions, t. II, p. 183-6, 1973.

MINSTER J.B. — Activité et risque sismique. Rapport du Groupe de Travail de l'INAG Meudon, 17 avr. 1974.

PALAUSI G. — Projet de cartographie simplifiée des zones instables dans les Alpes Maritimes. SSSC, Cannes 1973, T. II, p. 188;

TALANDIER J. — Etude et prévision des tsunamis en Polynésie française. Thèse de Doctorat d'Université, Paris VI, 17 oct. 1972.

SECTION III

VOLCANOLOGIE ET CHIMIE
DE L'INTÉRIEUR DE LA TERRE

TABLE DES MATIERES

	Pages
I – Etude de l'activité volcanique	83 3
II – Etudes volcanologiques, pétrologiques et géochimiques	86 6
III – Etudes géophysiques	89 9
IV – Energie géothermique	90 10

Ce rapport a été établi par J.,VARET avec la collaboration de G. AUBERT, M. GIROD, M. LAVIGNE, H. TAZIEFF.

L'inventaire des recherches effectuées en France dans le domaine de la volcanologie est difficile à réaliser de manière complète compte tenu de la diversité des personnes et des organismes touchant de près ou de loin à ce domaine et de leur dispersion. Un annuaire est en cours de préparation sous les auspices de la section pour pallier ce problème.

I – ETUDE DE L'ACTIVITE VOLCANIQUE

Les travaux comprennent la mise au point et le développement de dispositifs de collecte d'informations sur la physico-chimie des phénomènes éruptifs. L'utilisation in situ de ces dispositifs au cours des expéditions sur les volcans en activité a pour objet l'étude fondamentale des mécanismes des éruptions d'une part et l'établissement de réseaux de balises de surveillance des volcans assoupis d'autre part. En outre, des missions d'intervention ont été organisées à la demande d'organismes nationaux ou internationaux, le plus souvent à l'occasion d'éruptions risquant de menacer les populations locales.

Vulcano (Italie) : mission avril-mai 1971. Mise en place d'un réseau de quatre balises automatiques autonomes pour la mesure du débit massique et de la température des gaz fumeroliens. Les deux mois de fonctionnement de ces balises ont permis de résoudre un grand nombre de problèmes de corrosion par les condensations acides au niveau des capteurs.

Etna (Italie) : 1971a. Observation de l'éruption du printemps dans sa totalité ; mesure des paramètres physiques (températures de gaz et de coulées, évaluation de la vitesse des coulées) et chimiques (composition des gaz) et de leur variation dans le temps en fonction du déroulement de l'éruption. Le diagramme complet de l'activité a été établi mettant en évidence l'évolution du phénomène (en particulier du dégazage) à mesure de sa progression le long d'une fissure ouest-est.

b : Exploration du cratère central par un module automatique de prélèvement de gaz et de mesure de température ; le fond du cratère se situait alors à plus de 1000 mètres de profondeur. Une visite systématique des centres éruptifs des mois précédents a également été effectuée : en particulier l'évolution de la température après la cessation de l'activité a pu être mesurée.

1972. Etablissement d'un programme de mesures géophysiques (en particulier géomagnétiques) associées aux mesures des paramètres thermiques et chimiques de la phase gazeuse éruptive. Les quelques mesures effectuées au magnétomètre ont permis de mettre en évidence une anomalie brutale autour d'une fissure datant de l'éruption de 1971 qui avait donc peut-être évolué depuis.

1973. La mesure du flux thermique des bouches éruptives a permis d'établir les profils de température et de concentration en anhydride sulfureux. Le débit total de SO_2 s'élève à plusieurs dizaines de tonnes par jour. Tests de l'appareillage de mesure à distance dans des conditions météorologiques difficiles en vue de l'expédition de l'année suivante au Mont Erebus. Les valeurs de flux obtenues sur les bouches éruptives sont compatibles avec celles obtenues les années précédentes.

Stromboli (Italie) : 1972. Exploration des performances d'une méthode de cross-corrélation optique pour la mesure à distance de la vitesse des éjecta lors des explosions stromboliennes.

Vulcano : 1973. Mise en place d'une balise de prélèvement pour la mesure des concentrations en gaz acides et d'une balise de mesure des flux thermiques.

Erta 'Ale (Ethiopie) : 1971. La présence de deux étangs de lave permanents offre des conditions exceptionnelles pour la mesure des transferts entre le magma et l'atmosphère. Vingt prélèvements de gaz magmatiques ($T \approx 1100^\circ \text{C}$) ont été effectués qui permettent de calculer une valeur moyenne (sur 20 échantillons) de la composition de la phase gazeuse émise par les étangs de lave. Les mesures de température de lave, effectuées à l'aide d'une canne pyrométrique ont permis de mettre en évidence une diminution de température en fonction de la profondeur (de 1100°C à 940°C entre la surface et 70 cm). La mesure directe par radiomètre infra-rouge du flux thermique rayonné conduit à une valeur de 30 KW/m^2 . Ces mesures ont permis de calculer le débit des gaz émis.

1973. Cette émission a permis de comparer les valeurs de quelques paramètres significatifs sur le même volcan à une année d'intervalle. Une carte des flux thermiques et des températures à la surface de l'étang de lave a été établie.

— Composition moyenne des gaz secs sans oxygène libre (sur 64 échantillons) :

%	CO ₂	SO ₂	H ₂	CO	N ₂
	61,33	25,05	7,56	4,37	1,15

— Evaluation des débits de gaz en t/jour :

CO ₂	SO ₂	CO	H ₂
21,5	12,8	0,8	0,1

1974. Collecte d'une grande série d'échantillons de gaz magmatiques en équilibre thermodynamique à la température de prélèvement ($T \approx 1100^\circ \text{C}$) et analyse de ces gaz.

Les trois missions consécutives à l'Erta 'Ale ont permis d'évaluer quantitativement les transferts de chaleur et de matière entre la lave d'un étang en fusion et l'atmosphère.

Helgafell (Islande) : 1973. (à la demande de l'UNESCO). Observation de l'éruption et tentative de prévision de son déroulement. A l'occasion de cette éruption, aide technique aux volcanologues islandais.

Nyiragongo (Zaire) : 1972. La présence d'un lac de lave a permis l'utilisation et le perfectionnement d'une méthode de mesure à distance des flux thermique (radiométrie infrarouge). La valeur du flux thermique évaluée par cette méthode varie de 60 à 160 KW/m^2 .

Piton de la Fournaise (Réunion) et Kartala (Comores) : mission en octobre 1972 organisée à la demande du Ministère de l'Intérieur (Protection Civile), en vue d'évaluer les risques encourus par les populations résidant à proximité de ces volcans, qui, l'un et l'autre, étaient entrés en éruption. Les membres de la mission ont estimé que tout danger était absent.

Soufrière (Guadeloupe) : 1974. Etablissement du réseau prototype de surveillance des volcans "assoupis". Les deux balises installées assurent la mesure de la composition des gaz acides (en particulier du rapport carbone/soufre) et des flux thermiques (par la mesure du gradient de température dans le sol). Le fonctionnement est automatique et l'autonomie de deux mois par huit séquences d'une semaine. La tenue de ces deux balises à l'environnement agressif du site s'est montrée très satisfaisante. Une mission de reconnaissance à la Montagne Pelée (Martinique) a été organisée à l'occasion de cette campagne.

Erebus (Antarctique) : 1974. (invitation du D.S.I.R. néo-zélandais et de l'Université Victoria de Wellington). L'activité violente et désordonnée du volcan a rendu impossible la descente d'une équipe scientifique dans l'ultime puits du cratère et l'accès à l'étang de lave. Cependant le séjour a permis d'obtenir les résultats suivants :

- 1) étude topographique, géologique et pétrologique du sommet du cratère.
- 2) observation détaillée de l'activité éruptive.
- 3) sismicité locale enregistrée en continu.
- 4) échantillonnage de bombes volcaniques fraîches et de cristaux plus anciens.

II – ETUDES VOLCANOLOGIQUES, PETROLOGIQUES ET GEOCHIMIQUES

a) RECHERCHES SUR LE VOLCANISME RECENT

Des études volcanologiques, pétrographiques et géochimiques ont été poursuivies dans la période 1971-1974 sur de nombreux districts volcaniques d'âge tertiaire ou quaternaire. Il s'agit principalement, en Europe, du Massif Central français (Chaîne des Puys, Cantal, Devès, Coirons), de la Sardaigne, de la Mer Egée, des Açores et ailleurs dans le monde du Costa Rica, du Pérou, du Maroc, de l'Ethiopie etc. Par ailleurs le Centre Océanologique de Bretagne a poursuivi, en collaboration avec d'autres laboratoires, des investigations dans le domaine du volcanisme sous-marin, en particulier au large des Açores dans le rift médio-atlantique.

De plus en plus, les recherches sont menées conjointement par des pétrographes, des géochimistes et des géophysiciens. Dans de nombreux cas, on a cherché à tester par la géochronologie, la pétrologie et la géochimie le modèle de la tectonique des plaques. C'est donc dans un cadre géodynamique que sont replacées les observations et les données de laboratoire. On citera à cet égard les travaux de J. VARET, et M. TREUIL en Afar, ceux de J.C. VILMINOT en Mer Egée, ceux de C. LEFEVRE et Cl. DUPUY au Pérou, et ceux de C.J. ALLEGRE ou PARROT sur les ophiolites.

Les problèmes que posent l'évolution des magmas sont abordés de plus en plus par la géochimie. Le comportement des éléments en trace au cours d'une différenciation magmatique ainsi que les valeurs de coefficient de partage commencent à être mieux connus. Des modèles d'évolution magmatique ont pu être ainsi proposés pour certains districts volcaniques, par exemple l'Afar (J. VARET et M. TREUIL), la Sardaigne (C. COULON et Cl. DUPUY), les îles éoliennes (M. GIROD et Cl. DUPUY).

b) RECHERCHES SUR LE VOLCANISME PRETERTIAIRE

Plusieurs laboratoires ne sont intéressés également aux phénomènes volcaniques antérieurs au tertiaire : le laboratoire de Pétrologie de Toulouse poursuit l'étude du volcanisme permien des Pyrénées centrales (Pic du Midi d'Ossau), le laboratoire de Minéralogie et Pétrographie de Strasbourg, celui des rhyolites du Permien des Vosges septentrionales. Dans le cadre d'une Action Thématique Programmée, une étude approfondie du volcanisme triasique a été effectuée au Maroc par des pétrographes de l'Université de Lyon et des paléomagnéticiens de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg. Au laboratoire de pétrographie d'Orsay, Mme Cl. BOYER a soutenu une thèse sur le paléovolcanisme de l'Ouest de la France. Un colloque sur le paléovolcanisme a été réuni à Orsay, portant sur le mode de mise en place, l'altération, la géochimie et les gîtes minéraux liés aux roches volcaniques. Les laboratoires de Nice et de Nancy étudient également ces problèmes, tandis que celui de Grenoble s'est spécialisé dans l'étude des roches magmatiques alpines.

c) ETUDES CARTOGRAPHIQUES

La cartographie de diverses régions a été faite au cours de cette période : Alpes : magmatisme de la région Ecrins-Pelvoux et de la fosse valaisanne (N. VATIN PERIGNON) ;

Corse : NW de l'île (P. VELLUTINI) ; *Vosges* : cartographie (C. GAGNY) ; *Esterel* : carte volcanologique (H. BOUCARUT) ; *Sardaigne* : (C. COULON) ; *Bretagne* : volcanisme du massif armoricain (C. BOYER et B. AUVRAY) ; *Chaîne des Puys* : levé cartographique (G. CAMUS) ; *Mont Dore* : compléments de levés (R. BROUSSE, B. MERVOYER) ; *Velay* : levé cartographique (P. MERGOIL, M. GIROD) ; *Cantal* : levé de plusieurs cartes par R. BROUSSE, J. DEMANGE, N. VATIN-PERIGNON, P. LARROQUE, M.F. PESME, S. BLAIS, J.P. GIBERT, F. PARK et al. ; *Causse et Lodévois* : levés détaillés par ILDEFONSE, P.Y. GILLOT et al. ; *Guadeloupe et Martinique* : levés géologiques et congrès (D. WESTERCAMP, B. MERVOYER) ; *Terres Australes et Antarctique* : NOUGIER J. ; *Polynésie Française* : travaux de reconnaissance (R. BROUSSE, G. GUILLE, G. MOTTAY, J. DEMANGE) ; *T.F.A.I.* : levés cartographiques (L. STIELTJES, J. DEMANGE, J. VARET) ; *Afghanistan* : études de reconnaissance (P. BORDET, M. GIROD) ; *Algérie* : cartes 1/200 000 (J.H. DAUTRIAT) ; *Ethiopie* : 1/500 000 et 1/100 000 (J. VARET) ; *Maroc* : études cartographiques (J. DEMANGE) ; *Mexique* : (M. ROBIN) ; *Pérou* : (C. LEFEVRE) ; *Océan Indien* : (J. NOUGIER) ; *Océan Atlantique* : (J.L. CHEMINEE, J. FRANCHETEAU, R. HEKINIAN).

Ces études ont été poursuivies dans des buts variés :

- meilleure connaissance du volcanisme de France (levés de cartes géologiques pour le compte du service national).
- mode de mise en place de certains types de produits volcaniques (ignimbrites, dômes, nuées ardentes, laves sous-marines, pipes bréchiqques),
- structure des édifices volcaniques, critères volcanologiques pour la présence d'une chambre magmatique, étude des "racines" des volcans (édifices érodés).
- étude des relations entre tectonique régionale et nature du magmatisme.
- mise en évidence des relations entre les divers types de lave associées dans une même unité ; chronologie du magmatisme ; études quantitatives.

d) ETUDES PETROLOGIQUES ET GEOCHIMIQUES

Ces études, souvent menées en collaboration, ont porté sur divers problèmes liés à la genèse des magmas et à leurs processus de différenciation, de contamination et d'échange avec les matériaux dans lesquels ils se mettent en place.

Les problèmes d'origine des magmas basaltiques dans les zones océaniques ont été étudiés à partir des exemples de l'Afar, de la dorsale médioatlantique, des Açores, des îles du Pacifique, et des ophiolites. Les laboratoires d'Orsay, de Paris VI et VII et de Brest (COB) se sont particulièrement dédiés à l'étude de ces problèmes.

L'origine des magmas andésitiques a été étudiée à partir des exemples du Pérou (Montpellier), des îles éoliennes (Montpellier, Paris), de la Sardaigne (Marseille) et du Japon (Paris).

Aussi bien dans les zones en extension que dans les zones en subduction, les recherches ont porté sur les implications géodynamiques des variations pétrologiques et géochimiques dans la nature des magmas.

Les mécanismes de fractionnement, et les problèmes d'équilibre entre les minéraux et les liquides magmatiques ont été étudiés au moyen d'approches minéralogiques (utilisation de la microsonde), pétrologiques et géochimiques (terres rares, isotopes) à Paris, Orsay, Orléans et Montpellier.

Les phénomènes de contamination et d'échange entre magma et encaissant ont fait l'objet d'une A.T.P. (échanges de matière), et les recherches ont été poursuivies à Nancy, Rennes, Orsay et Paris à partir d'exemples variés, dont plusieurs du Massif Central.

Le genèse des ophiolites a fait l'objet d'études approfondies à Nancy, et dans plusieurs laboratoires des universités de Paris.

L'origine des roches paléovolcaniques a également fait l'objet d'études approfondies à partir des exemples du Massif Armoricain, des Vosges et de l'Estérel.

Il n'est pas impossible que l'impact très important de la géodynamique sur les études volcanologiques, bien qu'il ait suscité des études dans diverses régions (Afar, Amérique centrale, Atlantique, Iles océaniques) n'ait pas permis l'approfondissement de certains processus pétrogénétiques. Ces études semblent se développer maintenant, les caractéristiques géodynamiques étant mieux connues.

III – ETUDES GEOPHYSIQUES

Le précédent rapport présenté à la 15^e assemblée générale de l'U.G.G.I. comportait deux rubriques de travaux géophysiques : sismovolcanologie et recherches paléomagnétiques en relation avec le volcanisme. Cette dernière étant traitée intégralement dans le rapport de la section géomagnétisme et aéronomie (section 4), le présent rapport porte sur la poursuite des travaux de sismovolcanologie et sur le développement de nouvelles études géophysiques appliquées au volcanisme.

SISMO-VOLCANOLOGIE

C. BLOT a poursuivi l'étude des relations entre éruptions volcaniques et séismes du Manteau Supérieur dans les Arcs insulaires, et a défini les corrélations géographiques, temporelles et pétrochimiques entre ces phénomènes. Ces corrélations ont permis d'établir avec succès des prévisions sur l'activité volcanique dans l'Archipel des Nouvelles-Hébrides et appuient l'hypothèse selon laquelle le magma du volcanisme andésitique a sa source dans la croûte océanique de la plaque plongeante. Ceci impliquerait un processus ascendant rapide de l'ordre du kilomètre par jour.

MICROSISMOLOGIE

L'évolution de la chambre magmatique est suivie par les micro-mouvements qui accompagnent la circulation de la matière. DOREL et al. ont ainsi étudié le comportement des volcans actifs de la Guadeloupe et de la Martinique.

HYPOSTRUCTURES VOLCANIQUES

Les hypostructures volcaniques créent de fortes anomalies magnétiques dont l'interprétation permet, moyennant quelques hypothèses simplificatrices de déterminer la forme géométrique et la profondeur du toit.

VIGNERESSE et AUBERT ont pu ainsi étudier avec détail, l'hypostructure de la Chaîne des Puys et d'une façon plus générale les formations volcaniques du Massif-Central (AUBERT & PERRIER).

Dans le cas de la Chaîne des Puys, des mesures complémentaires de prospection électrique ont permis de préciser le comportement du socle sous la Chaîne et d'avancer une hypothèse globale du fonctionnement de la chambre magmatique (AUBERT et CAMUS).

IMAGERIE INFRAROUGE THERMIQUE

La C.G.G. a réalisé une étude expérimentale par cette méthode de télédétection sur le Causse du Larzac. Des formations volcaniques subaffleurantes ont été mises en évidence par cette technique alors qu'elles n'apparaissent pas nettement sur les photographies aériennes panchromatiques (ARNAUD et al.).

IV – ENERGIE GEOTHERMIQUE

Les travaux réalisés en France depuis 1971 et qui intéressent l'énergie géothermique peuvent être rattachés à plusieurs disciplines scientifiques : il en résulte que de nombreux organismes de recherche ont été amenés, dans le cadre de leur programme spécifique, à étudier certains phénomènes et à obtenir des résultats qui s'appliquent plus ou moins directement au sujet traité dans cette note.

Nous ne citerons donc pas ici les travaux qui, bien qu'intéressant la "géothermie", ne sont pas directement liés à son application pratique qui est l'exploitation de l'énergie géothermique.

Cette restriction étant faite, nous remarquerons que de nombreuses études ont été réalisées au cours de ces quatre dernières années, et en particulier depuis que les problèmes énergétiques ont attiré l'attention sur l'intérêt des sources complémentaires d'énergie.

1 – ENERGIE GEOTHERMIQUE HAUTE TEMPERATURE

1.1 – Amélioration des méthodes de prospection

Les études concernent en particulier les méthodes géophysiques et géochimiques.

Sur le plan général, on peut citer les publications sur le rôle de la *géophysique*, et en particulier des méthodes électriques, dans la prospection géothermique (DUPRAT, C.G.G.). Des recherches ont été également menées sur l'emploi des méthodes électromagnétiques (DUROUX, B.R.G.M.) et sur la mise au point et l'interprétation des méthodes magnéto-techniques (I.F.P. – I.N.A.G.).

Des études méthodologiques ont été réalisées par le B.R.G.M. en Limagne, en vue de tester et de comparer les résultats des différentes techniques : bruit sismique, étude de la résistivité par sondages électriques, sondages Melos (électromagnétique) et polarisation spontanée.

Citons également les expériences de thermométrie aéroportée par radiométrie infra-rouge avec application au Territoire français des Afars et des Issas (CLIN – POUCHAN, université de Bordeaux) et à Chaudes Aigues (PAUL, Orsay).

En *géochimie*, les recherches ont porté sur les méthodes de détermination, à partir de l'analyse des eaux thermales de surface, de la température maximum atteinte par ces eaux en profondeur, ainsi que sur les méthodes de reconstitution de la composition chimique initiale de l'aquifère alimentant ces sources (LOPOUKHINE, MICHARD).

On s'appuie, pour cela, sur l'étude théorique et expérimentale des équilibres entre roche et solutions, dans des conditions hyperthermales. Une action concertée de la D.G.R.S.T., confiée au B.R.G.M. et au C.N.R.S. (Centre d'étude et de synthèse des minéraux), a permis de mettre au point un appareil capable de reproduire les interactions entre les roches et les eaux dans les conditions de température et de pression d'une zone géothermale.

1.2 – Etude des problèmes de production

Une action concertée D.G.R.S.T. entre le C.E.N.G. (Centre d'études nucléaires de Grenoble) et le groupe I.M.F.-I.F.P. d'étude sur les transferts d'énergie en milieu poreux

(Toulouse) est en cours. Elle porte sur l'étude du phénomène de vaporisation en milieu poreux et en milieu fissuré.

Des études ont été entreprises au B.R.G.M. (GRINGARTEN) en collaboration avec l'université de Californie à Berkeley, l'U.S. Geological Survey et le Los Alamos Scientific Laboratory, sur les possibilités de récupération de la chaleur contenue dans les roches compactes de grande profondeur, en injectant de l'eau dans des fissures créées artificiellement. Le C.E.A. (département des transferts thermiques) s'intéresse également à ce problème.

1.3 — Recherche de gisements

Les recherches ont porté sur la Guadeloupe (EURAFREP) où un gisement avait été mis en évidence à Bouillante, sur le Territoire français des Afars et des Issas (B.R.G.M.) où des forages vont être entrepris au début de 1975, et aux Nouvelles-Hébrides (B.R.G.M.) avec une campagne de reconnaissance.

Les sociétés françaises sont intervenues dans des études de reconnaissance à l'étranger : Algérie, Indonésie (EURAFREP) ; Maroc, Arabie saoudite (B.R.G.M.).

2 — ENERGIE GEOTHERMIQUE BASSE TEMPERATURE

2.1 — Inventaire des ressources de la France

La crise actuelle de l'énergie a placé ce sujet au premier plan de l'actualité. C'est pourquoi de nombreuses études ont été consacrées à cet inventaire et aux moyens d'utiliser les ressources ainsi mises en évidence.

On peut citer les travaux de la S.T.G. (Société technique de géothermie), du B.R.G.M. de ELF, etc. ; des crédits ont été dégagés par la D.G.R.S.T. pour permettre au B.R.G.M. de réaliser une évaluation des possibilités géothermiques du Bassin de Paris, par confrontation des ressources et des besoins.

Un appel d'offre a été lancé par la D.G.R.S.T., afin de rechercher les techniques de chauffage les mieux adaptées aux températures relativement basses des nappes géothermales. L'utilisation de la pompe à chaleur pour améliorer le rendement de l'exploitation a fait l'objet d'études à E.D.F. et au C.E.N.G. (chauffage de serres).

2.2 — Modèles d'exploitation et de gestion des nappes

Les problèmes soulevés par la réinjection des eaux des nappes aquifères profondes après leur utilisation en chauffage ou climatisation ont été étudiés par différents organismes, en particulier par le B.R.G.M. et l'I.F.P.

Des modèles ont été mis au point, qui permettent de déterminer l'évolution des températures dans l'aquifère et aux puits de production, ainsi que les positions successives des fronts thermiques en fonction des propriétés thermiques et hydrodynamiques de l'aquifère, des caractéristiques des ouvrages et des conditions d'exploitation.

Les résultats obtenus permettent d'étudier l'effet de diverses implantations des puits de production et de réinjection et de choisir l'implantation permettant une utilisation optimale du potentiel énergétique d'un aquifère donné.

ALBAREDE F. and BOTTINGA Y. — Kinetic disequilibrium in trace element partitioning between phonocrysts and host lava. *Geoch. Cosmoch. Acta.*, 36, 141, 1972.

ALLEGRE C.J., BIRCK J.L., LOUBET M., PROVOST A. — "Age" ^{87}Rb , ^{87}Sr et teneurs en K, Rb, Sr, Ba et T.R. du sol de la Mer de la Fécondité (Lune) rapporté par la mission Luna 16. *C.R.Ac.Sc.*, 273, 779, 1971.

- ANTOINE P., LOUBAT H., VATIN PERIGNON N. — Hypothèses nouvelles sur l'origine et la signification des "Ophiolites" du domaine pennique externe (Savoie Valais). *Géologie Alpine*, 49, 21, 1973.
- ARNAUD G., LUCAS K., PEDEUX J.P., THOMAS J. — Mise en évidence par infra rouge thermique du volcanisme sous-jacent au plateau du Guilhaumard, Causse du Larzac. *C.G.G.*, 209, 72/11-3, 1972.
- ARNOLD M. et SOLER E. — Les minéralisations pyriteuses associées au volcanisme quartz keratophyrique du Sud de la Péninsule Ibérique. *C.R.Ac.Sc., Paris*, 276, 1373, 1973.
- AUBERT M. — Apport de l'aéromagnétisme à la connaissance de la chaîne des Puys et de la Limagne. *Rev. Auvergne*, 87, 161, 1973.
- AUBERT M. et CAMUS G. — Structure profonde de la Chaîne des Puys. *Bull. Volc.*, 2, 1974.
- AUBERT M., PERRIER G. — Structure du Massif Central. *Symposium J. JUNG*, Ed. Scientifiques, Clermont-Ferrand, 1971.
- AUMAITRE R. et BUFFET G. — Minéralogie, Pétrographie et Géochimie des laves spilitiques et des filons basiques associés du massif des Ecrins-Pelvoux (Alpes françaises occidentales). *Thèse 3^e cycle*, Grenoble, 1973.
- AUVRAY B. — Les subdivisions majeures des volcanites du Tregor (Bretagne septentrionale). *C.R. Ac. Sc., Paris*, 274, 1788, 1972.
- AVIAS J., GRILLOT J.C., NAUD C. — Rôle des "couches rouges" dans l'hydrogéologie des massifs d'origine volcanique, d'après l'exemple du massif basaltique des Coirons. *C.R.Ac.Sc. Paris*, 274, 24, 1972.
- BARBERI F., BIZOUARD H. and VARET J. — Nature of the clinopyroxene and iron enrichment in alkalic and transitional basaltic magmas. *Contr. Mineral. Petrol* 33, 93, 1971.
- BARBERI G., BONATTI E., MARINELLI G. and VARET J. — Transverse structures during the split of a continent : data from the Afar rift. *Tectonophysics.*, 23, 17, 1974.
- BARBERI F., BORSI S., FERRARA G., MARINELLI G., SANTACROCE R., TAZIEFF H. and VARET J. — Evolution of the Danakil depression (Afar, Ethiopia) in light of Radiometric age determinations. *J. geol.*, 80, 720, 1972.
- BARBERI F., CHEDEVILLE E., FAURE H., GIGLIA G., MARINELLI G., SANTACROCE R., TAZIEFF H. and VARET J. — Geology of northern Afar (Ethiopia). *Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn.*, 15, 443, 1973.
- BARBERI F., CHEMINEE J.L., VARET J. — Long-lived lava lakes of Erta Ale volcano (Danakil depression, Ethiopia). *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 15, 347, 1972.
- BARBERI F., FERRARA G., SANTACROCE R. and VARET J. — Structural evolution of the Afar triple junction. *Symposium on the Afar region*. Bad. Bergzabern, 1974.
- BARBERI F., GIGLIA G., MARINELLI G., SANTACROCE E., TAZIEFF H., VARET J. — Carte géologique de la dépression des Danakils (Afar septentrional, Ethiopie) CNRS-CNR, au 1/500.000^e. *Géotechnip*. La Celle-Saint-Cloud, 1971.
- BARBERI F., TAZIEFF H. et VARET J. — Volcanism of the Afar triangle, its tectonic and magmatic significance. *Tectonophysics*, 15, 19, 1972.
- BARBERI F. and VARET J. — The Erta Ale volcanic range (Danakil Depression, Northern Afar, Ethiopia). *Bull. Volcan.*, 34, 848, 1970.
- BARBERI F., VARET J. — Carte géologique de la chaîne de l'Erta Ale (dépression des danakils, Ethiopie), CNRS-CNR, au 1/100.000^e. *Géotechnip*. La Celle Saint-Cloud, 1972.
- BARBERI F. and VARET J. — Afar recent volcanic units and their structural significance. *Symposium on the Afar region*. Bad. Bergzabern, 1974.
- BARBERI F. and VARET J. — Nature of the Afar crust : a discussion. *Symposium on the Afar region*. Bad. Bergzabern, 1974.
- BAUDRY D., CAMUS G. — Les maars de la chaîne des Puys. *B.S.G.F.*, 12, 185, 1971.
- BEBIEN J. — Eléments nouveaux sur le volcanisme dévono-dinantien de l'extrémité SO du faisceau synclinal du Morvan. *C.R.Ac.Sc., Paris*, 273, 466, 1971.
- BEBIEN J. — Teneur en TiO₂ des roches volcaniques : comparaison des volcanismes actuel et ophiolitique. *C. R. Ac. Sc., Paris*, 275D, 1967, 1972.
- BELLON H., BRITO U., BROUSSE R., GOUHIER J. — Ages miocène inférieur pour les pépérites et moyen pour quelques laves de Limagne. *C.R.Ac.Sc., Paris*, 273, 1258, 1971.
- BELLON H. et BROUSSE R. — L'âge oligo-miocène du volcanisme ligure. *C.R.Ac.Sc. Paris*, 272, 3109, 1971.
- BELLON H., BROUSSE R., MERVOYER B., BLAIS S. — Age absolu du Massif volcanique du Mont Dore. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 274 D, 2740, 1972.
- BELLON H., BROUSSE R., LAMBERT A., CORNEN G., LE GARREC M.J., MAURY R., PESME M.F., LARROQUE P., BAUDEIGNE L. — Longue activité volcanique du Massif du Cantal, de 21 à 3,8 millions d'années. *C.R.Ac.Sc. Paris*, 274 D., 2409, 1972.
- BIQUEAND et PREVOT M. — A.F. demagnetisation of viscous remanent magnetisation in rocks. *Z. für Geophysik*, 37, 471, 1971.
- BIRCK J.L., ALLEGRE C.J. — "Age" ⁸⁷Rb ⁸⁷Sr du sol et des fragments rocheux ramenés des montagnes lunaires par la sonde automatique Luna 20 (Région du cratère Appoloniüs). *E.P.S.L.*, 17, 24, 1972.
- BLACK R., MORTON W.H., and VARET J. — New data on Afar tectonics. *Nature, Phys. Sci.*, 240, 170, 1972.
- BLANC Y., MERGOIL-DANIEL J., TEMPIER P. — Découverte de néphéline en mégacristsaux et d'enclaves à néphéline et anorthose dans les projections volcaniques du Devès (Hte Loire, France). *Bull. Soc. Fr. Miner. et Crist.*, 6, 1973.

- BLOT C. — Volcanisme et séismes du manteau supérieur dans l'archipel des Nouvelles Hébrides. *Bull. Volcan.*, 36, 446, 1972.
- BLOT C. — Volcanisme et sismicité dans les arcs insulaires. *Thèse d'Etat, Clermont-Ferrand*, 1974.
- BOBIER C. — Contribution du paléomagnétisme à l'étude géodynamique des volcans du Massif Central d'Algérie Nord Orientale et du Mexique. *Thèse d'Etat, Paris*, 1971.
- BOSSIÈRE G. et MECARISI. — Découverte d'un type de lave intermédiaire entre les rushayites et les katungites dans le Sahara nord-oriental. *C.R.Ac.Sc. Paris*, 273, 547, 1971.
- BOUÏT P. — Problèmes du volcanisme VI :
- Comparaisons entre le volcanisme arménien et le volcanisme du Massif Central de la France.
 - A propos d'une hypothèse sur la genèse des pépérites.
 - Clermont-Ferrand est-il construit sur un volcan ?
- Rev. d'Auvergne*, 85, 43, 1971.
- Le volcanisme monogénique d'Arménie sociétique et du Massif Central de la France.
- Bull. Assoc. Géogr. France*. n° 385-386, 11-16, 1971.
- La contribution du Massif Central volcanique de la France à la chronologie du Quaternaire Européen.
- Symposium sur la Géologie, la Morphologie et la structure profonde du Massif français, en l'honneur de J. JUNG.*, Ed. Scient. Clermont-Ferrand, 1971.
- BOUÏT P. — Observations morphologiques sur le volcanisme du pourtour méridional du désert du Lut (Iran). *Publication Inst. Géol. Clermont-Ferrand*, XLIII, 27, 1973.
- BOYER C. — Volcanismes acides paléozoïques dans le massif armoricain. *Thèse*, Orsay, 1974.
- BOYER C., HAVETTE A., WILHELM S. — Sur les feldspaths noirs non magmatiques dans les paléovolcanites acides de Vendée. *C.R.Ac.Sc. Paris*, 277, 265, 1973.
- BOYER C., BOBLOT N., GRAINDOR M.J. — Les ignimbrites du Post-Briovérien de St.Germain-le-Gaillard (Manche). *C.R.Ac.Sc. Paris*, 274 D, 21, 1972.
- BROUSSE R. — Magmatologie du volcanisme néogène et quaternaire du Massif Central. *Symposium J. JUNG*, 478, 1971.
- BROUSSE R. — Géologie et pétrologie des îles Gambier. *Cahiers du Pacifique*, 1974.
- BROUSSE R., BELLON H., FROIDEVAUX C. — Hot Spot in France. *Nature*, 1974.
- BROUSSE R., BIZOUARD H., SALT J. — Grenats des andésites et des rhyolites de Slovaquie. Origine des grenats dans les séries andésitiques. *Centr. Mineral. and Petrol.*, 35, 201, 1972.
- BROUSSE R., DAUGAS J.P., MALACHER F., RUDEL A. — Niveaux de cendres volcaniques dans une fouille archéologique. *C.R.Ac.Sc. Paris*, 275, 2619, 1972.
- BROUSSE R. et OYARZUN J. — Les complexes calco-alcalins et la province cuprifère circum-pacifique. *Colloque E. RAGUIN, Masson Ed.*, 309, 1973.
- BROUSSE R., PHILIPPET J.C., GUILLE G. — Géochronométrie des îles Gambier (Océan Pacifique). *C.R.Ac.Sc. Paris*, 274, 1995, 1972.
- BROUSSE R. et RUDEL A. — Activité paroxysmale dans la chaîne des Puys à 10 000 ans. *Bull. Hist. et Sci. Auv.*, 86, 1, 1973.
- BRETIZEL (de), FOGLIERNI F. — Les gîtes sulfurés concordants dans l'environnement volcanique et colcanosédimentaire. *Mineral. deposita*, 6, 65, 1971.
- CAILLÈRE S., PANYOTA TSOLI. — Contribution à l'étude géologique de l'île d'Égine (Archipel grec). *C.R.Ac.Sc. Paris*, 274 D, 3515, 1972.
- CAMUS G., de GOER de HERVE A., KIEFFER G., MERGOIL J., VINCENT P. — Mise au point sur le dynamisme et la chronologie des volcans holocènes des environs de Besse en Chandesse. *C.R.Ac.Sc. Paris*, 277, 629, 1973.
- CAMUS G., de GOER de HERVE A., KIEFFER G., MERGOIL J., VINCENT P. — Nouvelles interprétations du système Puy Chopine-Puy des Gouttes (Chaînes des Puys — Massif Central français). *C.R.Acad. Sc. Paris*, 277, 1121, 1973.
- CANTAGREL J.M., BERNARD-GRIFFITHS J., MATOS ALVES C.A., MENDES F. — Données radiométriques K-Ar sur quelques roches volcaniques des îles du Cap Vert. *Lisbonne*, 1973.
- CANTAGREL J.M., BERNARD-GRIFFITHS J., MENDES F. — Quelques datations du complexe basaltique de Lisbonne. Réunion du groupe travail volc., des îles de l'Atlantique Central. *Lisbonne*, 1973.
- CANTAGREL J.M., PREVOT H. — Paléomagnétisme et âge K-Ar des basaltes du Devès aux environs de Saint-Arcons d'Allier. *C.R.Ac.Sc. Paris*, 273, 261, 1971.
- CARBONELLE J., FOURCADE M., ZETWOOG P. — Mesure des températures et des débits de quatre fumerolles du volcan Vulcano par un réseau de mesure automatique. *Rapport interne C.E.A.*, contrat UNESCO, n° D 155 I/BI, 1972.
- CARBONELLE J., LE GUERN F., TAZIEFF H., ZETWOOG P. — Etude préliminaire des transferts de masse et d'énergie à la surface d'un étang de lave. *B.I.S.T. C.E.A.*, 169, 78, 1972.
- CARRON J.P., BONNIS B., VELLUTINI P., LAGACHE M. — L'évolution du rapport K/Rb dans les roches éruptives de Corse occidentale. *Bull. Soc. Géol. France.*, XV, 274, 1973.
- CHAIGNEAU M. et CHASTAGNIER M. — Sur la détermination du rapport Cl/Br en géochimie. *Bull. Soc. Chim., France*, 3, 944, 1973.
- CHAIGNEAU M., CHEMINÉE J.L., HEKINIAN R. — Popping rocks and lava tubes from the mid Atlantic-Rift Valley at 36° N. *Nature*, 245, 371, 1973.
- CHAIGNEAU M., FUSTER J.M. — L'éruption du Teneguia (La Palma, îles Canaries) et la composition des laves et gaz fumeroliens. *C.R.Ac.Sc. Paris*, 274 D, 2948, 1972.
- CHAIGNEAU M., FUSTER J.M. — Relations entre les gaz occlus et la composition des laves du Teneguia (La Palma, îles Canaries). *C.R.Ac.Sc. Paris*, 276, 1405, 1973.

- CHEMINÉE J.L. — Contribution à l'étude des comportements du potassium, de l'uranium et du thorium dans l'évolution des magmas. *Thèse de doctorat d'Etat, Paris*, 1973.
- CHRISTOPHE N., LEVY M., CAYE B., PIERROT R. — Existence de roches à spinelle magnésien dans la formation lunaire Fra Mauro (Mission Apollo 17). *C.R.Ac.Sc. Paris*, 274 D, 155, 1972.
- CLOCCHIATTI R. — Composition chimique des inclusions vitreuses des phénocristaux de quartz de quelques laves acides par l'analyse à la sonde électronique. *C.R.Ac.Sc. Paris*, 272, 2045, 1971.
- CLOCCHIATTI R., BOUTIERE A. — Sur les roches pyroclastiques du Nord du Dacht-Nawar (Afghanistan). Les quartz et leurs inclusions vitreuses. *Bull. Soc. Géol. Fr. (7)*, XIII, 430, 1971.
- CLOCCHIATTI R., BROUSSE R. — Pétrogenèse des reliquats magmatiques de quartz pyroclastiques. *C.R.Ac.Sc. Paris*, 274, 349, 1972.
- CLOCCHIATTI R. et WEISS J. — Mise en évidence par l'analyseur ionique de la croissance d'un minéral aux dépens de la phase vitreuse piégée dans ses lacunes de cristallisation. *C.R.Ac.Sc. Paris*, 276, 3405, 1973.
- CNR-CNRS. — Afar team geological maps of Afar. 1) Northern Afar, 1971 ; 2) Central and Southern Afar, 1974 (under the press). *Geotechnip*.
- CNR-CNRS. — Afar Team, Geology of Northern Afar (Ethiopia). *Rev. Geogr. Phys. Geol. Dynam.*, 15, 443, 1973.
- COGNEY G., TERMIER H., TERMIER G. — Sur la présence de "pillow lavas" dans le basalte au Permo-Trias du Maroc Central. *C.R.Ac.Sc. Paris*, 273, 446, 1971.
- CONRAD K., COUILLARD F., KRAFFT M., BARTAIRE J.G. — Analyse des gaz par un chromatographe portatif sur le volcan Vulcano. *C.R.Ac.Sc. Paris*, 272, 928, 1972.
- COURTILLOT V., TAPPONNIER P. and VARET J. — Evolution of the surface expression of transform faults. *Tectonophysics*, 24, 317, 1974.
- DARVICH-ZAD A. — Les amphiboles et les minéraux associés dans les laves basaltiques du Massif Central français. *Thèse Doct. 3^e cycle, Univ. Clermont*, 1971.
- DE FINO M., LA VOLPE L., LIRER L. and VARET J. — Geology and petrology of Manda Inakir range and Moussa Ali volcano, central eastern Afar (Ethiopia and T.F.A.I.). *Rev. Geogr. Phys. Géol. Dynam.*, 15, 373, 1973.
- DEMIANS D'ARCHIMBAUD J. et MUNIER JOLAIN J.P. — "Exploration géothermique en Guadeloupe". *Annales des Mines*, Mai, 1971.
- DEVIS G. — Le volcanisme et le gisement fossilifère de Senèse (Hte. Loire). *Rev. Sc. Nat. d'Auvergne*, 36, 25, 1971.
- DOREL J., ESCHENNBRENNER S., FEUILLARD M. — Les volcans actifs de la Guadeloupe et de la Martinique petites Antilles. *Bull. Volc.*, 36, 359, 1973.
- DUPUY C. — Coefficients de partage du strontium entre phases leucocrates des ignimbrites de Toscane (Italie). *Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristal.*, 328, 1972.
- DUPUY C., ALLEGRE C. — Fractionnement K/Rb dans les suites ignimbritiques de Toscane. Un exemple de réjuvenation crustale. *Geoch. Cosmo. Acta*, 36, 437, 1972.
- DUPUY C., LEFEVRE C. — Le fractionnement du strontium et du nickel dans les basaltes des Causses et du Bas Languedoc. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 274 D, 2556, 1972.
- DUPLAIX S., BRUN A., BOBIER C. — Etude des minéraux lourds des roches et des projections volcaniques de la région du Mont-Dore (Puy de Dome), *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.* 2, XIII, 279, 1972.
- GILLOT P.Y., BELLON H., PANTALONI A. — Chronométrie de quelques intrusions volcaniques du Sud du Plateau du Larzac. *C.R.Ac.Sc. Paris*, 274 D, 2855, 1972.
- GIROD M., CAMUS G., VIALETTE Y. — Sur la présence de tholéïtes à l'île Saint-Paul (Océan Indien). *Contr. Mineral. and Petrol.*, 33, 108, 1971.
- GIROD M., LEFEVRE C. — Nature et origine des "andésites" et "trachyandésites" cénozoïques du Massif Central français. *Contr. Miner. and Petrol.*, 36, 315, 1972.
- GIROD M., LEFEVRE C. — A propos des "andésites" des Açores. *Contr. Miner. and Petrol.*, 35, 159, 1972.
- de GOER de HERVE A. — La planèze de St. Flour (massif volcanique du Cantal, France), Vol. I — Structure et stratigraphie. Vol. II — Formes et dépôts glaciaires. *Thèse d'Etat, Clermont-Ferrand*, 1972.
- de GOER de HERVE A. et MERGOIL J. — Structure et dynamique des édifices volcaniques tertiaires et quaternaires. *Symposium J. JUNG* : "Géologie, morphologie et structure profonde du Massif Central français", Clermont-Ferrand, 1971.
- GOGUEL J. — Le rôle de la convection dans la formation des gisements géothermiques. *Geothermie, U.N. symposium*, Pisa, 2, 615, 1970.
- GUILLOU J.H., CONORD H. — Premières données radiométriques concernant les basaltes de Nouvelle Calédonie. Leurs relations avec les grands événements de l'histoire géologique de l'arc mélanésien interne au Cénozoïque. *C.R. Ac. Sc. Paris*, 274 D, 309, 1972.
- HAMET J., DELCEY R. — Age synchronisme et affiliation des roches rhyolitiques de la province du Baixo Alentejo (Portugal) : mesure isotopique par la méthode ⁸⁷Rb, ⁸⁷Sr. *C.R. Ac. Sc. Paris*, 272, 2143, 1971.
- ILDEFONSE J.P., BELLON H., PANTALONI A., PHILIPPOT J.C. — Mise en évidence de la transition paléomagnétique Gauss-Matuyama dans les formations volcaniques de l'Escandorgue, Hérault, France. *E.P.S.L.*, 14, 249, 1972.
- JAMBON A., CARRON J.P. — Etude expérimentale de la diffusion des éléments alcalins K Rb Cs dans une obsidienne granitique. *C.R. Ac. Sc. Paris*, 276, 3069, 1973.
- JEROME D.Y., PHILLIPOT J.C., BRICHET E. — Détermination de 29 éléments in Luna 16 soil by non destructive activation analysis. *E.P.S.L.*, 13, 436, 1972.

- KIEFFER G. — Le volcan pépéritique d'Hubel (Lembron, Puy de Dome) *Rev. Sc. Nat. d'Auvergne*, 36, 3, 1971.
- Dépôts détritiques et pyroclastiques du versant oriental de l'Etna. *Atti. dell'Acc. Giosnia di Science Naturali* in Catania, Ser. VII, Vol. II, 1-33, 1971.
- Dépôts et niveaux marins et fluviaux de la région de Catane (Sicile). *Méditerranée*, 591, 1971.
- Aperçu sur la morphologie des régions volcaniques du Massif Central. In *Symposium J. JUNG*, Clermont-Ferrand, 1971.
- KIEFFER G. — Identification d'un témoin de l'éruption de 79 sur le flanc occidental du Vésuve. *C.R. Ac. Sc. Paris*, 275, 1971, 1972.
- KIEFFER G. — Succession, ampleur et modalité des mouvements tectoniques récents à la base orientale de l'Etna (Sicile). *C.R. Ac. Sc. Paris*, 275, 1399, 1972.
- KRAFFT M., FERAUD G. — Réalisation d'une carte des températures dans l'infrarouge du sol du cratère de Vulcano. *C.R. Ac. Sc. Paris*, 272, 207, 1971.
- LACOMBE P. et ROCHE A. — Sur l'aimantation de basaltes quaternaires du Cambodge. *C.R. Somm. séance Géol. France*, 8, 200, 1971.
- LAY C. et REICHEL T. — Sur l'âge et la signification des intrusions de dolérites tholéitiques dans le bassin de Taoudoni. *C.R. Ac. Sc. Paris*, 272, 374, 1971.
- LEFEVRE C., DUPUY C. — Sur la présence de basaltes à hypersthènes normatif dans les volcans du Bas Languedoc (Hérault). *C.R. Ac. Sc. Paris*, 274, 2616, 1972.
- LA ROCHE H. (de), LETERRIER J. — Transposition du tétraèdre minéralogique de Yoder et Tilley dans un diagramme chimique de classification des roches basaltiques. *C.R. Ac. Sc. Paris*, 276, 3115, 1973.
- LE GUERN F. — Etudes dynamiques sur la phase gazeuse éruptive. *Rapport C.E.A.* — R — 4383, 1972.
- LE GUERN F. — Evaluation du débit d'acide sulfurique au volcan Etna (Sicile). *C.R. Ac. Sc. Paris*, 275, 1867, 1972.
- LETERRIER J., (de la) ROCHE H. — Extension aux basaltes d'une typologie chimique des roches ignées acides et intermédiaires. *C.R. Ac. Sc. Paris*, 274, 788, 1972.
- LOUBET M., BIRCK J.L., MANHES G., ALLEGRE C.J. — Découverte dans le sol rapporté par Luna 16 d'un fragment de gabbro-anorthite susceptible de représenter la croûte primitive de la lune. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 274, 158, 1972.
- LOUBET M., BIRCK J.L., ALLEGRE C.J. — Teneurs en K, Rb, Sr, Ba et Terres rares des échantillons ramenés par la sonde soviétique Luna 20 de la région du cratère Apollonius (Montagnes lunaires). *E.P.S.L.*, 17, 19, 1972.
- LOUBET M., BERNAT M., JAVOY M., ALLEGRE C.J. — Rare earth contents in carbonites *E.P.S.L.*, 14, 226, 1972.
- LOUBET M., BIRCK J.L., ALLEGRE C.J. — Teneurs en ^{87}Rb — ^{87}Sr , Terres rares et K, Rb, Sr, Ba dans le sol lunaire ramené par la sonde soviétique Luna 20. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 275, 1095, 1972.
- MARINELLI G., VARET J. — Structure et évolution du Sud du Horst Danakil. (TFAT et Ethiopie). *C. R. Ac. Sc. Paris*, 276, 1119, 1973.
- MAURY R., ARAI F., MIMURA K., YAYATSU K., KOBAYASHI K. — Estimation des températures de mises en place de brèches pyroclastiques du Japon d'après l'étude de leurs bois carbonisés. *C. R. Ac. Sc., Paris*, 277, 1621, 1973.
- MAURY R., BIZOUARD H. — Clinopyroxènes des contacts acides basiques. *Bull. Soc. Fr. Mineral. Cristlogr.*, 1974.
- MAURY R. et BIZOUARD H. — Melting of acid xenoliths into a basanite : a possible approach of the contamination mechanisms. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1974.
- MAURY R. et MERVOYER B. — Métamorphisme thermique des pélites permienues du bassin de Lodève au contact d'intrusions basaltiques de tailles variées : quelques aspects minéralogiques. *B.S.G.F.*, (7), XV, 313, 1973.
- MAURIN N. — Contribution à l'étude expérimentale du rôle de l'eau dans la mise en solution d'éléments chimiques constitutifs du basalte. *Thèse 3^e cycle*, Grenoble, 1971.
- MAZOIRES J., ALEUQUERQUE MENOR E., ROCHE A., SAUCIER H., SAUCIER H., SIAL A. — Etude paléomagnétique de laves de l'île Fernando de Noronta. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 273, 551, 1971.
- MERGOIL J. — Les formations volcaniques de Plateau sur la carte géologique au 1/50.000 Burget XXVII 37. *Lab. Géol. et Miner. Clermont-Ferrand*, 14, 1973.
- MERVOYER B., MAURY R., VARET J. — Un mécanisme possible d'évolution des trachyandésites du Massif Central par cristallisation fractionnée sous pression d'eau. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 277, 9, 1972.
- MICHEL R., HOUCHEMANDEADEN A., MAGNIFOUR A. — Rapport géologique préliminaire sur l'activité du volcan Taftan (Baluchistan S.E. Iran). *Service Géologique d'Iran*, Note géologique n° 58.
- MIMURA K., KOBAYASHI K., MAURY R. — Carbonized wood and its fossil "smoke" in the Kurofugi pyroclastic flows. *Bull. Volc. Soc. Japan*, 1973.
- MOINEREAU J., GRILLOT J.C., NAUD G. — La genèse des couches rouges du plateau basaltique des Coirons (Ardèche). *C. R. Ac. Sc. Paris*, 274, 2615, 1972.
- MORRE-BIOT N. et ROCHE A. — Sur un essai de détermination de l'âge des formations volcaniques des sondages de Sarton et d'Orville (Pas de Calais) par les méthodes paléomagnétiques. *Bull. Soc. Géol. France* (7), XII, 180, 1971.
- MORRE-BIOT N. — Pétrologie des formations volcaniques du permio-carbonifère du Nord de la France. *Thèse d'Etat, Doc.*, 1971.

- NATIVEL P. — Zonation des zéolites du Cirque de Salazie (Ile de la Réunion) *Bull. Soc. Géol. Fr.* XIV, 1972.
- NATIVEL P. — Découverte de thénardite dans les dépôts fumerolliens de la Fournaise (Ile de la Réunion). *Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristal.* 95, 529, 1972.
- NATIVEL P. — Un épisode explosif générateur de dacites au Piton des neiges (Ile de la Réunion, Océan Indien). *C. R. Ac. Sc. Paris*, 277, 29, 1973.
- PETERLONGO J. — Pilow-lavas à bordure variolitique et matrice basique dans la série métamorphique de la Brèvenne (Rhône, Massif Central français). *Bull. Soc. Géol. de Fr.* (7), XII, 190, 1971.
- PIXA R. — Quelques observations sur la répartition et l'évolution des centres de couleurs dans le quartz à diverses températures. *Thèse 3^e cycle, Strasbourg*, 1972.
- POUCHANT P. et ROCHE A. — Etude paléomagnétique de formation volcanique du territoire des Afars et Issars. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 272, 531.
- PREVOT M. — A method for identifying naturally occurring titanomagnetiten, *Zeitschrift für Geophysik.*, 37, 339, 1971.
- PREVOT M. et DALTYMPLE G.B. — Age potassium-argon et polarité magnétique de roches volcaniques mio-pliocène du Velay (Massif Central, France), essai de chronostratigraphie fine. *Ann. Géophys.*, 27, 723, 1971.
- PROVOST A., BOTTINGA Y. — Rates of solidification of Apollo 11 basalt and Hawaiian tholeiite. *E.P.S.L.*, 15, 325, 1972.
- TANGUY J.C. — Mt. Etna volcanic activity — Event card n° 1215. Center for short lived phenomena. *Smithsonian Institution Cambridge, Mass (USA)* 1971.
- Mt Etna volcanic eruption : 5 april — 12 June 1971 *Ibid.* Event report for the annual report 1971, 15 déc. 1971.
- TANGUY J.C. — The 1971 Etna eruption, petrography of the lavas. *Phil. Trans. Royal Soc. London*, ser. A 274, 45, 1973.
- TANGUY J.C. — Une coulée de trachyte dans l'Etna récent. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 277, 2605, 1973.
- TANGUY J.C., POZZI J.P. — Etude archéomagnétique dans l'île d'Ischia (Italie), la direction d'aimantation des laves de l'Arso (éruption de 1301). *C. R. Ac. Sc. Paris*, 274, 352, 1972.
- TAZIEFF H. — About "volcanic activity related to the formation of the Kurckotype deposits". *Mineral deposita*, 6, 89, 1971.
- TAZIEFF H. — Sur la tectonique de l'Afar central. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 7, 1055, 1971.
- TAZIEFF H. — Volcanologie en Afar et en Italie. *Courrier C.N.R.S.*, n° 1, 27, 1971.
- TAZIEFF H. — Volcanisme et Géothermie. *Ann. Miner.*, 73-86, 1971.
- TAZIEFF H. — A dynamic approach to the problem of forecasting volcanic paroxysms. *UNESCO, Earth Sciences*, 8, 1971.
- TAZIEFF H. — Tectonics of Central Afar. *Journ. of Earth Sc. Leeds*, 8, 171, 1972.
- TAZIEFF H. — Structural implications of the 1971 Mount Etna Eruption. *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, A274, 79, 1973.
- TAZIEFF H. — Ursachen und Erscheinungsformen des Vulkanismus. "Eroberung des Tiefe" ed. Prof. Dr. Ing. W. Arnold, Leipzig, 52, 1973.
- TAZIEFF H. — Horizons pyroclastiques. *B.R.G.M.*, n° 77, 467, 1972.
- TAZIEFF H. — The Afar Triangle. in "Continents Adrift", St. Francisco, 133, 1972.
- TAZIEFF H. — About deep sea volcanisme. *Geol. Rundschau*, 61, 470, 1972.
- TAZIEFF H. et LE GUERN F. — Signification tectonique et mécanisme de l'éruption d'Avril-Juin 1971 de l'Etna. *C.R. Ac. Sc. Paris*, 272, 3252, 1971.
- TAZIEFF H., LE GUERN F., CARBONNELLE J. — Etude chimique des fluctuations des gaz éruptifs du volcan Erta'Ale (Afar-Ethiopie) *C. R. Ac. Sc. Paris*, 274, 1003, 1972.
- TAZIEFF H., VARET J. — Volcanisme et Volcanologie. *Encyclopædia Universalis*, 927-940, 1973.
- TAZIEFF H., VARET J., BARBERI F., GIGLIA G. — Tectonic significance of the Afar depression. *Nature*, 235, 144, 1972.
- THONAT A. — Découverte de cinérites et d'importants niveaux de brèches d'explosion dans le massif du Signal du Luguët Cézallier (massif Central français). *C. R. Ac. Sc. Paris*, 273, 2460, 1971.
- Découverte de trachy-andésites, de leuco-trachytes, de ponces, de phonolites et d'ordanoites dans le massif du Signal du Luguët, Cézallier (massif Central français). *C. R. Somm. Séances Soc. Géol. Fr.*, fasc. 5, 262, 1971.
- THUIZAT R. — Les sources thermo-minérales de Chatel-Guyon et leur environnement géologique. Etude de la constitution isotopique de l'Argon contenu dans les gaz d'accompagnement de certaines sources minérales du Puy de Dôme, de l'Allier, du Cantal et de la Creuse. *Thèse 3^e cycle, Clermont-Ferrand*, 1973.
- TAPPONNIER P. et VARET J. — La zone de Mak'arrasou en Afar, un équivalent émergé des failles transformantes océaniques. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 278, 209, 1974.
- TREUIL M. — Critères pétrologiques, géochimiques et structuraux de la genèse et de la différenciation des magmas basaltiques : exemple de l'Afar. *Thèse de doctorat d'Etat, Orléans*, 1973.
- TREUIL M. — Trace éléments geochemistry of recent volcanic rocks of Afar, *Symposium on the Afar region* (à paraître).
- TREUIL M., BILLHOT M., VARET J., BARBERI F. — Distribution of Ni, Cu, Zn, in the volcanic series of Erta'Ale, Ethiopia. *Contr. Mineral and Petrol.*, 30, 84, 1971.
- TREUIL M., VARET J. — Critères volcanologiques, pétrologiques et géochimiques de la genèse et de la différenciation des magmas basaltiques : exemple de l'Afar. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 15, 506, 1973.
- VATIN PERIGNON N., SHAW D.M. — Comportement du lithium et d'autres éléments en traces dans

quelques coulées triasiques de l'Aiguille de Norges (Alpes françaises méridionales). Une contribution au problème de l'origine des roches spilitiques. *Géologie Alpine*, 48, 201, 1972.

VARET J. – Erta'Ale activity (Afar-Ethiopia). *Bull. Geophys. obs. Addis Abeba*, n° 13, 115, 1971.

VARET J. – Sur l'activité récente de l'Erta'Ale (Ethiopia) *C. R. Ac. Sc.*, 272, 1964, 1971.

VARET J. – Critères pétrologiques, géochimiques et structuraux de la genèse et de la différenciation des magmas basaltiques : exemple de l'Afar. *Thèse d'Etat, Paris-Sud*, 1973.

VIGNERESSE J.L. – Etude aeromagnétique de la chaîne des Puy. *Dip. Ing. Geoph. Strasbourg*, 1972.

VINCENT P.M. – Volcans et Volcanologie. *Encycl. Intern. Sci. et Techn.*, 10, 1973.

ZETTWOOG P., CARBONELLE J., LE GUERN F., TAZIEFF H. – Mesures de transferts d'énergie et de transferts de masse au volcan Erta Ale (Afar Ethiopie) *C. R. Ac. Sc. Paris*, 274, 1265, 1972.

ZETTWOOG P., TAZIEFF H. – Développement d'une instrumentation pour l'étude des transferts de masse et d'énergie entre les volcans et l'atmosphère. *B.I.S.I., C.E.A.*, n° 156, février 1971.

ZETTWOOG P. et TAZIEFF H. – Instrumentation for measuring and recording mass and energy transfer from volcanoes to atmosphere. *Bull. volcan. T. XXXVII*, 1, 1972.



SECTION IV

GÉOMAGNÉTISME ET AÉRONOMIE

TABLE DES MATIERES

	Pages
I – Champs Magnétiques Internes	102 4
1. Induction électromagnétique et conductivité électrique de la Terre.	
2. Anomalies magnétiques.	
3. Archéomagnétisme et paléomagnétisme.	
4. Magnétisme des roches.	
II – Phénomènes Aéronomiques	106 8
1. Structure et processus dynamiques régissant l'équilibre des composants neutres et ionisés.	
2. Flux solaires et photochimie des Composants neutres et ionisés.	
3. Emissions atmosphériques.	
4. Aéronomie des atmosphères planétaires.	
III – Phénomènes Magnétosphériques	112 14
1. Champs et particules.	
2. Ondes et interactions ondes-particules.	
3. Magnétosphères des planètes.	
IV – Observations, Instruments et Indices	117 19
1. Observatoires magnétiques.	
2. Observations ionosphériques.	
3. Observations photométriques.	
4. Observations d'émissions radio-électriques.	
5. Campagnes diverses.	
6. Levés et cartes magnétiques.	
7. Instruments.	
8. Indices d'activité magnétique.	

Ce rapport a été préparé par J. L. LE MOUEL, J. BARAT, J. ETCHETO ET P.N. MAYAUD pour chacune des quatre parties, avec la collaboration de D. ALCAYDE, J.L. BERTAUX, J.J. BERTHELLIER, J. BITTERLY, J.L. BUREAU, J. CHRISTOPHE-GLAUME, L. DALY, J. ENGELMAN, R. GENDRIN, A. GIRAUD, Y. LEBLANC, E. le BORGNE, J. MOSNIER, R. PELLAT, G. PILLET, A. ROCHE, M. SYLVAIN, J. TESTUD et G. WEILL. La bibliographie générale, à la fin du rapport, a été établie sous la responsabilité de P.N. MAYAUD. Les sigles utilisés sont répertoriés ci-dessous.

ATP	Action Thématique Programmée
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CEA	Commissariat à l'Energie Atomique
CESR	Centre d'Etudes Spatiales du Rayonnement
CFP	Compagnie Française des Pétroles
CGG	Compagnie Générale de Géophysique
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
CNET	Centre National d'Etudes des Télécommunications
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
COB	Centre Océanologique de Bretagne
CRG	Centre de Recherches Géophysiques
ENS	Ecole Normale Supérieure
GRI	Groupe de Recherches Ionosphériques
IAP	Institut d'Astrophysique
INAG	Institut National d'Astronomie et de Géophysique
IPGP	Institut de Physique du Globe de Paris
LPE	Laboratoire de Physique de l'Exosphère
LPHA	Laboratoire de Physique de la Haute Atmosphère
MIR	Mesures Ionosphériques et Radioélectriques
ONERA	Office National d'Etudes et de Recherches Aéronautiques
ORSTOM	Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer
RSR	Recherches Spatiales Radioélectriques
TAAF	Administration des Terres Australes et Antarctiques Françaises

I – CHAMPS MAGNETIQUES INTERNES

1. INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE ET CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DE LA TERRE

1.1 Magnetotellurique

D. BOYER, L. CAGNIARD et PHAM VAN NGOC (1971), J. CHAUVEAU (1971), HOANG NGOC THACH (1974) ont repris le problème de la faille en faisant des hypothèses différentes sur les conditions aux limites. L. LAUNAY (1974) a traité des structures cylindriques sur ordinateur et des problèmes à 3 dimensions sur modèles réduits ; les applications numériques portent essentiellement sur l'effet de "bord de mer".

J.L. BUREAU (1972) a étudié la dispersion des valeurs des résistivités apparentes classiques en relation avec les sources ; il a développé la notion de nappes indépendantes, la représentation tensorielle du champ électrique en fonction du champ magnétique et, dans le cas de structures complexes, les notions de direction principale et de résistivité apparente moyenne de surface.

H. FOURNIER et J.C. ROSSIGNOL (1974) ont mis en évidence, à Nozay-en-Dunois, deux couches conductrices dont les profondeurs pourraient être de 40 et 140 km. H. FOURNIER (1974) a retrouvé de telles couches conductrices à Planchez du Morvan et à Mortagne (Vendée), mais à des profondeurs fort variables.

1.2 – Sondages géomagnétiques

O. FAMBITAKOYE (1973) a tenté, à partir d'une chaîne méridienne de 9 stations s'étendant sur 3000 km au centre de l'Afrique, une séparation des effets externes et internes dues à l'électrojet équatorial. Dans le cas des perturbations, l'amplitude des effets internes dépend de la vitesse de variation de la perturbation ; dans le cas de la variation journalière régulière S_R , leur amplitude apparaît négligeable. O. FAMBITAKOYE et P.N. MAYAUD (1973), discutant le résultat classique obtenu à partir du profil de Huancayo pendant l'A.G.I., ont montré que les effets internes de la variation S_R étaient également négligeables sur ce méridien.

Le laboratoire de Physique de l'ENS, l'équipe de géomagnétisme de l'IPGP et le laboratoire de géophysique de Montpellier se sont groupés pour réaliser, dans le cadre de l'ATP Géodynamique de la Méditerranée occidentale, un important programme de mesures magnétiques et telluriques dans la région des Pyrénées orientales. Les variations des composantes du champ magnétique terrestre ont été enregistrées soit à l'aide de variographes classiques (Askania vectoriels GV 3), soit à l'aide de la chaîne de variographes horizontaux mise au point par le laboratoire de Physique de l'ENS (BABOUR et MOSNIER, 1973). Au total, plus de soixante stations temporaires ont été implantées au cours des trois campagnes 1972, 1973, 1974, dans une région de 150 x 150 km. Une très forte anomalie de conductivité a été mise en évidence : l'intensité du champ anormal atteint celle du champ normal. D'autre part, fait très remarquable, le champ anormal se trouve polarisé rectilignement, la direction de polarisation étant invariante dans le domaine de périodes allant de quelques minutes à deux heures. Toutes ces observations sont en faveur de l'hypothèse de canalisation de courants pseudo-continus plutôt que de celle de phénomènes d'induction locale (DAIGNIERES et al., 1973).

Enfin, l'examen minutieux des défauts de réduction du levé aéromagnétique de la Mer d'Alboran (GALDEANO et al., 1974) a permis de mettre en évidence une importante anomalie de conductivité dont le tracé se prolonge probablement dans le Maroc du Nord.

2 - ANOMALIES MAGNETIQUES

La réalisation, au cours des 5^e et 6^e plans, du vaste programme de levés aéromagnétiques CNRS-INAG a suscité un vif regain d'intérêt pour le traitement et l'interprétation des anomalies magnétiques.

L'équipe de Géomagnétisme interne de l'IPGP a poursuivi l'interprétation des levés aéromagnétiques du CNRS et de l'INAG en faisant porter plus particulièrement ses efforts sur les régions océaniques et les implications géodynamiques des levés (LE BORGNE et al., 1971 ; BAYER et al., 1973 ; GALDEANO et al., 1974 ; BAYER, 1974). Simultanément, cette équipe mettait au point diverses méthodes de traitement et d'interprétation appartenant, pour la plupart, à la classe des méthodes dites inverses (LE MOUËL et al., 1972 ; COURTILLOT et al., 1973 ; LE MOUËL et al., 1974 ; DUCRUIX et al., 1974a ; DUCRUIX et al., 1974b ; COURTILLOT et al., 1974 ; COURTILLOT, 1974 ; DUCRUIX, 1974 ; GALDEANO, 1974).

Le département géophysique du BRGM a mis au point un système complet de traitement et d'interprétation des levés aéromagnétiques et gravimétriques, basé sur l'analyse fréquentielle, et permettant de traiter des anomalies et des structures aussi complexes qu'on peut le souhaiter (GERARD et GRIVEAU, 1972 ; GERARD, 1973). Des modèles bidimensionnels simples ont été utilisés pour tirer rapidement des levés des données quantitatives locales (notamment des estimations de profondeur). Ces techniques ont été appliquées à l'interprétation des anomalies magnétiques du Sud du Bassin de Paris (WEBER, 1972), et du Nord du Massif Central (levé détaillé réalisé par l'INAG en 1972). Ces études ont apporté des renseignements nouveaux ou des confirmations intéressantes la tectonique, la pétrographie du socle et la géologie (GERARD et DEBEGLIA, 1974).

L'équipe de Géomagnétisme de l'IPG de Clermont-Ferrand s'est, elle aussi, occupée de l'interprétation du levé aéromagnétique détaillé 1972 couvrant le Nord-Est du Massif Central ; elle s'est plus particulièrement intéressée à la topographie et à la tectonique du socle sous la chaîne des Puys.

L'équipe de Géomagnétisme de l'IPG de Strasbourg a développé des méthodes fréquentielles de traitement des anomalies magnétiques (SCHUSTER, 1974) et a entamé l'interprétation des anomalies des Vosges et de la Plaine d'Alsace. (TAKTAK, 1971).

L'équipe de Géophysique marine de l'IPGP a poursuivi l'interprétation des anomalies magnétiques relevées dans les bassins de Crozet, de Madagascar et des Mascareignes. Ces études ont permis de dater la totalité du bassin du Crozet, la plus grande partie du bassin de Madagascar et la partie Nord du bassin des Mascareignes, d'enrichir l'échelle des inversions du champ géomagnétique de trois nouveaux événements brefs, et de corriger l'échelle de Heirtzler au crétacé supérieur, au paléocène et à l'éocène (SCHLICH et al., 1971, 1972, SCHLICH, 1974, SIMPSON et al., 1974).

3 - ARCHEOMAGNETISME ET PALEOMAGNETISME

Les recherches en Archéomagnétisme ont été poursuivies par E. THELLIER dans le but de retracer le détail de la variation séculaire du champ terrestre en Europe Occidentale au cours des deux derniers millénaires. Les résultats déjà acquis sont considérables. L'auteur estime cependant que les quelques lacunes restantes (période 800-1100 après J.C.) imposent des mesures complémentaires avant une publication d'ensemble.

L'étude de laves de coulées historiques de l'Etna et de l'île d'Ischia a permis à J.C. TANGUY et J.P. POZZI (1972) de recouper les autres résultats archéomagnétiques.

R. ANDRIAMIRADO (1971) a étudié les formations volcaniques du Crétacé supérieur, du Tertiaire et du Quaternaire de Madagascar. Les laves du Crétacé supérieur, qui sont les plus modernes, montrent toutes un sens normal de l'aimantation. La direction moyenne de cette aimantation permet de fixer la paléolatitute et la paléoorientation de l'île. C. BOBIER (1971), à partir d'études effectuées sur différentes zones volcaniques du Massif Central, d'Algérie et du Mexique, a montré dans quelle mesure le Paléomagnétisme peut apporter une contribution à certains problèmes de Volcanologie, en particulier à la stratigraphie. N. BONHOMMET (1972), à partir d'une étude paléomagnétique de la chaîne des Puys, a précisé l'âge et les caractères de l'épisode inversé du Laschamps qu'il a découvert et qui est le plus jeune connu ; il a également abordé par voie statistique le problème de la dispersion des directions du champ magnétique terrestre au cours des derniers millénaires.

Basées sur les méthodes établies par E. THELLIER, des recherches de M. PREVOT et M.D. WATKINS (1973) ont permis d'établir les variations d'intensité du champ terrestre lors d'une transition de polarité.

Dans le cadre de l'ATP Géodynamique Méditerranée Occidentale, les équipes du Laboratoire de Paléomagnétisme de Strasbourg (M. WESTPHAL, R. HAMZEH, A. BOSSERT, C. BARDON), du Laboratoire de Géomagnétisme du Parc St Maur (M. DALY, C. POZZI), des Laboratoires du C.O.B. (B. SICHLER), de Pétrologie de Marseille (BONIFAY, BRONNER) et de la Station Géodynamique de Villefranche-sur-mer (C. BOBIER, C. COULON) ont effectué des travaux sur des formations volcaniques ou sédimentaires dans les régions suivantes : Mauritanie, Maroc, Corse, Sardaigne, Alpes Occidentales, Vallée du Rhin.

Au Maroc, au cours de diverses missions durant les années 1972, 1973, 1974, on a étudié des formations de l'Autunien, du Trias, du Lias, du Crétacé, du Tertiaire et du Quaternaire (BARDON et al., 1973 ; BOSSERT, 1973 ; HAMZEH, 1973 ; HAMZEH et WESTPHAL, 1973). Les valeurs observées pour la Déclinaison et l'Inclinaison aux périodes anciennes sont cohérentes avec celles qui ont été obtenues en Amérique du Nord en adoptant pour les positions des continents africain et nord-américain, avant l'ouverture de l'Atlantique, l'un des schémas proposés par E. BULLARD, X. LE PICHON et autres. On remarque par ailleurs une dispersion des valeurs des déclinaisons au Lias et une divergence entre les paléolatitudes déduites des résultats marocains et celles obtenues à partir des résultats d'Afrique du Sud ; l'explication de cette divergence n'est pas encore éclaircie.

Les mesures faites en Corse par M. WESTPHAL et al. (1973) confirment les résultats antérieurs, c'est-à-dire une rotation relative de 40° de l'île par rapport à l'Europe stable depuis le Permien.

Les mesures effectuées par J.P. LAUER et B. DURAND DE GROSSOUVRE (1973) sur des formations tertiaires bien datées de la vallée du Rhin ont fourni des valeurs qui conduiraient à l'idée d'une variation assez complexe des paléolatitudes de l'Europe au cours du Tertiaire.

4 - MAGNETISME DES ROCHES

4.1 - L'aimantation rémanente primaire

La reconnaissance de la nature des aimantations primaires d'une roche (détritique, cristalline, thermorémanente), capitale pour la recherche et la direction du champ ancien, a été étudiée à l'aide d'analyses minéralogiques fines par M. PREVOT, 1971, 1974, M. PREVOT et P. POIX, 1971, M. PREVOT et J. MERGOIL, 1973. Divers facteurs peuvent perturber la fossilisation originelle du champ, en particulier l'anisotropie magnétique et

l'action des contraintes. L. DALY et H. ZINSSER (1973) ont montré que l'anisotropie d'aimantation rémanente peut être beaucoup plus forte que l'anisotropie de susceptibilité. J.P. POZZI (1972) a entrepris l'étude de l'effet des pressions appliquées lors de l'acquisition de l'aimantation primaire, non seulement sur sa direction mais aussi sur son intensité et ses caractéristiques physiques.

4.2 – L'aimantation rémanente secondaire et l'action de la pression et de la température

En ce qui concerne l'aimantation rémanente visqueuse (A.R.V.), C. PLESSARD (1971) a montré combien les caractéristiques de l'A.R.V. dépendent de l'état initial de l'échantillon. D'autre part, l'A.R.V. de certaines roches sédimentaires peut être très résistante vis-à-vis des traitements par champs alternatifs (D. BIQUAND, M. PREVOT et D. DUNLOP, 1971, D. BIQUAND et M. PREVOT 1971). Par contre, D. BIQUAND (1974) a montré que la résistance thermique de l'A.R.V. est toujours faible.

En ce qui concerne l'aimantation piézo-rémanente (A.P.R.), J.P. POZZI (1973) a montré que les roches sédimentaires peuvent acquérir des A.P.R. stables et résistantes vis-à-vis des champs alternatifs, mais détruites facilement par recompression en champ nul. Un nouveau procédé de nettoyage magnétique peut donc être envisagé. Par ailleurs, les aimantations portées par les roches ignées résistent d'autant plus aux compressions en champ nul qu'elles sont plus résistantes à l'action des champs magnétiques alternatifs.

Une étude de terrain conduite dans les Vosges (J.P. LAUER et G. TAKTAK, 1971, G. TAKTAK et J.P. LAUER, 1972, J.B. EDEL, 1972) et complétée par une analyse de laboratoire des propriétés magnétiques des roches (C. ARTZT, 1972) a montré le rôle important joué par les apports calorifiques (métamorphisme de contact des intrusions granitiques) responsables de transformations minéralogiques qui se traduisent par une augmentation importante de la susceptibilité.

4.3 – Contribution à la géophysique et à la géologie

Les inversions de l'aimantation des roches constituent des indices chronostratigraphiques. Utilisées conjointement avec des datations géochronologiques, elles ont conduit à l'élaboration d'une chronostratigraphie fine de séries volcaniques du Mezenc (M. PREVOT et G.B. DALRYMPLE, 1971) et du Devès (J.M. CANTAGREL et M. PREVOT, 1971).

Parallèlement à des recherches plus fondamentales – comportement de l'hématite en grains monodomaines (A. LECAILLE et L. DALY, 1972 – A. LECAILLE 1972), anisotropie provoquée par action d'un champ alternatif (C. VIOLAT et L. DALY, 1971) –, de nouvelles applications à la tectonique des roches ont été proposées. Ainsi, par l'étude des sédiments du Dôme de Barrot, on a mis en évidence l'existence d'efforts alpins à l'ouest de ce massif (B. HENRY, 1971 et 1973). L'étude du massif du Bergell a permis de montrer l'existence d'efforts tardifs et d'en déterminer approximativement la direction (B. HENRY, 1974). L'étude de la mise en place de roches métamorphiques déjà abordée par C. VIOLAT (1972) sur des roches de l'Etna, se poursuit sur les roches océaniques.

En ce qui concerne l'interprétation des anomalies magnétiques, la maghématisation progressive des basaltes océaniques (M. PREVOT, 1973) et les effets de pression sur ceux-ci (J.P. POZZI, 1975) entraînent des modifications considérables des propriétés magnétiques. De plus, il a été montré (M. PREVOT, 1974) que les basaltes océaniques récents sont en moyenne trois fois plus magnétiques que ceux de surface de même âge, ce qui est probablement dû au refroidissement plus rapide des coulées sous-marines. C'est ce que semble confirmer l'étude magnétique d'un filon à auréoles de refroidissement concentriques, analysé en vue d'établir les effets de variation de la vitesse de refroidissement du magma sur les propriétés magnétiques des basaltes (B. SMITH, 1974). L'étude magnétique d'un certain nombre de formations continentales (J. ESTIVAL, 1973 ; B. COVES, 1973 ; G. HERQUEL, 1974) a montré que les roches plutoniques ou éruptives basiques n'ont pas toujours une susceptibilité plus importante que les roches neutres ou légèrement acides. De plus, les

anomalies magnétiques apparaissent comme fréquemment liées aux effets thermiques de phénomènes métamorphiques passés (J.B. EDEL et J.P. LAUER, 1974).

Le problème de la réorientation des carottes de sondages a été abordé. Dans un cas favorable où la formation sédimentaire affleure en un endroit par suite du pendage des couches, on a utilisé l'aimantation rémanente naturelle (A.R.N.). Il a été montré que l'on peut déterminer une direction moyenne de l'A.R.N. à condition d'utiliser un nombre suffisant de carottes dont la longueur minimale a été précisée (J. WOLEJZSO, 1971). Dans le cas général, I. BUCUR (1972) a montré qu'il était possible d'utiliser l'aimantation rémanente anhystérétique provoquée in situ ; une méthode a été proposée.

Enfin, J.P. POZZI (1973) a établi, en vue de la prévision des éruptions volcaniques, un certain nombre de lois concernant l'évolution des propriétés magnétiques (rémanence induite, viscosité) en fonction de la température et de la pression.

II - PHENOMENES AERONOMIQUES

1 - STRUCTURE ET PROCESSUS DYNAMIQUES REGISSANT L'EQUILIBRE DES COMPOSANTS NEUTRES ET IONISES

1.1 - Température

La température exosphérique déterminée par diffusion incohérente présente une oscillation diurne maximum à 15 h (TL), et une oscillation semi-diurne dont l'heure du maximum varie rapidement aux équinoxes entre 7 h LT (hiver) et 13 h LT (été) ; le rapport de l'amplitude diurne à l'amplitude semi-diurne est de 4 (ALCAYDE, 1974). Les profils moyens saisonniers obtenus entre 100 et 200 km présentent des écarts sensibles aux modèles généralement utilisés (ALCAYDE et coll., 1974).

La mesure de la raie 6300 Å par un interféromètre Fabry-Pérot embarqué à bord du satellite OGO 6, a permis la détermination de la température neutre dans la gamme 240-300 km. Les observations font apparaître un maximum de température au voisinage du pôle été aux solstices, un changement rapide d'hémisphère intervenant aux équinoxes (BLAMONT et coll., 1974). Des mesures faites au cours d'orages magnétiques montrent un chauffage important dans les zones aurorales (1800 K), et un effet plus faible aux moyennes et basses latitudes (BLAMONT et LUTON, 1974).

En zone polaire, l'émission par fusée de nuages artificiels de sodium a permis de mettre en évidence un refroidissement de la thermosphère pendant la nuit polaire, et d'associer des variations de température à des perturbations magnétiques discrètes (CHANIN et coll., 1972). Ces mesures ont également mis en évidence une anticorrélation entre la température à 160 km et le flux solaire décimétrique (10,7 cm) et une corrélation entre la température et des précipitations électroniques de quelques keV (CHANIN, 1974).

La température à la base de la thermosphère (90-95 km) a été déterminée depuis le sol par sondage laser de la couche de sodium naturel ; ces mesures sont effectuées de nuit avec des temps d'intégration allant de une à quelques heures, et une précision de 5 % environ (BLAMONT et coll., 1972, MEGIE et coll., 1974). Les résultats les plus intéressants obtenus par cette technique concernent surtout les échanges dynamiques entre la mésosphère et la thermosphère.

1.2 - Composition

La mesure par diffusion incohérente du rapport des concentrations des ions moléculaire et atomique a permis d'évaluer le rapport R des concentrations des constituants neutres

atomique et moléculaire. Les variations saisonnières de l'oxygène atomique et de l'azote moléculaire déterminées par ailleurs, ne suffisent pas à expliquer celles observées sur R : on suggère alors une variation saisonnière de l'oxygène moléculaire avec un rapport "été"/"hiver" de 3 (ALCAYDE et coll., 1974) ; cette évaluation est en bon accord avec les résultats obtenus par l'utilisation d'un modèle photochimique de la région F1 établi à l'aide de données de spectrométrie de masse (SCIALOM, 1974a).

Un modèle oxyhydrogéné de la mésosphère a été construit en vue d'expliquer les caractéristiques des émissions OH et O₂ (singulet ¹Δ g) : à la limite supérieure l'influence d'une augmentation diurne du coefficient de diffusion turbulente sur les flux verticaux descendants de l'hydrogène et de l'oxygène atomique et sur les émissions lumineuses naturelles est discutée ; les prévisions théoriques sont comparées avec une série d'observations de ces émissions effectuées par ballons et à bord de l'avion de la NASA (MOREELS et coll., 1973a, b, MOREELS et coll., 1974).

L'observation de la raie Lyman α à bord du satellite OGO 5 a permis de déterminer une valeur absolue de la concentration d'hydrogène atomique dans la haute atmosphère ; l'étude des variations de la concentration montre que celle-ci présente un minimum diurne et varie en fonction inverse de la température exosphérique (VIDAL MADJAR, 1973). Les concentrations nocturnes d'hydrogène obtenues par diffusion incohérente révèlent la même forme de variation avec la température ; toutefois les concentrations obtenues sont plus élevées (d'un facteur 5) que les prévisions théoriques, et que les valeurs obtenues par mesure de la raie Lyman α (d'un facteur 2 environ) (DERIEUX, 1973).

Un modèle expérimental empirique de la distribution globale de densité a été dressé à partir de l'analyse de près de 10 000 orbites de satellites (BARLIER et coll., 1973, JAECK-BERGER, 1973) : la position des extrêmes de densité est en accord satisfaisant avec les mesures de température (BLAMONT et coll., 1974). Le raffinement de cette étude, associée aux mesures de température obtenues par diverses méthodes, a mis en évidence une asymétrie entre hémisphères Nord et Sud dont l'interprétation a été recherchée dans l'asymétrie du champ magnétique et la dissipation des marées qui est liée à l'asymétrie de la distribution globale de l'ozone dans la stratosphère et la mésosphère (BARLIER et coll., 1974).

1.3 - Circulation à grande échelle

La mesure de l'émission à 6300 Å par l'oxygène (O(I_D)) effectuée à bord des satellites OGO 4 et OGO 6, associée aux mesures ionosphériques par diffusion incohérente, a permis de montrer l'influence de la circulation de l'atmosphère neutre sur la recombinaison des ions et l'émission de la raie ; l'analyse des arcs tropicaux observés a permis de comprendre les asymétries de l'émission en longitude et de les interpréter par le transport des électrons le long des lignes du champ magnétique par les vents neutres. L'observation de ces arcs permet alors de décrire le comportement dynamique de l'atmosphère neutre en zone équatoriale (THUILLIER et coll., 1973, THUILLIER, 1974, THUILLIER et coll., 1974, THUILLIER et KING, 1975, KING et THUILLIER, 1975).

Les vents thermosphériques méridionaux obtenus par diffusion incohérente de 1970 à 1972 ont été analysés et paramétrés en vue de l'établissement d'un modèle de vent (AMAYENC, 1974). Ces vents présentent des caractéristiques d'oscillations semblables à celles obtenues parallèlement sur les températures (AMAYENC, 1974, ALCAYDE, 1974) ; cependant les variations à long terme de l'oscillation semi-diurne sont à dominante semi-annuelle pour les vents et annuelle pour les températures. Par ailleurs, les vents présentent une oscillation ter-diurne stable qui n'apparaît pas sur les températures (AMAYENC et coll., 1973, AMAYENC, 1974).

Les équations couplées à la thermodynamique ont été résolues localement à 45° de latitude : les influences respectives des dynamiques horizontale et verticale sur le bilan

énergétique de la thermosphère ont été évaluées et comparées à la source solaire U.V. (AMAYENC et coll., 1975).

1.4 – Marées :

Les températures et vents neutres mesurés par diffusion incohérentes présentent dans la région E une oscillation de période 12 heures. Ces mesures, associées aux données du radar météorique, ont été interprétées par la propagation d'un mode de marées S_2^4 dominant (BERNARD et SPIZZICHINO, 1971, BERNARD, 1974a, b). Dans la région F1, les oscillations observées ont été paramétrées pour les vents et les températures à différentes altitudes ; les profils verticaux des paramètres des oscillations ont été comparés à des prévisions théoriques avec lesquelles ils sont en bon accord quantitatif (AMAYENC, 1974, FONTANARI et ALCAYDE, 1974).

1.5 – Ondes de grande et moyenne échelles

Un calcul théorique incluant des processus dissipatifs a montré que la réponse de l'atmosphère à un train d'ondes engendré en zone aurorale se réduit à une impulsion unique à la latitude de 45° où sont effectuées les observations par diffusion incohérente. Ces dernières ayant fait apparaître une structure présentant une périodicité apparente de 2 heures, l'interprétation a été cherchée dans les magnétogrammes auroraux qui ont révélé l'occurrence de 2 sous-orages dans le même secteur de longitude que le sondeur, et espacés de 2 heures environ (TESTUD, 1973).

L'extension quadrilatérale du sondeur à diffusion incohérente, associée à un réseau européen de polarimètres, a donné accès à l'étude d'ondes de gravité de moyenne échelle : leur origine a été déterminée par le tracé des rayons inverses et localisée au voisinage des points de cassure du front froid météorologique (TESTUD et BERTIN, 1973).

1.6 – Autres phénomènes

Les données de diffusion incohérente rassemblées depuis le précédent maximum d'activité solaire ont permis d'étudier les caractéristiques d'une irrégularité d'ionisation dans la région F1 ; on tente d'interpréter ce phénomène en faisant intervenir une redistribution des ions par des transports verticaux dus à la circulation des vents neutres et (ou) aux champs électriques (TAIEB et coll., 1975).

Afin de satisfaire l'équilibre énergétique des électrons, il est nécessaire de compenser les refroidissements collisionnels avec les ions et les neutres par l'apport énergétique des photoélectrons. Avec les concentrations et les températures électroniques mesurées par le sondeur à diffusion incohérente de Saint-Santin, cet équilibre ne peut être atteint qu'en multipliant la production, et par conséquent le flux solaire U.V., par un facteur 2 (LEJEUNE, 1973). On atteint la même conclusion, mais avec un facteur 3, par l'analyse simultanée des données de diffusion incohérente et de spectrométrie de masse (fusées) (SCIALOM, 1974b).

Les champs électriques sont mesurés depuis 1973 par le sondeur quadrilatéral français. Les premières analyses montrent l'existence d'un champ électrique variable présentant des oscillations de périodes respectives 24, 12 et 8 heures, dont les amplitudes et les phases sont assez nettement différentes des modèles de Maeda ou de Matsushita. Superposées à ces variations stables, des perturbations de courte durée et de forte amplitude (100 ms^{-1} sur les vitesses ioniques perpendiculaires) ont été observées et sont comparées aux variations magnétiques provoquées par des sous-orages simultanés (TESTUD et coll., 1974, BLANC, 1974).

2 – FLUX SOLAIRES ET PHOTOCHEMIE DES COMPOSANTS NEUTRES ET IONISES

2.1 – Thermosphère, régions F et E de l'ionosphère

Les profils verticaux de la composition ionique entre 100 et 400 km d'altitude de jour et de nuit, mesurés par spectrométrie de masse en fusées sonde par le CNET au maximum d'activité solaire (GIRAUD et al., 1971) ont servi de référence à de nombreux travaux récents de modélisation des équilibres photochimiques des ions atomiques et moléculaires O^+ , N^+ , O_2^+ , NO^+ (SWINER, 1972, RISBETH et al., 1972, SCIALOM, 1973, STROBEL et al., 1974). Les conclusions obtenues confirment les schémas et les taux des réactions ion-neutre établis sur la base des expériences de laboratoire.

La théorie de l'excitation de l'oxygène dans l'état O^1D , dont le profil vertical de l'émission à 6300 Å a été relevé par le Service d'Aéronomie du CNRS à bord des satellites OGO IV et VI (THUILLIER, 1973) a été étendue aux conditions crépusculaires où le rôle des photoélectrons locaux et conjugués n'est plus négligeable devant la recombinaison dissociative de O_2^+ et la photo-dissociation de O_2 (DALGANO et LEJEUNE, 1971, LEJEUNE et DALGANO, 1973, THUILLIER et LEJEUNE, 1975).

D'une manière générale, si des incertitudes subsistent sur la variabilité du rayonnement solaire photoionisant et les sections efficaces en jeu, ces travaux montrent que la photochimie de l'hétérosphère est maintenant bien comprise, comme le prouve son utilisation systématique pour l'étude indirecte de la structure et de la dynamique du milieu (cf. section précédente).

2.2 – Mésosphère, région D de l'ionosphère

Pour la composante ionisée, le problème essentiel demeure la compréhension des mécanismes de formation des amas hydratés découverts, il y a 10 ans, par NARCISI. La reconversion de l'activité de spectrométrie de masse du CNET vers les études de laboratoire au GRI d'Orléans a permis d'amorcer un effort important dans ce domaine. Le système expérimental utilisé pour ces études a l'originalité de permettre l'étude de la cinétique chimique des réactions à des températures basses voisines de celles qui règnent au niveau de la mésopause. Les premiers résultats indiquent que les réactions d'hydratation des amas NO^+ (H_2O)_n ou H^+ (H_2O)_n, qui sont d'ordre 3 à 300° K, deviennent d'ordre 2, donc beaucoup plus rapides, à 120° K. Si ces conclusions s'appliquent à la région D, elles sont de nature à modifier profondément les modèles admis jusqu'ici.

Pour les constituants neutres, les mesures en ballon et en avion des variations de l'émission du radical OH par photométrie infrarouge, effectuées en 1970 et 1971 par le Service d'Aéronomie (MOREELS et al., 1973) ont donné lieu à un important travail d'interprétation. L'étude détaillée de la chimie des produits de la photodissociation des constituants oxygénés et hydrogénés entreprise par MOREELS (1973) présente un intérêt particulier dans la perspective de la mise en œuvre de lidars mésosphériques.

2.3 – Stratosphère

Les campagnes de mesure à bord de l'avion Concorde, effectuées en 1973 sous l'égide du Comité des Vols Stratosphériques, ont permis la détection inédite d'un assez grand nombre de constituants mineurs (NO_x , N_2O , SO_2 , CO , HNO_3 , ...) par spectrométrie infrarouge, en absorption par l'ONERA (FONTANELLA et al., 1974) et en émission par le CNET (MARTEN et CHAUVEL, 1975).

3 – EMISSIONS ATMOSPHERIQUES

L'étude de la *lumière zodiacale* a été poursuivie par R. ROBLEY (1974) travaillant au Pic du Midi, et par une équipe du service d'Aéronomie utilisant le satellite D2A.

Utilisant les mesures d'un ensemble de satellites, J.L. BERTAUX (1974) a procédé à une analyse très complète de l'émission L-alpha dans l'environnement terrestre. Ces travaux ont fait avancer les connaissances concernant la distribution de l'hydrogène dans l'espace interplanétaire et dans la *géo-couronne*. La distribution moyenne et les variations des concentrations d'hydrogène ont pu être précisées entre 2 et 5 rayons terrestres.

Les émissions optiques de la *thermosphère* ont contribué à une meilleure connaissance de ce milieu, en liaison avec d'autres méthodes de sondage (diffusion incohérente, etc.). G. THUILLIER (1973), utilisant l'ample collection de profils verticaux de la raie rouge obtenu par le satellite OGO VI de 1967 à 1969, a procédé à une analyse globale des arcs intertropicaux interprétant leur variation d'altitude par des effets de vents neutres. Cette étude a mis en évidence d'importants écarts des vents thermosphériques réels par rapport aux prévisions de modèles classiques. M.L. DUBOIN (1974) s'est consacrée aux effets de renforcements précrepusculaires de la raie rouge de l'oxygène qui sont liés à l'impact de photoélectrons issus de la région conjuguée, et a mis en évidence optiquement des variations systématiques d'altitude de la région F liées à ces phénomènes. LINK et col. (1972) se sont intéressés aux aérosols thermosphériques que met en évidence la méthode de diffusion crépusculaire. Ces auteurs ont pu montrer en comparant les résultats de séries de vols en ballons stratosphériques à des calculs sur modèles que les aérosols sont systématiquement liés à l'activité météorique et restent décelables même en dehors des principaux essais.

Les *métaux atmosphériques* ont fait l'objet de nouvelles études. Les classiques cuves à absorption ont été utilisées par GAULT et M.L. CHANIN (1975) pour la mesure du potassium crépusculaire. Une activité importante a été consacrée par M.L. CHANIN et J.P. GOUTAIL à la rediscussion de la très importante variation diurne du sodium atmosphérique antérieurement annoncée. Cette rediscussion, qui tient compte d'un important remplissage du fond des raies de Fraunhofer dans la lumière rediffusée par le sol, conduit à une révision en baisse de l'amplitude de variation diurne qui présente de ce fait un meilleur accord avec les dosages obtenus avec des radars optiques. Un radar optique (Lidar) a d'ailleurs été développé en France avec succès ; il a permis l'observation de structure fine de la distribution de sodium, et fourni une méthode de mesure de la température du milieu.

La physico-chimie des composés hydrogénés dans la *mésosphère* a fait l'objet d'un important travail de modélisation de G. MOREELS (1973), travaillant en collaboration avec l'équipe canadienne GATTINGER et VALLANCE-JONES (1974). Le modèle comporte moins d'une centaine de réactions et fait intervenir la diffusion turbulente dont le coefficient est encore incertain. Le modèle permet de calculer la variation diurne des différentes bandes de OH, montrant que le comportement des radicaux est assez différent selon le niveau d'excitation vibrationnelle. Les variations prévues par le modèle sont en assez bon accord avec les variations diurnes observées par WIENS et WEILL, (1973), variations qui semblent plus systématiques dans les régions de basses latitudes qu'aux moyennes et hautes latitudes.

COHEN et VUILLEMAIN (1973) ont les premiers observé des bandes δ et γ d'émission de NO en émissions nocturnes dans l'ultra-violet. Ces bandes vers 2050 Å ont depuis cette première observation vu leur interprétation confirmée. R. ROBLEY (1974) a publié une étude sur le continuum atmosphérique par le visible, continuum largement du à la même molécule.

Le niveau absolu de la diffusion par la basse atmosphère de lumière parasite (raie du mercure) a été mesuré par CHRISTOPHE et WEILL (1973) dans un site astronomique.

Finalement, il apparaît que les principaux résultats obtenus au cours de ces quatre années ont été obtenus tant par la maturité des méthodes d'observations spatiales que par le perfectionnement et la poursuite des mesures au sol.

4 - AERONOMIE DES ATMOSPHERES PLANETAIRES

4.1 - Planètes telluriques

Vénus : L'analyse de clichés ultra-violetes de la couche nuageuse pris du sol, antérieurs à Mariner-10, montre que les cellules en Y sont des phénomènes quasi-permanents, tandis que les nuages polaires varient en intensité avec une échelle de temps d'environ deux mois, (DOLFUS, 1975). La distribution de brillance sur le disque de Vénus de la lumière solaire réfléchie contient de l'information sur des couches plus profondes que celles qui sont accessibles par photopolarimétrie. Ce problème est attaqué à la fois au plan des observations (DOLFUS et al., 1975) et au plan théorique (BIGOURD et al., 1975).

Mars : L'utilisation de cellules à hydrogène placées à bord de la sonde soviétique Mars-5 a permis la mesure directe de la température exosphérique de Mars ($325 \pm 25^\circ \text{K}$), ainsi que la densité en hydrogène atomique au niveau de l'exobase (KURT et al., 1974).

4.2 - Planètes géantes

Jupiter : Les profils de température et densité de la haute atmosphère ont été obtenus grâce à l'observation de l'occultation de l'étoile β Scorpio (VAPILLON et al., 1973). On a mis en évidence une forte remontée de la température dans la haute atmosphère (250°K à 0.1 - 1 mb). On aboutit à un résultat cohérent, qui a des implications sur la composition et la structure thermique, quand on compare ces résultats à ceux de Pioneer-10 (radiométrie infra-rouge et radio-occultation) (HOGAN et al., 1975).

Le spectre infra-rouge de Jupiter (11 à 13.5μ) obtenu à l'Observatoire de Mauna Kea avec un interféromètre de Michelson (COMBES et al., 1974) a mis en évidence des raies intenses de C_2H_2 et C_2H_6 , confirmant ainsi la découverte toute récente de ces composants mineurs de la haute atmosphère de Jupiter. Le spectre de Jupiter entre 5 et 25μ a été obtenu avec la même technique, mais en utilisant le télescope de l'avion américain C-141. L'analyse de ces résultats doit donner le rapport H/He (GAUTIER, 1974).

Au point de vue théorique, une revue des atmosphères des planètes géantes (HOGAN et al., 1975), ainsi qu'un travail sur l'analyse de Fourier de l'équation de transfert du rayonnement (GAUTIER et REVAN, 1975), ont été présentés.

Saturne : L'analyse de spectres à haute résolution obtenus dans l'infrarouge par spectroscopie de Fourier a permis deux résultats importants :

- une limite supérieure de la quantité de H_2 ($34 \pm 16 \text{ km.atm.}$ pour Jupiter, $63 \text{ km} \pm 23 \text{ km.atm.}$ pour Saturne) (DE BERGH et al., 1974),
- l'identification de $^{13}\text{CH}_4$ dans l'atmosphère de Saturne (COMBES et al., 1975), qui conduit à une estimation de $^{12}\text{CH}_4/^{13}\text{CH}_4$ de 60 ± 25 . Ce rapport, bien que faible, est cohérent avec les valeurs $\text{C}_{12}/\text{C}_{13}$ généralement acceptées pour le soleil, les planètes telluriques, les météorites, les comètes et le milieu interstellaire.

4.3 - Satellites et comètes

Après la détection de H_2 dans l'atmosphère de Titan (satellite de Saturne), un modèle d'atmosphère tenant compte de la photodissociation de H_2 et CH_4 a été construit (TABARIE, 1974), pour calculer la distribution de l'hydrogène atomique et son échappement dans le tore de Titan.

Le passage de la comète Kohoutek a permis l'observation de son enveloppe de OH, en radioastronomie (BIRAUD et al., 1974) et en ultra-violet, et de son enveloppe de H à 1216 \AA . On en a dérivé un taux de production de OH de $5 \times 10^{29} \text{ molécules.sec}^{-1}$ (BLAMONT et FESTOU, 1974) et $10^{29} \text{ atomes.sec}^{-1}$ de H, pour les 15 et 30 janvier 1974 respectivement, ce qui confirme que l'eau est un élément majeur des comètes. La durée de vie du radical OH soumis au flux solaire à 0.6 UA a été également mesurée ($4.5 \times 10^4 \text{ s}$).

III – PHENOMENES MAGNETOSPHERIQUES

1 – CHAMPS ET PARTICULES

1.1 – Etudes ionosphériques et relations ionosphère-magnétosphère

A partir d'une chaîne méridienne de 9 stations, s'étendant sur 3000 km au centre de l'Afrique de part et d'autre de l'équateur magnétique, O. FAMBITAKOYE (1974) a étudié les effets de l'électrojet équatorial du point de vue de la variation journalière S_R ; il a mis en évidence la très grande stabilité du centre de ce phénomène, compte tenu de divers facteurs, et l'importance des instabilités de plasma et des vents neutres. Les observations du Laboratoire de Sondages Electromagnétiques de l'I.P.G.P., par radar cohérent, au Tchad et en Ethiopie, devraient permettre d'obtenir des données sur la vitesse électronique et le champ électrique dans la couche E équatoriale.

La réponse à court terme de l'atmosphère neutre à un dépôt énergétique en zone aurorale a été étudiée, sous l'aspect des ondes de gravité, par J. TESTUD (1973) à l'aide du sondeur à diffusion de Nançay, du réseau européen d'ionosondes et de données magnétiques. En ce qui concerne la réponse à long terme qui se traduit par une modification de la circulation générale de l'atmosphère neutre dans la thermosphère, J.E. BLAMONT et J.M. LUTON (1972) ont dressé des cartes mondiales de températures à partir de mesures de la raie 6300 Å de l'oxygène atomique (satellite OGO 6) et mis en évidence le chauffage des régions polaires pendant les orages magnétiques. Les observations par sondage à diffusion à Saint-Santin (ALCAIDE et al., 1972) ont confirmé l'existence de flux de matière vers l'équateur et mis en évidence des changements de composition dûs à l'activité magnétique (orage du 11.2.1969).

Utilisant les données du sondeur à diffusion, G. VASSEUR (1971) a évalué le flux d'ionisation le long du champ magnétique à 500 km d'altitude et les effets de ses variations sur la dynamique de la protonosphère et de la région F, tandis que L. FLEURY et G. TAIEB (1971) ont étudié l'équilibre de la région F à haute altitude.

P. BAUER et al. (1970) ont poursuivi les études commencées par M.L. DUBOIN et al. en 1967 et concernant les échanges de photoélectrons entre ionosphères magnétiquement conjuguées ; la possibilité, récemment développée dans le cadre de l'expérience française de sondage à diffusion, d'observer les raies de plasma ouvre de nouvelles perspectives à de telles études.

Le GRI a entrepris un ensemble de mesures de champ électrique à bord de ballons stratosphériques (27-30 km d'altitude, 24 à 60 h de durée de vie) en collaboration avec le Pr. MOZER de l'Université de Californie à Berkeley. Trois campagnes ont eu lieu (Terre Adélie en janvier et février 1973, Aire sur Adour en septembre 1973, Islande en août 1974). L'exploitation de certaines données de Terre Adélie a permis de mettre en évidence l'influence des courants alignés sur les perturbations magnétiques au sol et de comparer le mouvement des irrégularités à grande échelle de l'ionosphère aux mouvements généraux de convection (SYLVAIN et al., 1975).

1.2 – Couplage entre milieu interplanétaire et magnétosphère

Au CESR, ont été menées plusieurs études sur les phénomènes auroraux liés aux orages et sous-orages. Des mesures en fusée (REME et BOSQUED, 1971, 1973) ont montré le caractère aligné des distributions de protons et d'électrons de basse énergie (≤ 10 kev) ; on l'a interprété comme résultant d'une accélération par un champ électrique parallèle aux lignes de force.

Utilisant des données de satellites américains, M. AUBRY (1970, 1972) a mis en évidence le rôle déterminant de la polarité du champ magnétique interplanétaire sur le couplage dynamique du vent solaire et de la magnétosphère. A partir de données au sol (magnétomètres) et en ballons (champs électriques), on a étudié au GRI les relations entre les changements de polarité du champ magnétique interplanétaire et les direction et vitesse d'écoulement du plasma dans les calottes polaires (A. et J.J. BERTHELIER et C. GUERIN, 1974). De plus, A. BERTHELIER (1972, 1973) et A. BERTHELIER et al. (1974) ont montré que la composante Est-Ouest du champ magnétique interplanétaire induit dans les stations de haute latitude des perturbations affectant les composantes horizontale et verticale ; selon la polarité du champ magnétique interplanétaire, l'activité magnétique est favorisée dans l'un ou l'autre hémisphère (A. BERTHELIER et C. GUERIN, 1973). Enfin, P.N. MAYAUD (1974) a mis en évidence une relation entre l'effet d'aberration du vent solaire et la phase de la variation semi-annuelle de l'activité magnétique.

Des expériences en ballon (campagne SAMBO, conduite par le CESR et un groupe soviétique) ont mesuré les fonctions de distribution des rayons X produits par des précipitations d'électrons jusqu'à des énergies de quelques centaines de kev au cours d'un gros orage magnétique (TREILHOU et al., 1973, CAMBOU et al., 1972). Le satellite ARCADE, fruit de la coopération franco-soviétique, a permis de mesurer les spectres des électrons et protons de basse énergie (≥ 100 eV) dans le cornet polaire, les zones de Montbriand et plus récemment à la frontière de la couche de plasma (SAUVAUD, 1974, CRASNIER et al., 1974, CAMBOU et GALPERINE, 1974).

Un groupe du CEA à Saclay, en collaboration avec un groupe de l'Imperial College à Londres, a observé à partir de données d'ESRO II des renforcements des précipitations de protons de haute énergie (> 25 Mev) durant la phase anisotrope d'événements solaires. On a pu ainsi montrer que les renforcements à basse latitude sont dus à une pénétration directe, dans la magnétosphère, de protons venant du Soleil tandis que ceux de haute latitude sont dus à des protons qui ont transité par la queue (J. ENGELMAN et al., 1971, J. ENGELMAN, 1972). Le mécanisme de couplage utilisé dans cette étude avait été développé par MORFILL et QUENBY ; il a été vérifié par des observations faites dans la calotte polaire antarctique (J.J. BERTHELIER et M. PIRRE, 1973).

A partir des mêmes données d'ESRO II, on a aussi étudié le spectre d'énergie des protons piégés de grande énergie (> 30 Mev) pour de faibles valeurs de L (1.3 à 2.4) (P. VALOT et J. ENGELMAN, 1972). En ce dernier cas, la réponse du détecteur dans un flux anisotrope a fait l'objet d'une analyse détaillée (P. VALOT, 1973).

2 - ONDES ET INTERACTIONS ONDES-PARTICULES

2.1 - Moyens et laboratoires

Les recherches qui entrent dans ce domaine ont été poursuivies dans les laboratoires suivants : Centre d'Etude des Phénomènes Aléatoires Géophysiques (Grenoble), Institut de Physique du Globe (Paris), Groupe de Recherches Ionosphériques (Issy-les-Moulineaux, Orléans, Saint-Maur), Laboratoire de Physique de l'Atmosphère (Paris), Laboratoire de Physique de la Haute Atmosphère (Poitiers), Laboratoire de Physique Théorique de l'Ecole Polytechnique (Paris), Département Recherches Spatiales Radioélectriques du CNET (Issy-les-Moulineaux).

L'observation des émissions d'ondes naturelles s'est poursuivie de façon continue aux observatoires de Chambon-la-Forêt, Garchy, Poitiers (France) ; Kerguelen et Terre-Adélie (Antartique) ; Sogra (URSS). Des campagnes de plus courte durée ont été effectuées à l'île Heard et General Belgrano (Antartique), Dolgoschélié (URSS), Lerwick (U.K.) et Tromso (Norvège).

Certaines études ont été réalisées grâce à la réception directe des signaux des satellites FR-1, Alouette 2, ISIS A. Des lancements de fusées (EIDI, IPOCAMP, ARAKS) effectuées à partir des bases des Landes (France), de l'île de Heiss (URSS) ou de Kerguelen (Antartique) ont complété le programme d'observation au sol.

La coopération avec les Soviétiques (campagnes d'observation au sol en points conjugués, expériences IPOCAMP et ARAKS, étude des données des satellites INTER-COSMOS 3 et 5) ou avec les Américains (études des données des satellites OGO-4 et OGO-5) a été une constante de ce programme, poursuivi avec l'aide du CNRS, du CNES, du CNET et de l'administration TAAF.

2.2 – Etude de la propagation des ondes radioélectriques dans l'ionosphère et la magnétosphère

– Propagation des ondes électromagnétiques d'ultra-basse fréquence (UBF)

Des études théoriques ont mis en évidence le rôle de guidage joué par le gradient de la plasmopause dans la propagation des ondes UBF ($0.1 \leq f \leq 5$ Hz) d'un hémisphère à l'autre (GLANGEAUD et al., 1971). Dans la même gamme de fréquence, on a montré que la dispersion apparente des émissions (variation du temps de propagation avec la fréquence) est fortement influencée par l'amplification du signal dans les régions équatoriales de la magnétosphère (GENDRIN et al., 1971).

– Propagation des ondes électromagnétiques de très basse fréquence (TBF)

La propagation des ondes TBF a été étudiée à partir des signaux naturels du type des sifflements (whistlers) ou à partir des signaux produits par un émetteur artificiel (F.U.B.).

Le premier type d'études a porté sur la propagation dans le guide d'onde sub-ionosphérique et sur son influence dans la réception des sifflements au sol ou à bord de satellites (JIRICEK et TIXIER, 1973). L'étude détaillée des sifflements non guidés reçus aux basses latitudes par Alouette 2 a permis la mise en évidence de sifflements de type nouveau (CHARCOSSET et al., 1973 ; GARNIER et NAKACHE, 1972a, b).

Le second type d'études, effectué à l'aide du satellite FR-1, a principalement trait aux phénomènes de focalisation et de défocalisation des ondes TBF, produits par les gradients horizontaux de densité électronique dans la haute ionosphère (JAMES, 1972 ; MALINGRE, 1973 ; FISZLEIBER, 1974). Une étude détaillée des conditions de guidage de ces ondes dans la magnétosphère a été faite (CERISIER, 1973, 1974 ; CERNOGORA, 1973).

Signalons enfin les études théoriques générales sur la propagation d'une onde TBF en milieu absorbant (SUCHY, 1972a, b, c) ou sur la détermination du spectre en nombre d'ondes d'un champ aléatoire d'ondes TBF (STOREY et LEFEUVRE, 1974).

– Propagation des ondes à caractère électrostatique au voisinage des résonances.

Les expériences correspondantes font partie de la classe des "expériences actives" dans lesquelles on émet un signal dans l'ionosphère à l'aide d'une antenne placée à bord d'une fusée. La réception peut se faire sur la même antenne et l'on étudie alors les conditions de réflexion du signal sur les couches ionosphériques voisines ; ou bien elle s'effectue grâce à une deuxième antenne et l'on étudie alors les propriétés caractéristiques locales de transmission du milieu. Ces deux types d'expérience, qui correspondent à six tirs de fusée effectués avec succès entre 1970 et 1974, constituent une contribution originale importante à l'étude de la propagation des ondes radioélectriques dans les magnéto-plasmas naturels.

Dans la première catégorie, des méthodes d'analyse fine ont permis d'étudier les battements au voisinage des résonances à $3f_H$ (HIGEL et al., 1972), l'influence de la longueur finie de l'antenne sur la structure des signaux reçus au voisinage de la fréquence de plasma (FLEURY et PETIT, 1974), ainsi que les caractéristiques des signaux à propagation

oblique (BITOUN et al., 1975). Ces recherches ont bénéficié d'études théoriques sur la propagation des signaux à faible vitesse de groupe (GRAFF, 1971a, b ; PETIT et al., 1972 ; BITOUN, 1974).

Dans la seconde catégorie, l'étude de l'impédance mutuelle de deux antennes en fonction de la fréquence a permis d'obtenir avec précision la densité et la température électronique (CHASSERIAUX et al., 1972). Ces recherches s'appuient d'une part sur des études théoriques de la propagation des ondes dans un magnéto-plasma froid ou tiède (ROOY et al., 1972 ; BEGHIN et DEBRIE, 1972 ; POTELETTE, 1972 ; GONFALONE et BEGHIN, 1973), d'autre part sur quelques expériences en plasma de laboratoire (HENRY et TREGUIER, 1972).

2.3 – Etude morphologique des émissions radioélectriques naturelles

Ces études ont été entreprises à l'aide des observations effectuées au sol ou à bord de satellites et, dans quelques cas, grâce à la comparaison des deux.

Dans le domaine UBF, on a mis en évidence la liaison qui existe entre l'apparition de Pc 3 et l'existence de régions dans la plasmasphère où la densité électronique varie comme r^{-8} (CAVACIUTI et al., 1973). Des relations très précises ont été établies entre l'apparition d'IPDP à une station donnée et le déclenchement des sous-orages magnétosphériques au voisinage du méridien de minuit (PERRAUT et al., 1975).

L'influence de l'électrojet équatorial sur les pulsations a été poursuivie par J. ROQUET (1972, 1973).

2.4 – Interactions entre ondes et particules

Il s'agit ici d'un domaine essentiellement théorique où la comparaison avec des données expérimentales (sol ou satellite, expériences actives ou passives) joue cependant un rôle fondamental.

– Théorie linéaire des émissions d'ondes électrostatiques

Une méthode relativement simple pour déterminer les conditions de stabilité marginale ($\gamma = 0$) des ondes électrostatiques au voisinage des harmoniques demi-entiers de la gyrofréquence électronique $[(n + 1/2)f_{ce}]$ a été mise au point (ASHOUR-ABDALLA et al., 1975). On a mis en évidence l'existence d'un seuil supérieur de densité de plasma froid au-delà duquel l'instabilité ne peut prendre naissance, expliquant ainsi l'apparition de ce bruit naturel extrêmement intense uniquement à l'extérieur de la plasmasphère.

– Théorie quasi-linéaire des émissions d'ondes électromagnétiques

L'attention a été attirée sur la fragilité des concepts d'énergie critique et de flux limite dans l'étude de la stabilité marginale des interactions cyclotroniques (GENDRIN, 1972a, b). Une théorie auto-consistante de ces interactions a été établie (ROUX et SOLOMON, 1971) et appliquée au cas de l'équilibre stationnaire des électrons énergétiques ($40 \lesssim E \lesssim 200$ keV) à la frontière interne de la plasmasphère. L'accord avec les résultats obtenus à bord de fusées ou de satellites est excellent (ETCHETO, 1972 ; ETCHETO et al., 1973).

On a également étudié les instabilités cyclotroniques ioniques dans un mélange de plasma chaud et de plasma froid. L'existence d'un optimum de la densité de plasma froid pour que l'instabilité soit la plus active a été mise en évidence (PERRAUT, 1974 ; PERRAUT et ROUX, 1975).

La convection magnétosphérique, qui déforme les fonctions de distribution des particules énergétiques au cours de leur pénétration radiale, a des conséquences importantes sur les émissions d'ondes naturelles tant électromagnétiques qu'électrostatiques (ASHOUR-ABDALLA et COWLEY, 1974). Le rôle préférentiel joué par la plasmopause dans la précipitation des protons de basse énergie a été démontré (GENDRIN, 1975a).

– *Etude des phénomènes non-linéaires*

La turbulence magnétosphérique, qui se manifeste par l'émission d'ondes naturelles de toute nature, se sature souvent d'elle-même. Les phénomènes non-linéaires jouent un rôle fondamental dans cette saturation ; ils ont par ailleurs des conséquences importantes sur la déformation des fonctions de distribution des particules énergétiques.

Le phénomène de piégeage des particules (en milieu homogène) dans une onde monochromatique de forte amplitude a été étudié. On a montré l'existence d'un phénomène de groupement en phase et étudié ses effets sur le changement d'énergie et d'angle d'attaque des électrons (GENDRIN, 1973, 1974a).

L'inhomogénéité des caractéristiques du plasma magnétosphérique le long des lignes de force entraîne un dépiégeage des particules, dont les conséquences ont été évaluées sur le taux d'amplification et d'amortissement des ondes électrostatiques (ASSEO et al., 1972) ou sur la création de raies satellites dans le domaine des Pc 1 (WELTI et al., 1973 ; WEHRLIN et al., 1973 ; ROUX, 1974).

– *Emission d'ondes artificielles par injection de particules*

L'une des plus importantes expériences effectuées dans le domaine des interactions entre ondes et particules a été l'expérience ARAKS, effectuée aux îles Kerguelen durant l'été austral 1974-1975, en collaboration avec les Soviétiques. Elle consistait à tirer deux fusées équipées de canons à électrons (15 et 27 keV). Un cône éjecté à grande distance de la fusée principale a permis d'étudier les ondes émises par le faisceau d'électrons, cependant que de nombreuses expériences, effectuées dans la zone conjuguée, ont mis en évidence les effets du faisceau se propageant le long de la ligne de force.

De nombreux travaux théoriques ont aidé à la préparation de cette expérience. Ils portent principalement sur les émissions d'ondes induites dans les différents domaines de fréquence (SINGH, 1973 ; PELLAT et al., 1973 ; LAVERGNAT et al., 1974 ; GENDRIN, 1974b).

3 – MAGNETOSPHERES DES PLANETES

Les études décrites ci-dessous ont été réalisées en majeure partie à partir d'observations faites à la station de radio-astronomie de Nançay.

Les émissions décimétriques de Jupiter ont permis de confirmer une variation lente de la densité de flux de cette planète (GERARD, 1970), ce qui conduit à étudier où et comment a lieu l'accélération des électrons relativistes des zones de Van Allen. D'autre part, les émissions de Saturne ont permis d'évaluer la température de brillance à 6, 11 et 21 cm (GERARD, 1973), qui croît lentement avec la longueur d'onde sans que l'on puisse conclure à l'existence d'émissions non-thermiques.

Les émissions décimétriques ($\lambda < 40$ MHz), qui donnent des informations sur la magnétosphère de Jupiter (modèle de densité et de champ magnétique de la planète), ont conduit à établir une relation entre les variations de vitesse du vent solaire extrapolées au niveau de Jupiter et la phase géocentrique de son satellite Io pendant les périodes d'émission (CONSEIL et al., 1971, 1972). Cette corrélation démontrait la présence de vent solaire au voisinage de Jupiter, résultat confirmé par Pioneer 10. Pour expliquer cette corrélation, un modèle de plasmasphère a été proposé et une étude sur les différents mécanismes d'émissions a été faite (CONSEIL, 1972, CONSEIL et al., 1971, 1972). Une étude statistique de la probabilité des émissions de Jupiter a permis de montrer une oscillation en phase de Io et également une oscillation en longitude du méridien central de la source la plus intense ("Early"). Ce résultat permet de montrer que le rayonnement émis par Jupiter est très directif en latitude, conduit à une nouvelle valeur de la période de rotation et remet en cause un certain nombre de modèles géométriques proposés (LECACHEUX, 1975).

IV – OBSERVATIONS, INSTRUMENTS ET INDICES

1 – OBSERVATOIRES MAGNETIQUES

Le tableau ci-dessous énumère les observatoires permanents placés sous responsabilité française ; il indique le nom de la station, la région où elle est située et l'organisme dont elle dépend. Durant la période 1971-1974, on notera la création d'un observatoire permanent, Port-Alfred, dans l'archipel des Crozet, en janvier 1973. Cette nouvelle station, située à mi-chemin entre les Iles Kerguelen et le Sud de l'Afrique, apporte une contribution importante au réseau international dans la région de l'Océan Indien. L'observatoire temporaire de Sahr (Fort-Archambault), au Tchad, station qui dépendait de l'ORSTOM, a été fermé en février 1974.

CF	Chambon-la-Forêt	France	I.P.G.P.
MB	M'Bour	Sénégal	O.R.S.T.O.M.
BA	Bangui	République Centrafricaine	O.R.S.T.O.M.
PP	Pamatai	Tahiti	O.R.S.T.O.M.
KG	Port-aux-Français	Kerguelen	T.A.A.F. (1)
DU	Dumont D'Urville	Terre Adélie	T.A.A.F. (1)
CZ	Port Alfred	Crozet	T.A.A.F. (1)

Tous ces observatoires, sauf CZ, sont équipés d'enregistreurs La Cour pour l'enregistrement des composantes du champ magnétique terrestre. Les observatoires de KG, DU et CZ ont été équipés respectivement en 1972, 1973 et 1974 du magnétographe à enregistrement numérique mis au point par le Service des Observatoires Magnétiques Austraux (I.P.G.P.) et mentionné au paragraphe 6.1. Les mesures absolues sont faites avec des magnétomètres à protons à précession libre, des théodolites Chasselon, des inclinomètres de Cambridge et des Q.H.M. Les 3 observatoires ORSTOM (de basse latitude) utilisent depuis 1973 des dispositifs à bobine permettant la mesure des composantes horizontale et verticale à l'aide du magnétomètre à protons.

La publication des valeurs horaires (ou, tout au moins, leur envoi aux Centres Mondiaux) est faite régulièrement pour les observatoires TAAF et ORSTOM ; pour Chambon-la-Forêt, le retard existant est en cours de résorption.

Tous ces observatoires enregistrent également les variations rapides et très rapides. L'emploi des sondes à contre-réaction de flux s'est généralisé. Les caractéristiques des capteurs et des dispositifs d'enregistrement varient cependant selon les observatoires. Tandis que Bangui, Pamatai et Crozet sont équipés uniquement d'enregistreurs graphiques, Chambon-la-Forêt utilise un enregistreur magnétique analogique pour les phénomènes de période comprise entre 0.2 et 600 secondes tandis que des enregistrements numériques sur bande magnétique sont réalisés depuis 1972 à Port-aux-Français et depuis 1973 à Dumont d'Urville. Notons encore les enregistrements de variations rapides effectués par l'observatoire d'Addis Abeba en collaboration avec l'I.P.G.P.

(1) Les 3 observatoires permanents gérés par les TAAF sont placés sous la responsabilité scientifique de l'IPGP. Pour tout renseignement d'ordre scientifique sur ces observatoires, s'adresser aux Services des Observatoires Magnétiques Austraux, 4 avenue de Neptune, 94100 St-Maur-des-Fossés.

2 -- OBSERVATIONS IONOSPHERIQUES

2.1 -- Observations permanentes

Le tableau ci-dessous énumère les observatoires ionosphériques permanents, placés sous responsabilité française ; il indique le nom de la station, la région où elle est située et l'organisme dont elle dépend ainsi que la cadence des sondages verticaux.

Observatoires permanents

Garchy	France	GRI	15 min (5 min, les RWD)
Poitiers	France	LPHA	60 min (15 min, les RWD)
Lannion	France	CNET/MIR	15 min
Dakar	Sénégal	CNET/MIR	60 min (15 min, les RWD)
Djibouti	Djibouti	CNET/MIR	60 min (15 min, les RWD)
Ouagadougou	Haute Volta	GRI	15 min (5 min, les RWD)
Tahiti	Tahiti	CNET/MIR	60 min (15 min, les RWD)
Port-aux-Français	Kerguelen	TAAF (2)	15 min (5 min, les RWD)
Dumont d'Urville	Terre Adélie	TAAF (2)	5 min

La station temporaire de sondages verticaux de Sahr (Fort Archambault) au Tchad a été fermée en février 1974 ; en plus des sondages verticaux quadrihoraires, elle comportait un système de mesures selon la technique des récepteurs multiples (champ de 18 antennes).

La station de Garchy possède également un système de récepteurs multiples (réseau de 36 antennes).

Des riomètres fonctionnent aux stations de Port-aux-Français (30, 25, 20.5 et 15 MHz) et de Dumont d'Urville (75, 30.1, 20.5 et 13.7 MHz). En cette dernière station, un riomètre tournant fonctionne en permanence sur 75 MHz sauf lorsque la vitesse du vent devient supérieure à 20 m/sec. De plus, depuis janvier 1972, une station de réception de satellites géophysiques (ISIS) existe à Dumont d'Urville.

Les observations sont régulièrement envoyées aux Centres Mondiaux.

2.2 -- Observations régulières

2.2.1 -- Sondages à diffusion incohérente

La station d'émission du RSR/CNET est située à Saint-Santin. A la station de réception de Nançay, ont été ajoutées deux autres stations : Montpazier en mars 1973, et Mende en octobre 1973.

Jusqu'en juin 1974, la cadence régulière de travail des sondages était de 36 h tous les 15 jours ; depuis juillet 1974, elle est de 3 jours consécutifs par mois.

Depuis octobre 1973, le vecteur vitesse ionique est mesuré grâce à l'adjonction des deux stations de Montpazier et Mende.

2.2.2 -- Sondages obliques

Depuis 1971, à une cadence d'environ 10 semaines par an, le Laboratoire de Physique de l'Exosphère (Paris) effectue, à partir de Valensole (midi de la France), des sondages

(2) Pour tout renseignement d'ordre scientifique, s'adresser au GRI, 4 avenue de Neptune, 94100 St-Maur-des-Fossés.

obliques pour l'étude des perturbations itinérantes et des irrégularités aurorales ou du Spread F subauroral. Deux fois par an, pendant environ 15 jours, des sondages obliques réciproques sont faits entre Valensole et Tromsø.

2.2.3 – Radar météorique

Le RSR effectue, 4 fois par an, pendant des périodes de 15 à 20 jours, des mesures de la vitesse des vents neutres entre 80 et 100 km avec un radar météorique situé à Garchy.

3 – OBSERVATIONS PHOTOMETRIQUES

3.1. – Observations permanentes

Le Service de Luminescence Atmosphérique de l'I.A.P. enregistre avec des photomètres à 8 couleurs (3600 à 7814 Å) les émissions du ciel nocturne et à St Michel de Haute Provence en France, et à Crozet, Kerguelen et Dumont d'Urville (Terre Adélie) dans l'hémisphère austral. Des caméras "plein ciel" fonctionnent à Kerguelen et à Dumont d'Urville (Terre Adélie).

Le Service d'Aéronomie de Verrières-le-Buisson assure à St-Michel de Haute Provence depuis le début de 1972 des observations par laser sur le sodium nocturne et crépusculaire en vue d'apprécier la répartition verticale des atomes de sodium, les paramètres dynamiques et la température neutre entre 80 et 100 km.

3.2 – Observations régulières

Des observations crépusculaires sur les essaims de météore sont effectuées régulièrement au Pic du Midi (8 à 10 jours par mois).

L'Observatoire du Pic du Midi assure des observations régulières sur la lumière zodiacale et antisolaire.

4 – OBSERVATIONS D'EMISSIONS RADIOELECTRIQUES

L'équipe décimétrique de l'Observatoire de Meudon-Nançay assure depuis 1970 des observations quotidiennes des émissions décimétriques (entre 20 et 40 MHz) de Jupiter, à l'aide de spectrographes à haute résolution et de récepteurs à fréquence fixe.

D'octobre 1971 à octobre 1974, des observations quotidiennes de scintillations interplanétaires des radio-sources compactes ont été faites à Nançay en vue d'obtenir des informations sur la turbulence à petite échelle (< 100 km) de la densité électronique du plasma solaire. Ces observations ont été faites à 21 cm et intéressent principalement les régions proches du Soleil (< 60 R_{\odot}). D'autre part, un mois par an (pendant l'opposition de Jupiter), des observations de flux à 21 cm et à 6 cm sont effectuées afin de détecter les variations du rayonnement synchrotron, qui est un traceur du champ magnétique de cette planète.

5 – CAMPAGNES DIVERSES

A l'occasion de l'éclipse de Soleil de juin 1973, des sondages ionosphériques ont été effectués à l'île de l'Ascension et à Tamanrasset par le CNET en collaboration avec l'Université de Constantine en Algérie. Le Laboratoire de Sondages Electromagnétiques de l'I.P.G.P. a procédé à des sondages par radar cohérent au Tchad à proximité de la zone de totalité en collaboration avec l'équipe de B.B. BALSLEY, du NOAA à Boulder (USA).

Simultanément le sondeur vertical et les récepteurs multiples fonctionnaient à Sahr (Fort-Archambault). L'ORSTOM avait implanté des stations temporaires d'enregistrements de variations magnétiques rapides.

Deux autres campagnes d'environ un mois (janvier 1974 et janvier 1975) ont été faites par le Laboratoire de Sondages Electromagnétiques de l'IPGP, soit au Tchad, soit en Ethiopie, pour observer par radar cohérent les effets de l'électrojet équatorial.

En août 1974, le GRI a participé à une campagne internationale pour l'étude du développement des sous-orages, en effectuant des mesures de champ électrique en ballons en Islande. Le sondeur à diffusion incohérente de St-Santin fonctionnait simultanément. La même technique de mesures avait été mise en œuvre à partir d'Aire-sur-Adour (sept. 1973) et de Terre Adélie (début 1973).

En liaison avec l'Institut de Physique de la Terre de Moscou, une campagne d'enregistrements de phénomènes géophysiques (ondes UBF et TBF, photométrie) a été réalisée par le GRI en deux couples de points conjugués (Kerguelen-Sogra, Heard-Dolgoschélié) en février et mars 1971. D'autres campagnes similaires ont été effectuées entre Sogra et Kerguelen durant les années 1971-1974.

Une station temporaire d'enregistrements du ciel nocturne (photomètre à 10 couleurs) a fonctionné sous la responsabilité du Service de Luminescence Atmosphérique de l'IAP jusqu'en mars 1972 à la station Nord du Groënland. En janvier et février 1972, des observations d'aurores faites à Skiboten avec un photomètre spécial avaient pour but d'apprécier la durée de vie de l'azote.

Le Service d'Aéronomie de Verrières-le-Buisson a implanté, en octobre 1974, une station de mesures sur le sodium crépusculaire et nocturne par la technique laser à l'île de Heiss (85° N).

Pendant le survol de Jupiter par Pioneer 11, des observations sur 21 cm ont été faites avec le radio-télescope de Nançay en liaison avec des équipes étrangères qui travaillaient sur 327 MHz et 22 MHz.

Des équipes du C.R.G. ont participé à une étude du permafrost au Canada avec un appareillage de magnétotellurique minière et effectué une reconnaissance du socle cristallin sous recouvrement sédimentaire dans le Massif Central et en Finlande. Des sondages ont été effectués dans les régions de Carcassonne, de Grasse et, en collaboration avec l'Instituto di Fisica Terrestre de Padoue, dans les régions de Padoue, Venise et du lac de Garde. Des études géothermiques ont été faites dans le Cantal et à Zardarello.

Une équipe de l'ORSTOM poursuit, par méthode magnétotellurique, l'étude du Craton Ouest-Africain sur le profil Dakar-Niamey.

En 1971, une vingtaine de stations équipées de variographes Askania ont été installées dans le Massif Central par un groupe de l'IPGP ; les premiers résultats font apparaître une remarquable homogénéité des variations magnétiques dans un carré de 500 km couvrant l'ensemble du massif.

Une équipe du Laboratoire de Géomagnétisme de St Maur a entrepris des mesures archéomagnétiques (matériaux des 4^e, 5^e, 8^e et 9^e millénaires) en Iran et en Syrie. Une équipe de l'IPG de Strasbourg a effectué une prospection étendue du Massif de l'Eifel où des éruptions volcaniques ont eu lieu entre - 500 000 ans et - 10 000 ans, afin de définir l'évolution du champ terrestre au cours de cette période.

6 - INSTRUMENTS

6.1 - Magnétisme terrestre

Un nouveau magnétographe numérique a été mis au point par le Service des Observatoires Magnétiques Austraux de l'IPGP. Les caractéristiques complètes de cet

équipement, dont la commercialisation est prévue, sont décrites dans des fiches techniques qui peuvent être demandées à ce Service. Conçu pour des observatoires antarctiques, cet équipement fonctionne avec une puissance très faible (6.5 watts pour les capteurs et le dispositif numérique) permettant d'acquérir une information par minute pour chacun des 4 paramètres enregistrés (H, D, Z et F). Une bande 7 pistes (200 BPI) contient environ 1 mois d'enregistrements. Pour les 3 composantes, les capteurs sont de type Fluxgate à double noyau saturé, dont le bruit ne dépasse pas 0.1 gamma dans la bande 0 à 0.5 Hz et dont la stabilité à long terme est régulière (dérive inférieure à 1 gamma par mois) ; le coefficient de température est 0.1 gamma par degré centigrade. Pour F, le capteur est un magnétomètre à protons à précession libre ou à pompage optique. Des enregistreurs graphiques restituent des enregistrements analogiques (comprenant un système de rattrapage) avec la vitesse et la sensibilité désirées. L'enregistrement des 3 composantes et de l'intensité totale, qui donne une information redondante, permet des tests de cohérence pour l'établissement des lignes de base. L'expérience des dernières années a montré que, lors du retour des bandes magnétiques des observatoires austraux en France, les tableaux de valeurs horaires pouvaient être obtenus en quelques jours.

Le laboratoire de Géomagnétisme de l'ENS a continué à développer des variomètres horizontaux à aimant asservi en position (MOSNIER et YVETOT, 1972) tandis que G. SIMON, à l'IPGP, développait des capteurs verticaux fondés sur le même principe.

Dans le domaine des appareillages de mesures absolues, le développement du magnétomètre à polarisation dynamique des protons par effet OVERHAUSER-ABRAGAM a été poursuivi au Centre d'Études Nucléaires de Grenoble sous la direction de A. SALVI. Les performances de cet appareillage ont été améliorées, surtout en vue de l'application aux mesures aéromagnétiques (sensibilité, bruit et effet du mouvement relatif de rotation).

Un système de sondage géomagnétique différentiel a été développé à l'ENS ; les variographes sont reliés par télémesure à une station centrale où peuvent être enregistrées directement, en temps réel, les différences observées entre stations (BABOUR et MOSNIER, 1973).

Une équipe de la C.G.G., en vue d'une exploitation industrielle de la magnéto-tellurique, a mis au point une chaîne à gain binaire de 6 voies dont les bandes numériques de terrain sont traitées automatiquement pour la recherche des directions principales et pour le tracé des diagrammes des différentes résistivités apparentes. Dans le cas cylindrique, il faut se donner la structure pour calculer le diagramme des résistivités apparentes ; dans le cas des structures tabulaires, un programme résout le problème inverse et étudie les limites d'équivalence. Une centaine de sondages ont ainsi été obtenus et traités (KUNETZ, 1972, ROCROY, 1975).

Une nouvelle méthode de prospection magnéto-tellurique qui lie quantitativement les 3 composantes magnétiques et les 2 composantes électriques des signaux naturels a été développée (MUSE, 1973) et une chaîne digitale industrielle, mettant en œuvre cette méthode a été utilisée par la C.F.P. dans plus de 500 sondages pétroliers (en Algérie, Tunisie et au Canada) et géothermiques (Italie et Guadeloupe).

6.2 - La station mobile de l'I.N.A.G.

L'originalité de cet équipement, réalisé sous la direction technique du G.R.I., consiste dans le rassemblement sous forme très compacte (2 remorques) d'un grand nombre d'enregistreurs de phénomènes géophysiques (photomètres, riomètres, magnétomètres à champ continu, capteurs UBF et TBF, éventuellement sondeur ionosphérique et caméra plein ciel), qui sont tous commandés par un calculateur auquel des ordres peuvent être envoyés par télétype. Les fonctions de ce calculateur sont les suivantes : d'une part la mise en route et l'exploitation de la station (enregistrements numériques, déclenchement d'étalonnages et d'enregistrements analogiques, acquisition de la base de temps), d'autre part des traitements préliminaires des signaux détectés (transformées de FOURIER, ...).

Cette station a fonctionné pour la première fois lors d'une campagne d'enregistrements en longitude, à la station de Lavila dans la région d'Arkhangelsk en novembre 1974.

6.3 - Instruments divers

Un nouveau matériau (aérogels de silice) pour détecteur Cerenkov de rayonnement de haute énergie a été développé. Son indice de réfraction, compris entre 1.05 et 1.23, permet désormais de rendre continue la gamme des seuils de détection possibles (CANTIN et al., 1974).

Deux caméras à haute sensibilité ont été réalisées en vue d'une campagne d'observations optiques d'aurore artificielles (expérience Arax). La première, réalisée par le CESR, utilise une galette de microcanaux comme amplificateur d'images. La seconde, réalisée par une équipe de l'Observatoire de Haute Provence IAP, est fondée sur l'utilisation d'un tube de télévision à cible de silicium. La sonde quadripolaire développée au GRI Orléans est du type électrodynamique, c'est-à-dire qu'elle utilise la mesure de l'impédance mutuelle entre deux paires de capteurs et ses variations en fonction de la fréquence pour déterminer les caractéristiques du plasma ambiant, densité, température, courant parallèle au champ magnétique. Cette nouvelle méthode de diagnostic, qui n'est pas sensible aux effets de gain qui affectent les mesures d'impédance propre, a été mise au point grâce à des travaux théoriques et à des expériences réalisées en laboratoire et en fusée.

7 - LEVES ET CARTES MAGNETIQUES

En vue de suivre l'évolution de la variation séculaire sur le territoire français métropolitain, la détermination complète (D, H, F) du vecteur champ a été effectuée en 1972 dans les trente stations de répétition (LE BORGNE et al., 1974).

En Afrique occidentale, H.G. BARSCZUS, de l'ORSTOM, a procédé à la réoccupation des stations de répétition déjà établies et à la création de nouvelles stations.

L'I.N.A.G. a poursuivi la réalisation du programme de levés aéromagnétiques entrepris par le C.N.R.S. Faisant suite aux levés de la France continentale (1964-1965), de la partie Nord de la Méditerranée occidentale (1966-1967) et du Golfe de Gascogne, (1969), ont été réalisés successivement le levé de la partie Sud du Bassin Algéro-Provençal en 1971 (LE BORGNE et al., 1972) et celui de la mer d'Alboran en 1973 (GALDEANO et al., 1974). Tous ces levés ont été exécutés par la Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G.) sous la direction scientifique de l'I.P.G.P. Les cartes de l'intensité et les cartes des anomalies de l'intensité, établies à l'échelle 1/1 000 000, sont diffusées par le Service Géologique National, sauf pour la mer d'Alboran dont les anomalies ont été calculées et cartographiées à l'I.P.G.P. par A. GALDEANO. En 1974, l'INAG a acheté les données recueillies par la CGG au-dessus de la zone comprise entre les Baléares et la côte d'Espagne, au cours d'une étude aéromagnétique non exclusive réalisée par ses soins en 1972. L'INAG dispose ainsi d'une couverture aéromagnétique complète de la France métropolitaine, du Golfe de Gascogne et de la Méditerranée occidentale.

Des traitements appropriés ont permis de raccorder tous ces différents levés, effectués à des époques variées et à des altitudes variées, et d'exploiter les anomalies magnétiques qu'ils mettent en évidence en vue de reconstituer l'histoire tectonique du Golfe de Gascogne et celle de la Méditerranée occidentale (LE MOUEL et al., 1971 ; LE BORGNE et al., 1971 ; BAYER, 1974 ; GALDEANO et al., 1974 ; GALDEANO, 1974).

Un levé aéromagnétique détaillé a été réalisé en 1972 sous la direction du B.R.G.M., pour le compte de l'INAG, au-dessus du Massif Central. Ce levé ne diffère des levés précédents que par les dimensions plus réduites des mailles, 2 x 5 km au lieu de 10 x 25 km pour la mer d'Alboran.

La cartographie magnétique réalisée à partir de mesures effectuées à l'aide d'un magnétomètre remorqué par bateau concerne d'une part le plateau continental armoricain (SEGOUFIN, 1973). D'autre part, dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien, le laboratoire de Géophysique Marine de l'IPGP a procédé depuis plusieurs années à des mesures de l'intensité F du champ le long d'un grand nombre de profils (environ 70 000 km). Ceux-ci sont trop espacés pour permettre d'établir une véritable cartographie de F mais ils apportent une contribution exceptionnelle, pour la compréhension de l'histoire tectonique de cette vaste région du Globe (SCHLICH et al., 1971, SCHLICH, 1974). Enfin des profils magnétiques analogues aux précédents ont été effectués par la section géophysique du Centre ORSTOM de Nouméa dans le cadre du programme "reconnaissance géologique et structurale du Sud-Ouest Pacifique" (DUBOIS et al., 1974).

8 - INDICES D'ACTIVITE MAGNETIQUE

P.N. MAYAUD (1971, 1972, 1973) a développé un nouvel indice d'activité magnétique, les indices tri-horaires aa, à partir de deux observatoires subauroraux antipodaux. Une série homogène, caractérisant l'activité magnétique à une échelle planétaire et commençant en 1868, est ainsi mise à la disposition de la communauté scientifique. Ces indices sont actuellement publiés mensuellement par J.V. LINCOLN dans le *J. Geophys. Res.* D'autre part, P.N. MAYAUD a poursuivi le calcul régulier des indices Kn, Ks et Km qui sont diffusés soit mensuellement (indices provisoires) par les soins de l'IPGP, soit annuellement (indices définitifs) dans les Bulletins 32 de l'AIGA. Le réseau d'observatoires utilisés comprend, depuis 1973, 11 observatoires dans l'hémisphère Nord et 8 observatoires dans l'hémisphère Sud.

ALCAYDE D., BAUER P., JAECK C. and FALIN J.L. - Diurnal variation of the atmospheric density at 400 kilometers. *J. Geophys. Res.*, 76, 7814, 1971.

ALCAYDE D., BAUER P., JAECK C. and FALIN J.L. - Latitudinal diurnal variation of some atmospheric parameters determined by a simultaneous analysis of incoherent scatter and satellite-drag data. *J. Geophys. Res.*, 77, 2368, 1972.

ALCAYDE D., TESTUD J., VASSEUR G. et WALDTEUFEL P. - L'orage magnétique du 11 février 1969 : Etude par diffusion incohérente. *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 34, 1037, 1972.

ALCAYDE D. - Diurnal and long-term behaviour of the exospheric temperature as observed by incoherent scatter sounding in the F-2 region. *Radio Science*, 9, 239, 1974.

ALCAYDE D., BAUER P. and FONTANARI J. - Long term variations of the thermospheric temperature and composition. *J. Geophys. Res.*, 79, 629, 1974.

AMAYENC P. and VASSEUR G. - Neutral winds deduced from incoherent scatter observations and their theoretical interpretation. *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 34, 351, 1972.

AMAYENC P. and REDDY C.A. - Height structure of tidal winds as inferred from incoherent scatter observations. *Planet. Space Sci.*, 20, 1269, 1972.

AMAYENC P. and VASSEUR C. - Observation and interpretation of ionization drift measurements in the F-region at St-Santin-Nançay. *Space Res.* XII, 957, 1972.

AMAYENC P., FONTANARI J. and ALCAYDE D. - Simultaneous neutral wind and temperature oscillations near tidal periods in the F-region over St-Santin. *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 35, 1499, 1973.

AMAYENC P. - Tidal oscillations of the meridional neutral wind at midlatitudes, *Radio Sci.*, 9, 281, 1974.

AMAYENC P., ALCAYDE D. and KOCKARTS G. - Solar extreme ultraviolet heating and dynamical processes in the midlatitude thermosphere. *J. Geophys. sous presse*, 1975.

ANDRIAMIRADO R. - Recherches paléomagnétiques sur Madagascar. Résultats et interprétations dans le cadre de la dislocation de la partie orientale du Gondwana. Thèse d'Etat, Strasbourg, 1971.

ANDRIEUX P., CLERC G., TORT P. - Capteurs magnétométriques triaxiaux pour la prospection M-T artificielle entre 4 Hz et 4 KHz. *Rev. Phys. Appliquée*, 9, 757, 1974.

ARENS G., DELTEIL J.R., VALERY P., DAMOTTE B., MONTADERT L., and PATRIAT Ph. - *The continental margin off the Ivory Coast and Ghana*. ICSU/SCOR Working Party 31 Symposium, Cambridge 1971 : *The geology of the East Atlantic Continental Margin*. Edited by F.M. DELANY, 1971. Report n° 70/16, pp. 61-78.

ARTZT J.C. - Réalisation d'une balance thermo-magnétique à translation. Application à l'étude des roches. Dipl. Ing. Géophys., Strasbourg, 1972.

ASHOUR-ABDALLA M. and COWLEY S.W.H. - Wave-particle interactions near the geostationary orbit, in "Magnetospheric Physics", ed. by B.M. McCORMAC, D. Reidel Pub. Co., Dordrecht, 241-270, 1974.

- ASHOUR-ABDALLA M., CHANTEUR G. and PELLAT R. - A contribution to the theory of the electrostatic half-harmonic electron gyrofrequency waves in the magnetosphere, *J. Geophys. Res.*, sous presse, 1975.
- ASSEO E., LAVAL G., PELLAT R., WELTI R. and ROUX A. - Effect of the plasma inhomogeneity on the nonlinear damping of monochromatic waves. *J. Plasma Phys.*, 8, 341, 1972.
- AUBERT M. - Anomalies magnétiques, notice carte géologique 1/50 000. Feuille de Clermont-Ferrand, 1973.
- AUBERT M., BAROZ F. - Structure profonde de la Chaîne du Pentadaktylos et de la Mesaoria (Chypre). *Rev. de l'Institut français du Pétrole*, 29, 361, 1974.
- AUBRY M.P., RUSSEL C.T. and KIVELSON M.G. - On inward motion of the magnetopause before a substorm. *J. Geophys. Res.*, 75, 7018, 1970.
- AUBRY M.P., KIVELSON M.G., Mc PHERRON R.L., RUSSEL C.T. and COLBURN D.S. - Outer magnetosphere near midnight at quiet and disturbed times. *J. Geophys. Res.*, 77, 5487, 1972.
- AVEROUS P. - Etude d'un spectromètre à temps de vol embarquable, destiné à l'analyse des neutrons de grande énergie. Thèse de spécialité, Toulouse, 1972.
- BABOUR V., MOSNIER J. - Nouvelles méthodes d'Etude des Anomalies magnétiques du type bord de mer. *Ann. Géophys.*, 29, 171, 1973.
- BARDON CL., BOSSERT A., HAMZEH R. et WESTPHAL M. - Etude paléomagnétique de formations du Trias et du Jurassique du Maroc et du Sahara. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 276 D, 2357, 1973.
- BARDON C., BOSSERT A., HAMZEH R., ROLLEY J.P., WESTPHAL M. - Etude paléomagnétique de formations volcaniques du Crétacé inférieur dans l'Atlas de Beni-Mellal (Maroc). *C.R. Acad. Sc. Paris*, 277 D, 2141, 1973.
- BARLIER F., BAUER P., JAECK C., THUILLIER G. and KOCKARTS G. - North-South Asymmetries in the Thermosphere during the last Maximum of the Solar Cycle, 79, 5273, 1974.
- BARSCZUS H.G. - A comparison of occurrences of geomagnetic pulsations pc and ionospheric sporadic echoes of type h. *Gerlande Beitr. Geoph.*, 80, 391, 1971.
- BAUER P., LEJEUNE G. and PETIT M. - Thermal coupling between the upper F2-region and the magnetosphere : heat fluxes and energy production. *Planet. Space Sci.*, 18, 1447, 1970.
- BAUER P., WALDTEUFEL P. and ALCAYDE D. - Diurnal variations of the atomic oxygen density and temperature determined from incoherent scatter measurements in the ionospheric F region. *J. Geophys. Res.*, 75, 4825, 1970.
- BAYER R., LE MOUËL J.L. and LE PICHON X. - Magnetic anomaly pattern in the western mediterranean. *Earth Planet. Sci. Letters*, 19, 168, 1973.
- BAYER R. - Anomalies magnétiques et évolution tectonique de la Méditerranée occidentale. Thèse de spécialité, Paris VI, 1974.
- BEGHIN C. - Excitation de la résonance hybride basse (LHR) par sonde quadripolaire à bord d'une fusée, *Space Research XI*, 1071, 1971.
- BEGHIN C. and DEBRIE R. - Characteristics of the electric field far from and close to a radiating antenna around the lower hybrid resonance in the ionospheric plasma, *J. Plasma Phys.*, 8, 287, 1972.
- BERNARD P. - Magnéto-météorologie : Discussion d'un effet atmosphérique sur le champ magnétique terrestre et de ses conséquences, *Rev. Phys. Appliquée*, 5, 239, 1970.
- BERNARD R. and SPIZZICHINO A. - Semi-diurnal wind and temperature oscillations in the E-region observed by the Nancy incoherent scatter experiment. *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 33, 1345, 1971.
- BERNARD R. - Tides in the E-region observed by incoherent scatter over St Santin. *J. Atmosph. Terr. Phys.* 36, 1105, 1974.
- BERNARD R. - A comparison between meteoric radar and incoherent scatter measurements in the lower thermosphere, *Radio Sci.*, 9, 295, 1974.
- BERTAUX J.L., AMMAR A., and BLAMONT J.E. - OGO-5 determination of the local interstellar wind parameters, *Space Research XII*, 1559, 1972.
- BERTAUX J.L., and BLAMONT J.E. - Interpretation of Ogo-5 Lyman Alpha Measurements in the Upper Geocorona, *J. Geophys. Res.*, 78, 80, 1973.
- BERTAUX J.L. - L'hydrogène atomique dans l'exosphère terrestre : mesures d'intensité et de largeur de raie de l'émission Lyman-Alpha à bord du satellite OGO-5 et interprétation. Thèse d'Etat, Paris, 1974.
- BERTHELIER A. - Etude de l'effet de la composante Est-Ouest du champ magnétique interplanétaire sur les courants équivalents aux perturbations magnétiques des régions de haute latitude. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 275 B, 841, 1972.
- BERTHELIER A. - Influence du champ magnétique interplanétaire sur les perturbations magnétiques des régions de haute latitude : mise en évidence d'une asymétrie par rapport à la direction Terre-Soleil. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 276 B, 681, 1973.
- BERTHELIER A. - Variations diurnes de la composante verticale du champ magnétique dans les régions de haute latitude en fonction de la composante Est-Ouest du champ magnétique interplanétaire. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 276 B, 693, 1973.
- BERTHELIER A. and GUERIN C. - Influence of the polarity of the interplanetary magnetic field on magnetic activity at high latitudes. *Space Research XIII*, 661, 1973.
- BERTHELIER A., BERTHELIER J.J. and GUERIN C. - The effect of the East-West component of the Interplanetary Magnetic Field on magnetospheric convection as deduced from magnetic perturbations at high latitudes. *Journ. Geophys. Res.*, 79, 3187, 1974.
- BERTHELIER J.J. and PIRRE M. - Rocket measurements of Antarctic D-region electron density during the 26 January 1967 PCA event, AFCRL Special Report 144 édité par J.C. ULWICK, 1972.

- BERTHELIER J.J. and GODARD R. – Electron density and temperature profiles during a moderate auroral event, *Space Research* XII, 1357, 1972.
- BERTHELIER J.J. et PIRRE M. – Observation de l'entrée des protons solaires dans la magnétosphère aux très hautes latitudes, *C. R. Acad. Sc. Paris*, 276 B, 279, 1973.
- BERTHELIER J.J. and SYLVAIN M. – Transauroral ionosphere, magnetospheric implications, *Physics and Chemistry of Upper Atmospheres*, Ed. B.M. McCORMAC, p. 73, D. REIDEL, 1973.
- BERTHELIER J.J. and PIRRE M. – Observations of the entry of solar protons into the magnetosphere by use of riometers, *Space Res.* XIV, 327, 1974.
- BERTHOMIER C. – Temps de groupe et direction de la normale d'onde de signaux TBF du type chœur de l'aube enregistrés au cours de l'expérience FU 171, Thèse de Spécialité, Paris, 1970.
- BERTIER J. et LOEB J. – Traitement "à la main" et sur ordinateur des transitoires en polarisation provoquée, *Geophys. Prospecting*, 22, 93, 1974.
- BIELLE-DASPET D. and POUGET M. – Influence of injection rate on carrier lifetime degradation in p-type silicon irradiated by 4.5 MeV electrons. *Nuc. Inst. Meth.*, 93, 413, 1971.
- BIELLE-DASBET D. – Recombination centers in N- and P-type silicon irradiated by very high energy protons. Proceedings of the Conf. on Radiation damage and defects in semi-conductors, Reading (G.B) 1972. Conf. Series n° 16, The Institute of Physics, London, 129, 1972.
- BIELLE-DASPET D. – Effective recombination levels in N- and P-type silicon irradiated by 4.5 MeV electrons. *Solid State Electronics*, 16, 1103, 1973.
- BIGOURD C., DEVAUX D., HERMAN M. et LENOBLE J. – *Icarus*, sous presse, 1975.
- BIQUAND D., PREVOT M. et DUNLOP D.J. – Une aimantation rémanente visqueuse très résistante envers les champs alternatifs dans une roche sédimentaire contenant de fines particules d'hématite, *Journ. de Phys.*, 32 C 1, 1039, 1971.
- BIQUAND D. and PREVOT M. – A.F. Demagnetization of viscous remanent magnetization of rocks, *Zeitschrift für Geophysik*, 37, 471, 1971.
- BIQUAND D. – L'aimantation rémanente des roches sédimentaires : ses propriétés, sa nature ; conditions et limites d'une utilisation paléomagnétique, Thèse d'Etat, Paris VI, 1974.
- BIRAUD F., BOURGOIS G., CROVISIER J., FILLIT R., GERARD E. et KAZES I. – OH observation of Comet Kohoutek (1973) at 18 cm wavelength. *Astron. and Astrophys.*, 34, 163, 1974.
- BITOUN J. – Reconstitution of signals deformed by a fast AGC. Application to plasma resonances. *ELDO/ESRO Scientific and Technical Review*, 4, 273, 1972.
- BITOUN J., GUYARD J., NADEAU A., FEIX M.R. – A computational procedure for high order adiabatic invariants. *J. Comp. Phys.* 12, 315, 1973.
- BITOUN J. – Analytical determination of propagation paths near gyroharmonics, *Radio Sci.*, 9, 17, 1974.
- BLAMONT J.E. and LUTON J.M. – Geomagnetic effect on the neutral temperature of the F region during the magnetic storm of september 1969, *J. Geophys. Res.*, 77, 3534, 1972.
- BLAMONT J.E., CHANIN M.L. et MEGIE G. – Excitation par laser des atomes de sodium atmosphériques, *C. R. Acad. Sc. Paris*, 274 B, 93, 1972.
- BLAMONT J.E. et POMMEREAU J.P. – Observation de sursauts de rayonnement liés à l'activité solaire dans la basse atmosphère (100 mb), *C. R. Acad. Sc. Paris*, 274 B, 203, 1972.
- BLAMONT J.E., CHANIN M.L. et MEGIE G. – Vertical distribution and temperature profile of the night time atmospheric sodium layer obtained by laser backscatter, *Ann. Géophys.*, 28, 833, 1972.
- BLAMONT J.E., FESTOU M. – Observation of the comet Kohoutek (1973) in the resonance light of the OH Radical, *Icarus*, 23, 538, 1974.
- BLAMONT J.E., LUTON J.M. and NISBET J.S. – Global temperature distributions from OGO-6 6300 Å airglow measurements, *Radio Sci.*, 9, 247, 1974.
- BONHOMMET N. – Sur la direction d'aimantation des laves de la chaîne des Puys et le comportement du champ terrestre en France au cours de l'évènement de Laschamp. Thèse d'Etat, Strasbourg, 1972.
- BOSQUET J.M. CARDONA G., REME H. et SOULEILLE P. – Mise en évidence de précipitations impulsives de flux anisotropes d'électrons de basse énergie dans une aurore structurée. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 273 B, 933, 1971.
- BOSQUET J.M., GASOUE J.C. et REME H. – Modulation des précipitations d'électrons auroraux. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 273 B, 805, 1971.
- BOSQUET J.M. – Caractéristiques de la précipitation électronique aurorale mesurée à l'aide de fusées-sondes. Thèse d'Etat, Toulouse, 1972.
- BOSQUET J.M. and REME H. – Evidence of energy dependent mechanisms for the precipitation of auroral electrons, *Planet. Space Sci.*, 22, 1279, 1974.
- BOSQUET J.M. and REME H. – General features of auroral particles in different magnetic sectors as measured by rockets, *Space Research*, XV, sous presse, 1975.
- BOSQUET J.M., CARDONA G. and REME H. – Auroral electron fluxes parallel to the geomagnetic field lines. *J. Geophys. Res.*, 79, 98, 1974.
- BOSSERT A. – Etude paléomagnétique de formations crétacées de l'Atlas de Beni-Mellal (Maroc). *Dipl. Ing. Géophys.*, Strasbourg, 1973.
- BOYER D. – Techniques nouvelles de prospection magnétique de détail et d'interprétation par modèles réduits, utilisant les mesures continues du champ magnétique terrestre total. Thèse de spécialité, Paris, 1970.
- BOYER D. CAGNIARD L. et PHAM VAN NGOC. – Etude en régime exponentiel, des anomalies magnéto-telluriques provoquées par une faille verticale. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 272 B, 1225, 1971.

- BOYER D., CAGNIARD L. et PHAM VAN NGOC. — Etude en régime harmonique, des anomalies magnéto-telluriques provoquées par une faille verticale. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 273 B, 889, 1971.
- BROCHE P. — Variation de densité électronique au passage d'une onde de gravité dans l'ionosphère. *Ann. Géophys.*, 27, 75, 1971.
- BUCUR I. — Etude paléomagnétique d'une formation sédimentaire du Sahara algérien, d'âge Cambro-Ordovicien. *Ann. Géophys.*, 27, 255, 1971.
- BUCUR I. — Etude de l'aimantation rémanente anhystérique. Application à l'orientation de carottes de sondage. *Ann. Géophys.*, 28, 667, 1972.
- BUJOR M. — Work function variation across the surface of tungsten and vitreous carbon, in "Photon and particle interactions with surfaces in Space". R.J.L. GRARD ed., 323, D. REIDEL, 1973.
- BUREAU J.L. et CAGNIARD L. — Sur les principes de base d'une interprétation magnéto-tellurique quantitative des structures géologiques complexes. *C. R. Ac. Sc., Paris*, 273 B, 221, 1971.
- BUREAU J.L. — Problèmes d'interprétation magnéto-tellurique. Thèse d'Etat, Paris VI, 1972.
- CAMBOU F., GASSET G., JOULINE I.A., KANONIDI Kh. D., ROCUDUGIN V. K., SAINT-MARC A., STARKOV G.V., TREILHOU J.P., VASILKOVA E.A., and YEVLASHIN L.S. — Etude pluridisciplinaire des perturbations observées le 8 mars 1970 dans le secteur de minute. *Ann. Géophys.*, 28, 465, 1972.
- CAMBOU F. et GALPERINE Yu. I. — Résultats d'ensemble obtenus grâce à l'expérience ARCAD à bord du satellite AUREOLE. *Ann. Géophys.*, 30, 9, 1974.
- CAMBOU F., DOKOUKINE V.S., MANAGADZE G.G., MIGULIN V.V., NAZARENKO O.K., NESMYANOVITCH A.T., PYATZI A. Kh., SAGDEEV R.Z. and JOULINE I.A. — The ZARNITZA Rocket experiment on electron injection. *Space Research XV*, sous presse, 1975.
- CAMBOU F., VAISBERT O.L., ESPAGNE H., TEMNY V.V., D'USTON C. and ZASTENKER G.N. — Characteristics of interplanetary plasma near the Earth observed during the solar events of August 1972. *Space Research*, XV, sous presse, 1975.
- CANTAGREL J.M. et PREVOT M. — Paléomagnétisme et âge potassium-argon des basaltes du Devès aux environs de Saint-Arcons-d'Allier (Massif Central, France), *C. R. Acad. Sc., Paris*, 273 B, 261, 1971.
- CANTIN M., CASSE M., KOCH L., JOUAN R., MESTREAU P., ROUSSEL D., BONNIN F., MOUTEL J. and TEICHNER S.J. — Silica aerogels used as Cherenkov radiators, *Nuc. Inst. Meth.*, 118, 177, 1974.
- CARDONA G. — Caractéristiques de la précipitation des électrons de basse énergie dans une aurore structurée. Thèse de spécialité, Toulouse, 1972.
- CAVACIUTI N. — Etude expérimentale des conditions de résonance des tubes de forces du champ magnétique terrestre. Thèse de spécialité, Paris VI, 1972.
- CAVIACUTI N., GLANGEAUD F. et LACOUME J.L. — Détermination de densité de protons dans la magnétosphère à partir d'observations de pulsations géomagnétiques du type Pc3, *C. R. Acad. Sc. Paris*, 276 B, 631, 1973.
- CERISIER J.C. — Observation VLF waves after propagation over a magnetospheric path, *Sp. Res.*, XI, 1313, 1971.
- CERISIER J.C. — Contribution à l'étude de la propagation des ondes très basse fréquence dans la magnétosphère, Thèse d'Etat, Paris VI, 1973.
- CERISIER J.C. — A theoretical and experimental study of non-ducting VLF wave propagated through the magnetosphere, *J. Atm. Terr. Phys.*, 35, 77, 1973.
- CERISIER J.C. — Ducted and partly ducted propagation of VLF waves through the magnetosphere, *J. Atm. Terr. Phys.*, 36, 1443, 1974.
- CERISIER J.C. — Ray tracing in "ELF-VLF radio wave propagation", *J. Oltet, ed., Reidel*, p. 241-270, 1974.
- CERNOGORA G. — Propagation guidée d'ondes électromagnétiques de très basse fréquence dans des irrégularités de densité électronique au voisinage du mode à vitesse constante, *Ann. Géophys.*, 29, 1, 1973.
- CHANIN G. — Metallic grid filters. Liquid helium cooled bolometers. Balloon borne infra red cryostats, in *Infra Red Detection Techniques for Space Research*. Ed. Manno and Ring, D. Reidel, 1972.
- CHANIN G., TORRE J.P. — Critical-field curve of superconducting lead. *Phys. Rev. B*, 5, 4357, 1972.
- CHANIN M.L., MAILLARD M., POLOSKOV S.M., TOULINOV G.F. — New results on the thermospheric temperature in the polar zone. *Ann. Géophys.*, 28, 57, 1972.
- CHANIN M.L. — Filling-on of the Fraunhofer lines by diffusion on the ground, *J. Geophys. Res.*
- CHANIN M.L. and GOUTAIL J.P. — Diurnal variation of the sodium dayglow, *J. Geophys. Res.*
- CHARCOSSET G., TIXIER M., CORCUFF Y. et GARNIER M. — Etude expérimentale et théorique des sifflements non guidés reçus aux basses latitudes à bord du satellite Alouette 2, *Ann. Géophys.*, 29, 279, 1973.
- CHASSERIAUX J.M. — Potentiel créé par une charge ponctuelle pulsante dans un magnetoplasma froid homogène. *Ann. Géophys.*, 27, 329, 1971.
- CHASSERIAUX J.M. — Potentiel créé par une charge ponctuelle pulsante dans un écoulement de plasma. *J. de Phys.*, 32, C 5 b, 195, 1971.
- CHASSERIAUX J.M. — Potentiel créé par une charge ponctuelle pulsante dans un plasma froid inhomogène. *Plasma Phys.*, 14, 763, 1972.
- CHASSERIAUX J.M., DEBRIE R. and RENARD C. — Electron density and temperature measurements in the lower ionosphere as deduced from the warm plasma theory of the H.F. quadrupole probe, *J. Plasma Phys.*, 8, 231, 1972.
- CHASSERIAUX J.M. and ODERO D. — Mutual influence between two spherical conducting grids in a warm isotropic plasma. *J. Plasma Phys.*, 10, 265, 1973.

- CHASSERIAUX J.M. — Mesure de la densité et de la température électronique d'un plasma. Etude théorique et application au plasma ionosphérique. Thèse d'Etat, Paris, 1973.
- CHAULIAGUET C. — La double sonde à microchamp. Thèse de spécialité, Paris, 1970.
- CHAUVEAU J. — Etudes analogiques appliquées à l'interprétation géophysique et à la recherche de nouvelles méthodes de prospection. Thèse d'Université, Paris VI, 1972.
- CHOUDHURY M.A. and HOURI A. — A low-cost Observatory tape-recorder. *Bull. Seism. Soc. Am.*, juin 1973.
- CHRISTOPHE J. and WEILL G. — Sur le niveau de pollution lumineuse à l'Observatoire de Haute-Provence. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 277 B, 439, 1973.
- CLERC G. — Contribution à l'optimisation des capteurs à induction destinés à la mesure des variations du champ magnétique terrestre (10^3 à 10^4 Hz). Thèse Doct. Ing., Paris VI, 1971.
- COHEN-SABBAN J. and VUILLEMIN A. — Ultraviolet night glow spectrum from 1900 Å to 3400 Å: *Astrophys. Space Sci.*, 24, 127, 1973.
- COLLIN C.R., SALVI A., LEMERCIER D., LEMERCIER P., ROBACH F. — Magnétomètre différentiel à haute sensibilité. *Geophys. Prospecting*, 21, 704, 1973.
- COMBES M., ENCRENAZ T., VAPILLON L., ZEAU Y., LESQUEREN C. — Confirmation of the Identification of C_2H_2 and C_2H_6 in the Jovian atmosphere. *Astr. and Astrophys.*, 34, 33, 1974.
- COMBES M., DE BERGH C. et LECACHEUX J. — Identification of $^{13}CH_4$ in the atmosphere of Saturn. *Astron. and Astrophys.*, à paraître 1975.
- CONSEIL L., LEBLANC Y., ANTONINI C. et QUEMADA D. — The effect of the solar wind velocity on the jovian decametric emission. *Astrophys. Letters*, 8, 133, 1971.
- CONSEIL L., LEBLANC Y., ANTONINI C. et QUEMADA D. — Study of a jovian plasmasphere and the occurrence of Jupiter radiobursts, in *Cosmic Plasma Physics*. Plenum Press, ed. K. Schindler, 1972.
- CONSEIL L. — Contribution à l'étude du rayonnement décimétrique de Jupiter, Thèse de Spécialité, Paris 1972.
- CORCUFF P., CORCUFF Y., CARPENTER D.L., CHAPELL C.R., VIGNERON J. et KLEIMENOVA N. — La plasmasphère en période de recouvrement magnétique. Etude combinée des données des satellites OGO 4, OGO 5, et des sifflements reçus au sol. *Ann. Géophys.*, 28, 679, 1972.
- CORCUFF P. et CORCUFF Y. — Détermination des paramètres f_{11} , t_n caractéristiques des sifflements radioélectriques reçus au sol. *Ann. Géophys.*, 29, 273, 1973.
- CORCUFF Y. — Probing the plasmopause by whistlers. *Ann. Géophys.*, 31, 53, 1975.
- CORY H. et THIEL J. — The generalized convergence coefficient in the earth-ionosphere wave guide. *Radio Sci.*, 6, 717, 1971.
- COURTILLOT V., DUCRUIX J. et LE MOUËL J.L. — Le prolongement d'un champ de potentiel d'un contour quelconque sur un contour horizontal : une application de la méthode de Backus et Gilbert. *Ann. Géophys.*, 29, 361, 1973.
- COVES B. — Propriétés magnétiques de quelques basaltes et dolérites triasiques du Maroc. Dip. Ing. *Géophys.*, Strasbourg, 1973.
- COWLEY S.W.H. and ASHOUR-ABDALLA M. — Adiabatic plasma convection in a dipole field : variation of plasma bulk parameters with L. *Planet. Space Sci.*, sous presse, 1975.
- CRASNIER J., SAUVAUD J.A., GALPERIN Yu.I., KOVRAZHKIN R.A. et PONOMAREV Yu.N. — Mesures in situ à bord du satellite AUREOLE des protons auroraux durant des périodes magnétiquement calmes. *Ann. Géophys.*, 30, 357, 1974.
- CROCHET M., BARREAU D. et de MAISTRE J.C. — Analyse de la propagation par rétrodiffusion directe sur des irrégularités alignées dans la couche F aurorale. Influence d'une perturbation. *Ann. Géophys.*, 27, 453, 1971.
- CROCHET M. — Propagation transéquatoriale en dehors du grand cercle en ondes décimétriques, Part I : mise en évidence et morphologie. *Ann. Géophys.*, 28, 27, 1972.
- CROCHET M. — Propagation transéquatoriale en dehors du grand cercle en ondes décimétriques, Part II : Application à l'étude par diffusion des irrégularités. *Ann. Géophys.*, 28, 381, 1972.
- GALDARNO A. et LEJEUNE G. — The absorption of electrons in atomic oxygen. *Planet. Space Sci.*, 19, 1653, 1971.
- DAIGNIERES M., MOSNIER J. et ROSSIGNOL J.C. — Anomalies des variations du champ magnétique terrestre dans la partie orientale des Pyrénées. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 277 B, 739, 1973.
- DALY L. et ZINSSER H. — Etude comparative des anisotropies de susceptibilité et d'aimantation rémanente isotherme. Conséquences pour l'analyse structurale et le paléomagnétisme. *Ann. Géophys.*, 29, 189, 1973.
- DAMOTTE B., GRAU G., GRAY F., LIMON D.V. et PATRIAT Ph. — Utilisation conjointe des méthodes sismique-réflexion et réfraction pour la détermination des vitesses. *Histoire Structurale du Golfe de Gascogne* (VI. 15). Editions Technip.
- DE BERGH C., LECACHEUX J., COMBES M., MAILLARD M. — New Infrared Spectra of the Jovian planets from 12 000 to 4000 cm^{-1} by Fourier Transform Spectroscopy. III. First overtone Pressure-induced H_2 absorption in the atmospheres of Jupiter and Saturn. *Astr. and Astrophys.*, 35, 353, 1974.
- DECREAU P. — Détermination des performances d'analyseurs électrostatiques et magnétiques destinés à la détection des particules de basse énergie du milieu spatial. Thèse de spécialité, Paris, 1971.
- DECREAU P., PRANGE R. et BERTHELIER J.J. — Détermination des grandeurs caractéristiques des analyseurs électrostatiques toriques. Application à l'optimisation d'analyseurs utilisés en physique spatiale. *Rev. Phys. Appliquée*, 7, 95, 1972.
- DECREAU P., PRANGE R. and BERTHELIER J.J. — Optimisation of toroidal electrostatic analysis for measurement of low energy particles in space. 1974 à paraître dans *Review of Scientific Instruments*.

- DERIEUX A. - "Etude de la concentration de l'hydrogène atmosphérique à partir de la diffusion incohérente". Thèse de spécialité, Paris VI, 1973.
- DIESENDORF M.O. - Whistler-mode echoes observed on the FR-1 satellite. *Planet. Space Sci.*, 19, 739, 1971.
- DOLLFUS A. - Venus: Evolution of the upper atmospheric clouds. *Icarus*, à paraître, 1975.
- DOLLFUS A., CAMICHEL H., BOYER C., AURIERE M., BOWELL E. and NIKANDER J. - Photometry of Venus: I. Observation of the brightness distribution over the disk. *Icarus*, sous presse, 1975.
- DONAT H., REME H. et BOSQUED J.M. - Interaction des électrons avec l'atmosphère, Application au cas d'une aurore diffuse. *Ann. Géophys.*, 27, 1, 1971.
- DOREMUS J.P., BAUMANN G. and FEIX M.R. - The water-bag model in a cylindrical two-dimensional stellar system. *Astrophys. Letters*, 11, 37, 1972.
- DOREMUS J.P. and FEIX M.R. - Stability of a one dimensional stellar system, *Astronomy Astrophys.*, 20, 259, 1972.
- DUBOIN M.L. - Méthode pour le calcul de l'évolution de l'altitude d'émission de la raie interdite $\lambda = 6.300 \text{ \AA}$ de l'oxygène atomique, au cours du renforcement matinal, *Ann. Géophys.*, 27, 391, 1971.
- DUBOIN-MON M.L. - La raie interdite 6300 \AA de l'oxygène atomique au cours du renforcement précrépusculaire. Thèse d'Etat, Paris VI, 1974.
- DUBOIS J. et LINK F. - Analyse photométrique de l'ombre intérieure pendant les éclipses de lune. *The Moon* 2, 354, 1971.
- DUBOIS J., DUGAS F., LA POUILLE A. et LOUAT R. - Fossés d'effondrement en arrière de l'arc des Nouvelles Hébrides. Mécanismes proposés, *Géographie Physique et Géologie Dynamique*, 1974.
- DUBOIS J., LAUNAY J. et RECY J. - Uplift movement in New-Caledonia - Loyalty-Islands area and their plate tectonic interpretations. *Tectonophysics*, 24, 133, 1974.
- DUPIS A. JIMENEZ DE LA PENA Y.F. - Teoria y practica de la prospeccion magnetotelurica petrolera. *Riv. di geofisica*, XXXII, 29, 1973.
- DUPIS A., ILCETO V. and NORINELLI A. - Deep salt-water detection with magnetotelluric measurements at Isolo Beach (Northern Italy), *Riv. di Geofisica*, XXII, 17, 1963.
- DUPIS A., ILCETO V. - Power spectral density of the magneto - telluric phenomena in the venetian region (frequency 1/60 - 32 Hz) *Riv. Ital. di Geofis.*, XXII, 241, 1973.
- DUPIS A., ILCETO V. - An example of rapid magnetotelluric investigation of faulted structures: the Carboli area (Lardarello, Italy), *Boll. Geofis. Teor. ed appl.*, XVI, 125, 1974.
- DUPIS A., ILCETO V., NORINELLI A. - First magnetotelluric measurements on Lardarello site *Boll. Geofis. Teor. ed appl.*, XVI, 137, 1974.
- B. DURAND de GROSSOUVRE. - Etude paléomagnétique de formations volcaniques tertiaires du Bassin Rhénan. Dipl. Ing.-Géophys., Strasbourg, 1973.
- EDEL J.B. - Etude magnétique des Vosges méridionales. Réalisation d'un appareil de mesure des susceptibilités magnétiques de roches in situ. Dipl. Ing.-Géophys. Strasbourg, 1972.
- EDEL J.B. et LAUER J.P. - Magnetic anomalies, thermal metamorphism and tectonics in the Rhinegraben area, in K. FUCHS and H. ILLIES Ed., *Approaches to taphrogenesis* 155, Stuttgart 1974.
- ELLOUZ E. - Irradiation de dispositifs à semiconducteurs par un rayonnement laser pulsé. Thèse de Doct.-Ing., Toulouse, 1973.
- ENGELMANN J., HYNDS R.J., MORFILL G., AXISA F., BERWICK A., DURNEY A.C. and KOCH L. - Penetration of Solar Protons over the Polar Cap during the February 25, 1969, Event, *J. Geophys. Res.* 76, 4245, 1971.
- ENGELMANN J. - Solar particle injection at medium energies ($25 < E < 250 \text{ MeV}$), in "Earth's magnetospheric processes", Ed. B.M. Mc Cormac, D. Reidel, p. 95, 1972.
- ESTIVAL J. - Contribution à l'étude de la bordure occidentale du Morvan méridional et de la Limagne (Méthode magnétique). Dipl. Ing.-Géophys. Strasbourg, 1973.
- ETCHETO J., GENDRIN R. and LEMAIRE D. - Diffusion of particles in the presence of simultaneous VLF and ULF electromagnetic waves. *J. Geophys. Res.*, 76, 1079, 1971.
- ETCHETO J., GENDRIN R. and LEMAIRE D. - Experimental study of electron pitch angle diffusion in the presence of VLF modulated hiss, in "Wave-particle Interactions in the Magnetosphere", *ESRO SP/72*, 123, 1971.
- ETCHETO J. - Contribution à l'étude des interactions entre ondes et particules dans la magnéto-sphère: en particulier à partir des mesures simultanées en fusée d'ondes TBF et de flux d'électrons. Thèse d'Etat, Paris, juin 1972.
- ETCHETO J., ETCHETO J.M., GENDRIN R. and B. de la PORTE des VAUX. - Use of position sensitive detectors at energies below 1 MeV. Application to a fast determination of the pitch angle distribution of protons inside the magnetosphere, *Nucl. Instr. and Methods*, 108, 271, 1973.
- ETCHETO J., GENDRIN R., SOLOMON J. and ROUX A. - A self-consistent theory of magnetospheric ELF hiss; *J. Geophys. Res.*, 78, 8150, 1973.
- ETCHETO J.M. - Technique expérimentale de mesure rapide des directions d'arrivée des protons de moyenne énergie. Thèse d'Université, Paris, 1971.
- FAIL J.P., MONTADERT L., DELTEIL J.R., VALERY P., PATRIAT P. et SCHLICH R. - Prolongation des zones de fractures de l'Océan Atlantique dans le Golfe de Guinée. *Earth Planet. Sci. Letters*, 7, 413, 1970.
- FAMBITAKOYE O. - Variabilité jour-à-jour de la variation journalière régulière du champ magnétique terrestre dans la région de l'électrojet équatorial, *C. R. Acad. Sc. Paris*, 272 B, 637, 1971.

- FAMBITAKOYE O., RASTOGI R.G., TABBAGH J. and VILA P. - Counter -electrojet and Esq disappearance, *Journ. atmosph. terr. phys.*, 35, 1119, 1973.
- FAMBITAKOYE O. - Effets induits par l'électrojet équatorial au centre de l'Afrique. *Ann. Géophys.*, 29, 149, 1973.
- FAMBITAKOYE O. et MAYAUD P.N. - Remarques sur la séparation des effets externes et internes à Huancayo, *Ann. Géophys.*, 29, 168, 1973.
- FAMBITAKOYE O. - Etude des effets magnétiques de l'électrojet équatorial, Thèse d'Etat, Paris VI, 1974.
- FAYNOT J.M., VILA P. and WALTER J. - Upward moving irregularities in the subequatorial ionosphere. *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 33, 1621, 1971.
- FEHRENBACH M., FRIMOUT D., LINK F. et LIPPENS C. - Manifestations optiques des aérosols météoriques, *C. R. Acad. Sc. Paris*, 272 B, 913, 1971.
- FEHRENBACH M., FRIMOUT D., LINK F. et LIPPENS C. - Manifestations optiques des aérosols météoriques I-Orionides 1970. *Ann. Géophys.*, 28, 363, 1972.
- FEHRENBACH M., FRIMOUT D., LINK F., LIPPENS C. et WEILL G. - Photométrie simultanée à deux niveaux de 21 et 6 mb du ciel crépusculaire, *C. R. Acad. Sc. Paris*, 275 B, 223, 1972.
- FEHRENBACH M. et ROLDUGIN V.K. - L'aurore du 8 mars 1970 à Kerguelen et Sogra, *Ann. Géophys.*, 28, 473, 1972.
- FEHRENBACH M., LINK F. et WEILL G. - Giacobinides 1972. Mesures crépusculaires, *C. R. Acad. Sc. Paris*, 277 B, 163, 1973.
- FEHRENBACH M. et LINK F. - Sur la présence des aérosols météoriques dans la haute atmosphère terrestre, *C. R. Acad. Sc. Paris*, 279 B, 687, 1974.
- FELDSTEIN R., GRAFF Ph. et HIGEL B. - Etude des pics de résonance excités dans l'ionosphère, *J. de Phys.*, 32, C 5B, 186, 1971.
- FELDSTEIN R. and GRAFF P. - Daytime and nighttime electron temperatures from topside resonances, *J. Geophys. Res.*, 77, 1896, 1972.
- FELLOUS J.L. - Etude expérimentale des marées dans la haute atmosphère, couplage avec les échauffements stratosphériques. Thèse de spécialité, Paris VI, 1972.
- FELLOUS J.L., SPIZZICHINO A., GLASS M. and MASSEBEUF M. - Vertical propagation of tides at meteor heights. *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 36, 385, 1974.
- FIALA V. - Stabilité des antennes électriques du satellite FR 1 dans le plasma ionosphérique. *Ann. Télécomm.*, 25, 259, 1970.
- FINZI U., DOREMUS J.P., HOLEC H. and FEIX M.R. - Classification and stability of double Water Bag plasma equilibria. *Plasma Phys.* 16, 189, 1974.
- FISZLEIBER F. - Propagation d'ondes TBF dans l'ionosphère et la magnétosphère ; étude des directions des normales d'ondes et leur relation avec les gradients horizontaux d'ionisation, Thèse de spécialité, Paris VII, 1974.
- FLAUD P. - Méthodes théoriques de dépouillement de signaux très basse fréquence, lorsque une ou plusieurs ondes sont présentes. Paris VII. Thèse de spécialité, 1971.
- FLEURY L. - Etude théorique de la haute ionosphère à partir de données simultanées des satellites ISIS et du sondeur à diffusion du C.N.E.T., Thèse de spécialité de Paris VI, 1971.
- FLEURY L. and TAIEB C. - Simultaneous measurements of electronic density using top-side soundings and incoherent scatter soundings, *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 33, 909, 1971.
- FLEURY L. et TAIEB C. - Abondance relative des ions O^+ entre 500 et 2000 km d'altitude à moyenne latitude, *Ann. Géophys.*, 29, 399, 1973.
- FLEURY L. and PETIT M. - Antenna dependance of plasma resonance patterns, *J. Geophys. Res.*, 79, 4817, 1974.
- FONTANARI J. - Analyse de la température neutre observée par diffusion incohérente dans la basse thermosphère. Thèse de spécialité, Toulouse, 1973.
- FONTANARI J. and ALCAYDE D. - Observation of neutral temperature tidal-type oscillations in the F1 region. *Radio Sci.* 9, 275, 1974.
- FONTANELLA J.C., GIRARD A., GRAMONT L. et LOUISNARD N. - Analyse de spectres stratosphériques de NO et de NO₂, *C. R. Acad. Sc. Paris*, 278 B, 181, 1974.
- FOURNIER G. - Ecoulement de plasma sans collisions autour d'un cylindre en vue d'applications aux sondes ionosphériques. Thèse, ORSAY, 1971.
- FOURNIER H., ADAM A., de MIGUEL J. and SANCLEMENT E. - Proposal for a first upper mantle magnetotelluric E.W. profile across Europe. *Acta Geol. Geoph. Mont. Hung.*, Buda-Pest, 1971.
- FOURNIER H. and ROSSIGNOL J.C. - A magnetotelluric experiment in Nozay-en-Dunois (Eure-et-Loir, France) : Results, interpretation and critical study, *Phys. Earth Planet. Interiors*, 8, 13, 1974.
- FOURNIER H., BENDERITTER Y. et FEBRER J. - Sondage magnéto-tellurique sur le massif granitique de Mortagne en Vendée, *C. R. Acad. Sc. Paris*, 280 B, 141, 1975.
- FRY J.P. and ROUX A. - Non-linear frequency shift in whistler hydrodynamic propagation. *Canad. J. Phys.*, 48, 2130, 1970.
- GALDEANO A. - Traitement des données aéromagnétiques : Méthodes et applications. Thèse de spécialité, Paris VI, 1974.
- GALDEANO A., COURTILLOT V., LE BORGNE E., LE MOUËL J.L. and ROSSIGNOL J.C. - An aeromagnetic survey of the S.W. of the Western Mediterranean : description and tectonic implications. *Earth and Planet. Sci. letters*, 23, 323, 1974.

- GARNIER M. et NAKACHE J. — Etude comparée des occurrences mensuelles et diurnes des sifflements radioélectriques et des échos gyroélectriques dans les régions conjuguées d'Europe et d'Afrique du Sud, *C. R. Acad. Sc. Paris*, 275, 577, 1972.
- GARNIER et NAKACHE J. — Modes de propagation des sifflements radioélectriques et des échos gyroélectriques reçus en moyennes latitudes, *Ann. Géophys.*, 28, 509, 1972.
- GASQUET J.C. — Modulation des flux d'électrons de basse énergie détectés dans une aurore, Thèse de spécialité, Toulouse, 1971.
- GASSET G. — Caractéristiques des précipitations électroniques en zone subaurorale. Cas particulier de l'orage du 8 mars 1970 et de l'orage du 11 mars 1969. Thèse de spécialité, Toulouse, 1971.
- GASSET G., ZHULIN I.A., CAMBOU F., KANONIDI Kh. D., KOPYLOV Yu. M., SAINT-MARC A. and TREILHOU J.P. — Auroral X-rays in the midnight sector during the March 8, 1970, storm. *Geomagn. Aeron.*, XI, 541, 1971.
- GASSET G., ZHULIN I.A., CAMBOU F., KANONIDI Kh.D., KLEIMENOVA N.G., RASPOPOV O.M., SAINT-MARC A. and TREILHOU J.P. — Modulation of aurora electron fluxes and geomagnetic pulsations during the March 8, 1970, magnetic storm, *Geomag. Aeron.* XII, 919, 1972.
- GAULT W. A. and CHANIN M.L. — Twilight potassium at Haute Provence, *Ann. Géophys.*, 30, 69, 1974.
- GAUTIER D. — The Hydrogen to Helium mixing ratio in the Giant Planets. A. Woszczyk and C. Iwaniszewski Eds., I.A.U., 1974.
- GAUTIER D., REVAH I. — Sounding of planetary atmospheres : A Fourier analysis of the radiative transfer equation. *J. Atm. Sci.*, 32, 881, 1975.
- GEERK J. et THOMAS R. — Etude expérimentale d'un spectromètre de masse magnétique permettant d'analyser, à partir d'un seul spectre, un plasma d'ions négatifs et positifs. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 272 B, 33, 1971.
- GENDRIN R. — Phénomènes TBF d'origine magnétosphérique, Handbuch der Physik. XLIX/3 pp. 461. Ed. S. Flügge et K. Rawer, Springer — Verlag, 1971.
- GENDRIN R., LACOURLY S., ROUX A., SOLOMON J., FEIGHIN F.Z., GOKHBERG M.V., TROITSKAYA V.A. and YAKIMENKI V.L. — Wave-packet propagation in a amplifying medium and its application to the dispersion characteristics and to the generation mechanisms of Pc 1 events. *Planet. Space Sci.*, 19, 165, 1971.
- GENDRIN R. — Gyroresonant wave-particle interaction, in "Solar-Terrestrial Physics, 1970", ed. by E.R. DYER, D. Reidel, Part III, 236, 1972.
- GENDRIN R. — Some quasi-linear effects occuring inside the magnetosphere. *Issledov. Geomagn. Aeronom. Phys. Solntza*, 23, 333, 1972.
- GENDRIN R. — Changes in the distribution function of magnetospheric particles, associated with gyroresonant interactions. In "Earth's magnetospheric processes", ed. by B.M. McCORMAC, D. Reidel, 311, 1972.
- GENDRIN R. — Non linear amplifier device of geophysical size, *J. Geophys. Res.*, 78, 8387, 1973.
- GENDRIN R. — Initial expansion phase of an artificially injected electron beam, *Planet. Space Sci.*, 22, 633, 1974.
- GENDRIN R. — Phase-bunching and other non linear processes occuring during gyroresonant wave-particle interactions, *Astrophys. Space Sci.*, 28, 245, 1974.
- GENDRIN R. — The French-Soviet "ARAKS" experiment, *Space Sci. Rev.*, 15, 905, 1974.
- GENDRIN R. — Is the plasmopause a preferential region for proton precipitation ? *Ann. Geophys.*, sous presse, 1975.
- GENDRIN R. — Waves and wave-particle interactions in the magnetosphere : a review, *Space Sci. Rev.*, sous presse, 1975.
- GERARD A. et WEBER C. — L'anomalie magnétique du bassin de Paris interprétée comme élément structural majeur dans l'histoire géologique de la France. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 272 D, 921, 1971.
- GERARD A. et GRIVEAU P. — Interprétation quantitative en gravimétrie ou magnétisme à partir de cartes transformées de gradient vertical. *Geophysical Prospecting*, 20, 459, 1972.
- GERARD A. — L'interprétation par cartes transformées des champs magnétiques et de pesanteur. Application à une étude géophysique du Bassin Parisien et de l'anomalie magnétique de la Manche. Thèse Docteur-Ingénieur, Strasbourg, 1973.
- GERARD E. — Radioastronomie des planètes joviennes en ondes décimétriques, Thèse d'Etat, Paris 1970.
- GERARD E. — Observations of Jupiter at 11.13 cm, *Astron. Astrophys.* 8, 181, 1970.
- GERARD E. and KAZER I. — Observations of Saturn at wavelength of 6.2, 11.1, and 21.2 cm *Astrophys. Letters*, 13, 181, 1973.
- GERARD E. — Long term variations of the decimetric radio emission of Jupiter, Symposium on the magnetosphere of the Earth and Jupiter, Frascati, 1974.
- GIRAUD A. — The rate constants of some ion-molecule and ion-electron reactions from in situ ionospheric measurements. p. 268, in "Mesospheric models and related experiment". Ed. Fiocco D. Reidel, 1971.
- GIRAUD A. — Ion Mass Spectrometry, in "Reactions under Plasma Conditions", pp. 543-577, Vol. I. Ed. M. Venugopalan, J. WILEY and sons, N.Y., 1971.
- GIRAUD A., SCIALOM G., POLHOUNKOV A., POLOS KOV S. and TOULINOV G. — Day time and night time ion composition between 100 and 400 km under solar maximum winter conditions, *Space Res.*, XI, 1057, 1971.

- GIRAUD A., SCIALOM G., and POLHUNKOV A.A. — Thermospheric structure : correlation of mass spectrometry and incoherent-scatter sounding. *J. Geophys. Res.*, 77, 1251, 1972.
- GLADYSHEV V.A., JORJIO M.V., SHUISKAYA F.K., CRASNIER J., SAUVAUD J.A. — Détermination de la position du cône polaire à l'aide des mesures de particules de basse énergie effectuées à bord du satellite AUREOLE. *Ann. Géophys.*, 30, 301, 1974.
- GLANGEAUD F. et LACOUME J.L. — Etude de la propagation des Pc 1 en présence de gradients d'ionisation alignés sur le champ magnétique terrestre. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 272 B, 397, 1971.
- GLASS M. — Etude des limites temporelles des ondes de gravité observées dans la basse atmosphère. Thèse d'Etat, Paris VI, 1973.
- GODARD R. — Analyse du fonctionnement de la sonde de température différentielle pour la mesure électronique dans l'ionosphère. Thèse de spécialité, Orsay 1971.
- GOKHBERG M.V., POKHOTILOV O.A., PERRAUT S., WEHRLIN N. and de VILLEDARY C. — Non-linear interaction of ion-cyclotron waves in the magnetosphere, *J. Exp. Theor. Phys. Letters*, 18, 554, 1973.
- GOKHBERG M.V., POKHOTILOV O.A., PERRAUT S., WEHRLIN N. et de VILLEDARY C. — Analyse détaillée des échanges d'énergie et de la polarisation des raies composant la structure fine des Pcl, *Ann. Géophys.*, 30, 309, 318, 1974.
- GONFALONE A. and BEGHIN C. — Excitation of quasi-cylindrical waves connected with Electron Bernstein modes, *Phys. Review Letters*, 31, 866, 1973.
- GOULLEY P. et LACOUME J.L. — Etude de la polarisation des sifflements radioélectriques en vue d'accéder aux paramètres de la basse ionosphère. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 272 B, 173, 1971.
- GOURVEZ P. — Etude de la couche F équatoriale à partir de données de satellite et de stations magnétiques. Thèse de spécialité, Paris VI, 1972.
- GRAFF P. — Analytical study of oblique echoes at the upper hybrid resonance, *J. Geophys. Res.*, 75, 7193, 1970.
- GRAFF P. — General expression of the frequencies of the oblique echoes at the plasma resonance, *J. Geophys. Res.*, 76, 1060, 1971.
- GRAFF P. — Study of the oscillations stimulated at the upper hybrid resonance by a pulsed dipole antenna in a weakly inhomogeneous plasma, *J. Plasma Phys.*, 5, 427, 1971.
- GRAFF P. — Echos ionosphériques à la fréquence de plasma et à la fréquence hybride supérieure. Etude théorique, Thèse d'Etat, Paris VII, 1971.
- GUYADER J.C., BOUYSSOU J., CRASNIER J. et SAUVAUD J.A. — Dispositif expérimental pour la spectrométrie des électrons et des protons de 0.4 à 30 keV à bord du satellite AUREOLE, *Nucl. Inst. Meth.*, 118, 497, 1974.
- HAHN A. and WEBER C. — Magnetic basement mapping on the West African Shield in Dahomey. *Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata*. Vol. XII, 45, 1970.
- HAMELIN M. — Correlations between VLF emission flux and electron pitch angle distribution as deduced from a rocket flight in the auroral zone. ESRO SP 72. Aug. 71. *Wave particle interactions in the magnetosphere*, 139, 1971.
- HAMELIN M. — Etude des conditions de propagation d'ondes T.B.F. naturelles à partir de mesures en fusée ; relations entre ces ondes et la distribution en angle d'attaque des électrons énergétiques. Thèse de spécialité, Orsay, 1972.
- HAMZEH R., WESTPHAL M. — Etude paléomagnétique de formations volcaniques tertiaires et quaternaires du Maroc Oriental, *Earth and Planet. Sci. Letters*, 20, 28, 1973.
- HAMZEH R. — Etude paléomagnétique de formations triasiques et liassiques du Maroc et ses implications pour l'ouverture de l'Atlantique. Thèse de spécialité, Strasbourg, 1973.
- HANEL R., CONRATH B., KUNDE V., PRABHAKARA C., REVAH I., SALOMONSON V. and WOLFORD G. — The Nimbus 4 infrared Spectroscopy Experiment : Part. I, Calibrated Thermal Emission Spectra, *J. Geophys. Res.*, 77, 2629, 1972.
- HAUBERT A. — A propos des relations entre les phénomènes atmosphériques et ionosphériques. *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 33, 117, 1971.
- HEDIN A.E. and ALCAYDE D. — Comparison of atomic oxygen measurements by incoherent scatter and satellite born mass spectrometer techniques. *J. Geophys. Res.*, 79, 1579, 1974.
- HEITZMANN M.O. — Etude du souffle auroral TBF à partir des données du satellite FR-1, Thèse de spécialité, Paris VI, 1974.
- HENRY B. — Contribution à l'étude structurale du dôme de Barrot. Microtectonique, anisotropie de susceptibilité magnétique et paléomagnétisme. Thèse de spécialité, Paris, 1971.
- HENRY B. — Application de l'anisotropie de susceptibilité magnétique à la tectonique des sédiments permien du dôme de Barrot et de l'Argentera. *C. R. Acad. Sc., Paris*, 272 D, 1586, 1971.
- HENRY B. — Sur l'aimantation rémanente naturelle des pélites permien du dôme de Barrot. *C. R. Acad. Sc., Paris*, 273 D, 1560, 1971.
- HENRY B. — Studies of microtectonics, anisotropy of magnetic susceptibility and paleomagnetism of the permian Dôme de Barrot (France) : paleotectonic and paleosedimentological implications. *Tectonophysics*, 17, 61, 1973.
- HENRY B. — Sur l'anisotropie de susceptibilité magnétique du granite récent de Novate (Italie du Nord). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 278 D, 1171, 1974.
- HENRY B. — Microtectonique et anisotropie de susceptibilité magnétique des filons aplitiques et pegmatitiques récents du massif du Bergell (frontière italo-suisse). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 279 D, 385, 1974.
- HENRY D. and TREGUIER J.P. — Propagation of electronic longitudinal modes in a non-Maxwellian plasma. *Plasma Phys.*, 8, 311, 1972.

- HERISSON C. — Méthode magnetotellurique dans la reconnaissance du socle cristallin sous recouvrement sédimentaire : quatre exemples dans le Massif Central. Thèse de Spécialité, Orléans 1974.
- HERQUEL G. — Etude bibliographique des propriétés magnétiques des roches sous-marines. Etude magnétique des roches volcaniques de Chypre. Dipl. Ing. Geoph., Strasbourg, 1974.
- HIGEL B., BITOUN J and PETIT M. — Rocket observation of two waves beating at the 3 f_H resonance, *J. Geophys. Res.*, 77, 6254, 1972.
- HOANG NGOC THACH. — Etudes théorique et expérimentale de structures hétérogènes pour la méthode magnetotellurique de prospection géophysique. Thèse de Doct. Ing., Paris VI, 1973.
- HOGAN J.S., ENCRENAZ T., GAUTIER D. and CESS R.D. — The composition and thermal structure of the Jovian atmosphere : Comments on the results of Pioneer-10 infrared radiometer and S-band occultation experiment. *J. Atm. Sc.*, 32, 860, 1975.
- HOGAN J., ENCRENAZ T., GAUTIER D. — New Models of Giant Planets. *J. Atm. Sc.*, sous presse, 1975.
- HOURI A. — Sur une nouvelle interprétation des variations saisonnières observées dans le souffle magnétosphérique TBF, en zone aurorale. *C. R. Acad. Sc., Paris*, 274 B, 301.
- JAECK-BERGER C. — Modèle statistique de densité globale entre 180 et 500 km, *Ann. Géophys.*, 29, 547, 1973.
- JAMES H.G. — Refraction of Whistler-mode waves by large-scale gradients in the middle-latitude ionosphere, *Ann. Géophys.*, 28, 301, 1972.
- JIRICEK F. and TIXIER M. — Localization of sources of two-hop whistlers observed aboard the Intercosmos 3 satellite over Europe. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 35, 1705, 1973.
- JOHNSON F.S. and BAUER P. — Variations in density and chemical composition at 120 km from chemical and dynamical processes. *Space Research XIII*, (1), 379, 1973.
- JONQUET H. — Contribution à l'étude paléomagnétique des roches volcaniques du Velay. Dipl. Ing. Geoph., Strasbourg, 1974.
- KING J.W. and THUILLIER G. — The modelling of the tropical F-region, *J. Atm. Terr. Phys.*, sous presse, 1975.
- KIVELSON M.G., FARLEY T.A. and AUBRY M.P. — Satellite studies of magnetospheric substorms on August 15, 1968 : energetic electrons, spatial boundaries and wave particle interactions at OGO 5. Publication 967 de l'Institute of Geophysics and Planetary Physics, University of California, Los Angeles, 1972.
- KOTHE A. — Interprétations magnétiques dans les Vosges (région d'Étival) et dans le Massif Central (le Bourbonnais). Dipl. Ing. Geoph., Strasbourg, 1974.
- KUEHL H.H. — Electric field and potential near the plasma resonance, *Phys. of Fluids*, sous presse, 1975.
- KUNETZ G. — Processing and interpretation of magnetotelluric sounding. *Geophysics*, 37, 1005, 1972.
- LACOMBE P. et ROCHE A. — Sur l'aimantation de basaltes quaternaires du Cambodge. *C. R. Somm. Séances Soc. Géol. Fr. Fasc. 8*, p. 300, 1970.
- LACOUME J.L. — Réflexion d'ondes de fréquence inférieure à la gyrofréquence des ions sur une surface de discontinuité parallèle au champ magnétique. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 272 B, 346, 1971.
- LAMY F. — Etude paléomagnétique de formations plio-quaternaires de l'Ankaratra. Dipl. Ing.-Géophys., Strasbourg, 1972.
- LAUER J.P., TAKTAK G. — Propriétés magnétiques des roches au voisinage du contact métamorphique des schistes de Steige et des granites d'Andlau et du Hohwald (Vosges cristallines du Nord), *C. R. Acad. Sc. Paris*, 272 D, 924, 1971.
- LAUNAY L. — Induction électromagnétique dans la Terre, Interprétation des anomalies sur modèles calculés et réduits, Application à l'étude de l'effet du bord, Thèse d'Etat, Nice, 1974.
- LAVERGNAT J. — Contribution à l'étude de l'absorption ionosphérique par riomètre, *C. R. Acad. Sc. Paris*, 273 B, 577, 1971.
- LAVERGNAT J., BERTHELIER J.J. — An iterative mathematical technique for deriving electron-density profiles from multifrequency riometer data, *Radio Sci.* 8, 641, 1973.
- LAVERGNAT J., PELLAT R. et SINGH R.P. — Rayonnement cohérent d'ondes électro-statiques quasi-perpendiculaires dû à un faisceau d'électrons, *C. R. Acad. Sc. Paris*, 278 B, 763, 1974.
- LAVERGNAT J. et PELLAT R. — Onde de neutralisation d'un faisceau d'électrons injectés dans un plasma, *C. R. Acad. Sc. Paris*, 278 B, 827, 1974.
- LE BORGNE E., LE MOUEL J.L. et ROSSIGNOL J.C. — Réseau magnétique de répétition de la France : résultats de la campagne 1967. Variation séculaire entre 1947 et 1967. *Annales de l'I.P.G.P.*, Oct. 1971.
- LE BORGNE E., LE MOUEL J.L. et ROSSIGNOL J.C. — Réseau magnétique de répétition de la France : résultats de la campagne 1967. Variation séculaire entre 1957 et 1967. *Annales de l'I.P.G.P.*, Novembre 1971.
- LE BORGNE E. et LE MOUEL J.L. — La variation diurne de l'intensité du champ magnétique terrestre au-dessus du golfe de Gascogne. *Ann. Géophys.* 27, 433, 1971.
- LE BORGNE E., LE MOUEL J.L. et LE PICHON X. — Aeromagnetic survey of South Western Europe. *Earth Planet. Letters*, 12, 287, 1971.
- LE BORGNE E., BAYER R. et LE MOUEL J.L. — La cartographie magnétique de la partie Sud du bassin algero-provençal. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 274 B, 1291, 1972.

- LE BORGNE E., BAYER R. et LE MOUËL J.L. — Le levé aéromagnétique de la Méditerranée occidentale, partie Sud. *Annales de l'I.P.G.P.*, Paris, Novembre 1973.
- LE BORGNE E. et LE MOUËL J.L. — Réseau magnétique de répétition de la France métropolitaine : Résultats de la campagne 1972. *Fascicule des Annales de l'IPGP*, 1974.
- LECACHEUX A. — Etude du rayonnement de Jupiter sur ondes décamétriques, Thèse de Spécialité, Paris 1974.
- LECACHEUX A. — Periodic variations of the positions of jovian decametric sources in longitude and phase of Io, *Astron. Astrophys.*, 37, 301, 1974.
- LECAILLE A. — Anisotropie provoquée sur le sesquioxyde de fer. Diplôme d'ingénieur CNAM, Paris, 1972.
- LECAILLE A., DALY L. — Mise en évidence du caractère polyaxial de l'anisotropie magnétique de l'hématite en grains monodomaines. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 274 B, 839, 1972.
- LEFEUVRE F. — Limites de validité de l'optique géométrique en milieu anisotrope non absorbant. Application à l'accessibilité à la résonance dans la couche F de l'ionosphère. Paris, Thèse de spécialité, 1970.
- LEJEUNE G. — The coupling between electron density and electron temperature in the day-time F-region. *Ann. Géophys.*, 28, 15, 1972.
- LEJEUNE G. and TAYLOR G.N. — Simultaneous F-region conjugate point dawn effect at two mid-latitude stations. *Planet. Space Sci.*, 20, 1061, 1972.
- LEJEUNE G. — Photoélectrons et bilan énergétique des électrons dans l'ionosphère diurne. Thèse d'Etat, Paris VI, 1973.
- LEJEUNE G. et DALGARNO A. — The Red Line of Atomic Oxygen at Twilight, *Plan. Space Sci.* 21, 1937, 1973.
- LEMAIRE D. — Etude expérimentale des interactions ondes-particules ; dépouillement des mesures de particules faites au cours d'une expérience sur fusée tirée des Iles Kerguelen. Thèse de Spécialité, Paris, 1971.
- LE MOUËL J.L., GALDEANO A. et LE PICHON X. — Remanent magnetization vector direction and the statistical properties of magnetic anomalies, *Geophys. J.R. ast. Soc.*, 30, 353, 1971.
- LE MOUËL J.L. et LE BORGNE E. — La cartographie magnétique du Golfe de Gascogne, in "Histoire Structurale du Golfe de Gascogne", Ed. Technip., Paris, 1971.
- LE MOUËL J.L., COURTILLOT V. and GALDEANO A. — A simple formalism for the study of transformed aeromagnetic profiles and source location problems, *J. Geophys. Res.*, 79, 324, 1974.
- LEVASSEUR A.C. et BLAMONT J.E. — Interprétation des émissions H α atmosphériques observées par le satellite D 2A Tournesol autour de l'équateur magnétique, *C. R. Acad. Sci.* 277 B, 67, 1973.
- LEVASSEUR A.C. and BLAMONT J.E. — Satellite observations of strong Balmer Alpha atmospheric emissions around the magnetic equator. *J. Geophys. Res.*, 78, 3881, 1973.
- LIMOND W.Q., GRAY F., GRAU G. and PATRIAT Ph. — Mantle reflections in the Bay of Biscay. *Earth Planet. Sci. Letters*, 15, 361, 1972.
- LIMOND W.Q., GRAY F., GRAU G., FAIL J.P., MONTADERT L. et PATRIAT P. — A seismic study in the Bay of Biscay. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 23, 357, 1974.
- LINK F. and ROBLEY R. — Meteoric contamination of the upper atmosphere by the Quadrantid shower, *Planet. Space Sci.* 19, 1585, 1971.
- LINK F. — Laser Radar Observations of dust from Comet Bennet, *J. Atm. Terr. Phys.*, 34, 343, 1972.
- LINK F. and ROBLEY M. — The influence of cosmic dust on twilight phenomena, *Space Research*, 12, 433, 1972.
- LINK F. — "Photometry of the lunar surface", *The Moon*, 5, 265, 1972.
- LINK F. et WEILL G. — Calcul de la luminance crépusculaire due à la diffusion primaire, *Ann. Géophys.* 28, 819, 1972.
- LINK F. — "On a possible relation between lunar transient phenomena and the Earthshine", *The Moon*, 6, 125, 1973.
- LINK F. — Aerosols and particles, In "Phys. and Chem. of Upper Atmosphere", Ed. Mc CORMAC, D. REIDEL publishing Co, 34-40, 1973.
- LINK F., Cosmic dust in the upper atmosphere, *Space Res.* XIII, 1135, 1973.
- LINK F. et FEHRENBACH M. — Les poussières météoriques dans la haute atmosphère, *L'Astronomie*, 337, 1973.
- LOEB J. — Sur les potentiels électromagnétiques et la relation de Lorentz en milieu anisotrope. *Ann. Télécomm.*, 24 (7-8), 307-311, 1970.
- LOSSY D. — Etude magnétique de la région de Faucogney-et-la-Mer (Haute-Saône) Dipl. Ing. Geoph., Strasbourg, 1974.
- LOUBET D. — Mécanisme de la multiplication des électrons secondaires dans le multiplicateur tubulaire, Thèse de spécialité, Toulouse, 1972.
- LOUBET D. and BARAT C. — Mechanism of secondary electron multiplication within a curved channel multiplier. *Nucl. Inst. Meth.* 111, 441, 1973.
- LOUBET D. and BARAT C. — Energy distribution of output electron in a curved channel multiplier. *Nucl. Inst. Meth.*, 118, 259, 1974.
- Mc CLURE J.P., HANSON W.B., NAGY A.F., CICERONE R.J., BRACE L.H., BARON H., BAUER P., CARLSON H.C., EVANS J.V., TAYLOR G.N. and WOODMAN R.F. — Comparison of Te and Ti from OGO 6 and from various incoherent scatter radars, *J. Geophys. Res.*, 78, 197, 1973.

- MAILLARD M. — Mesure de la température neutre de la thermosphère polaire. Thèse d'Université, Paris VI, 1972.
- De MAISTRE J.C., CROCHET M. et BARREAU D. — Contribution à l'étude des perturbations ionosphériques itinérantes au moyen d'un radar par rétrodiffusion au sol. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 272 B, 77, 1971.
- MALINGRE M. — Influence des gradients horizontaux de densité électronique associés à la dépression de moyenne latitude sur la propagation des ondes TBF. Thèse de spécialité, Paris VII, 1971.
- MALINGRE M. — Délocalisation des ondes TBF dans l'ionosphère supérieure au voisinage de la dépression de moyenne latitude, *Ann. Géophys.*, 29, 239, 1973.
- MARAL G., BRONSTAD K., TREFALL M., KREMSER G., SPECHT H., TANSKANEN P., KANGAS J., RIEDLER W. and LEGRAND J.P. — On the morphology of auroral-zone X-ray events. III Large-scale observations in the mid-night-to-morning sector. *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 35, 735, 1973.
- MARECHAL S. — Etude et réalisation d'un dispositif d'analyses atmosphériques embarquables en ballon. Thèse de Doct.-Ing., Toulouse, 1974.
- MARTEN A. et CHAUVEL Y. — Mesures des concentrations de constituants mineurs dans la stratosphère, *C.R. Acad. Sc. Paris*, 280 B, 199, 1975.
- MARTIN-MALMONGE I. — Détermination des flux de photons gamma de basse énergie dans l'atmosphère, Thèse d'Etat, Toulouse, 1974.
- MAYAUD P.N. — Une mesure planétaire d'activité magnétique basée sur deux observatoires antipodaux, *Ann. Géophys.*, 27, 67, 1971.
- MAYAUD P.N. — Recherche de l'effet McIntosh sur les indices AE et Dst, *Ann. Géophys.*, 27, 71, 1971.
- MAYAUD P.N. — The aa indices : a 100-Year series characterizing the magnetic activity, *J. Geophys. Res.*, 77, 6870, 1972.
- MAYAUD P.N. — A hundred year series of geomagnetic data, 1868-1967 : indices aa, storm sudden commencements, *LAGA Bulletin* n° 33, IUGG Publication Office, Paris, 1973.
- MAYAUD P.N. — Variation semi-annuelle de l'activité magnétique et vitesse de vent solaire, *C.R. Ac. Sci., Paris*, 278, B, 139, 1974.
- MAYAUD P.N. — Comment on "Semi-annual variation of geomagnetic activity" by C.T. RUSSEL and R.L. McPHERRON, *J. Geophys. Res.*, 79, 1131, 1974.
- MAYAUD P.N. — About the effects induced by the daily variation due to the equatorial electrojet, *Journ. Atm. Terr. Phys.*, 36, 1367, 1974.
- MAYAUD P.N. — Analysis of storm sudden commencements (s.s.c.) for the years 1868-1967, *J. Geophys. Res.*, 80, 111, 1975.
- MAZOIRES J., MENOR E.A., ROCHE A., SAUCIER H., SAUCIER M. (Mme) et SIAL A.N. — Etude paléomagnétique de laves de l'île Fernando de Noronha. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 273 D, 551, 1971.
- MEGIE G. et DE WITTE O. — Excitation d'une résonance atomique par laser fluorescent à fréquence accordable. *Rev. Phys. Appliquée*, 6, 341, 1971.
- MEUNIER J. et TOURNIER D. — Sondage électrique du manteau supérieur par dipôle équatorial sur le granite de Guéret. *Rev. de Géographie physique et de Géologie dynamique* (2), XIII, 293, 1971.
- MEYER P. and VERNET N. — Impedance of a short antenna in a warm magnetoplasma. *Radio Sci.*, 9, 409, 1974.
- MOGNARD N. — Etude d'un spectromètre d'ions énergétiques à double sélection embarquable en satellite. Thèse de spécialité, Toulouse, 1974.
- MOREELS G., VALLANCE JONES A. and BLAMONT J.E. — Balloon observations of the 8-6 OH band in the day and night airglow. *Planet. Space Sci.*, 21, 1945, 1973.
- MOREELS G., VALLANCE JONES and BLAMONT J.E. — A Balloon study of the OH airglow emission from evening twilight to sunrise, *Can. J. Phys.*, 51, 888, 1973.
- MOREELS G. — Etude de l'émission OH dans la haute atmosphère, Thèse d'Etat, Paris VI, 1973.
- MOREELS G., GATTINGER R.L. et VALLANCE JONES A. — Comments on the paper : Diurnal, Annual and Solar cycle variations of hydroxyl and sodium nightglow intensities in the Europe — Africa sector, *Planet. Space Sci.*, 22, 344, 1974.
- MOREELS G., VALLANCE-JONES and BLAMONT J.E. — An oxy-hydrogen mesospheric model and its application to the OH emission problem. *J. Geophys. Res.*, sous presse, 1975.
- MORRE-BIOT N., et ROCHE A. — Sur un essai de détermination de l'âge des formations volcaniques des sondages de Sarton et d'Orville (Pas-de-Calais) par les méthodes paléomagnétiques, *Bull. soc. Géol. Fr.* (7), XII, 180, 1970.
- MOSLEHI-FARD M. — Champ de réception des ondes TBF à bord des satellites Alouette 2 et ISIS-A. Etude des différents types de signaux reçus. Thèse de spécialité, Paris VI, 1974.
- MOSNIER J., YVETOT P. — Nouveau type de variomètre à aimant asservi, en direction. *Ann. Géophys.*, 28, 219, 1972.
- MOUSSAULT G.S. — Etude des perturbations d'impédance de l'antenne quadripolaire du FR 1, tenant compte du sillage, de la photoémission et du champ magnétique terrestre, Thèse de spécialité, Orsay, 1971.
- MUNAUT M. — Etude d'un nouveau type d'électrode impolarisable. Mesures des variations périodiques des champs électrique et tellurique. Dip. Ing. Geogh. Strasbourg, 1973.
- MUSE L. — A five-component magneto-telluric method in geothermal exploration: the M.T. -5-E.X., *Geothermics*, 2, 41, 1973.
- NADEAU A., GUYARD J., and FEIX M.R. — Algebraic numerical method for the slightly perturbed harmonic oscillator, *Mathematics of computation*, 28, 1, 1974.

- NAUDY H. — Automatic determination of depth on aeromagnetic profiles, *Geophysics*, 36, 717, 1971.
- NAVET M., and BERTRAND P. — Multiple water-bag model and Landau damping, *Physics Letters*, 34 A, 117, 1971.
- NAVET M. — Oscillations de plasma de spectre discret : modèle water-bag et ondes de Bernstein, Thèse de spécialité, Orléans, 1973.
- NAVET M., and FEIX M.R. — Temporal linear Bernstein echo., *Physics Letters* 45 A, 55, 1973.
- NICOLLET M., et BROCHE P. — Mesure du coefficient de recombinaison d'une traînée ionisée dans la haute atmosphère, *C.R. Acad. Sc. Paris*, 271 B, 1241, 1970.
- NIELSON D.L. and CROCHET M. — Ionospheric propagation of high and very high frequency radio waves across the geomagnetic equator. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 12, 688, 1974.
- ODERO D. — Possibilités d'utilisation d'une sonde quadripolaire dans la gamme 0-1000 Hz pour mesurer les fréquences de collision des particules chargées dans l'ionosphère. *Ann. Géophys.*, 28, 541, 1972.
- PELLAT R., SINGH R.P. et J. LAVERGNAT. — Effet du front d'un faisceau d'électrons sur l'émission Cerenkov cohérente, *C.R. Acad. Sc. Paris.*, 276 B, 685, 1973.
- PERNOT J.P. — Etude d'un programme de dépouillement simultané des données de deux radars météoriques. Diplôme d'ingénieur CNAM, 1972.
- PERRAUT S. — Détermination des paramètres magnétosphériques à partir de l'analyse des pulsations magnétiques rapides. Thèse d'Etat, Paris, 1974.
- PERRAUT S., and ROUX A. — Respective role of the cold and warm plasma densities on the generation mechanism of ULF waves in the magnetosphere, *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 37, 407, 1975.
- PERRAUT S., DAVOUST C. GENDRIN R. and ROUX A. — I.P.D.P.'s : a typical ULF manifestation of magnetospheric substorms, *J. Atmosph. Terr. Phys.*, (à paraître) 1975.
- PETIAU G. — Réalisation d'un magnétomètre à faisceau cathodique pour la mesure du champ magnétique terrestre. Diplôme d'ingénieur CNAM, Paris, 1973.
- PETIT M. — Cours ERICE, 1970, Thermodynamics of the Ionosphere, in *Upper Atm. Phys. Intern. School of Atm. Phys.*, 1970. Casa Editrice Compositori, 80-95, 1971.
- PETIT M. — Transient responses : Resonance spikes of topside sounders : Summary Report, *Radio Sci.*, 7, 791, 1972.
- PETIT M., BITOUN J., FELDSTEIN R., GRAFF P., et HIGEL B. — Ondes de plasma à vitesse de groupe faible, *Ann. Télécomm.*, 27, 417, 1972.
- PHAM-VAN-NGOC, et BOYER D. — Technique nouvelle de prospection magnétique de détail au sol par mesures continues du champ magnétique terrestre total, *C.R. Acad. Sc. Paris*, 270 B, 129, 1970.
- PHAM-VAN-NGOC, et BOYER D. — Evaluation directe des dérivées verticales du champ magnétique terrestre total à partir des enregistrements continus de ce champ suivant la verticale, *C.R. Acad. Sc. Paris*, 270 B, 562, 1970.
- PHAM-VAN-NGOC, et BOYER D. — Propriétés électriques des terrains profonds sous l'anomalie magnétique du Bassin Parisien, d'après un grand profil de sondages magnéto-telluriques, *C.R. Acad. Sc. Paris*, 279 D, 715, 1974.
- PINAUT Y. — Datation Potassium-Argon de phénomènes métamorphiques dans les Alpes Sud-occidentales. Technique et appareillage. Application. Dipl. Ing. Geoph., Strasbourg, 1974.
- PIRRE M. — Interprétation des mesures de particules faites à bord de fusées sondes pendant l'évènement du 28 janvier 1967. Thèse de spécialité, Orsay, 1972.
- PLESSARD C. — Modification des propriétés magnétiques, en particulier du traînage, après réchauffement d'une roche préalablement stabilisée thermiquement. *C.R. Acad. Sc., Paris*, 273 B, 97, 1971.
- POMMEREAU J.P. — Une démonstration expérimentale de la nature isentropique de l'écoulement dans la stratosphère inférieure. Thèse de spécialité, Paris VI, 1971.
- POTTELETTE, R. — Possibilités de mesurer la vitesse de circulation du plasma magnétosphérique à l'aide d'une sonde quadripolaire utilisée au voisinage de la fréquence hybride basse, *Ann. Géophys.*, 28, 257, 1972.
- POUCHAN P., et ROCHE A. — Etude paléomagnétique de formations volcaniques du Territoire des Afars et Issas. *C.R. Acad. Sc., Paris*, 272 D, 531, 1970.
- POZZI J.P. — Propriétés piézo-magnétiques du Sesquioxide de fer. Effet des recuits *Ann. Géophys.*, 28, 1, 1972.
- POZZI J.P. — Effets de pression en magnétisme des roches, Thèse d'Etat, Paris VI, 1973.
- POZZI J.P. — Magnetic properties of oceanic basalts. Effects of pressure and consequences for the interpretation of anomalies, *Earth and Plan. Sci. Let.*, sous presse, 1975.
- PREVOT M., et DALRYMPLE G.B. — Un bref épisode de polarité géomagnétique normale au cours de l'époque inverse Matuyama. *C.R. Acad. Sc. Paris.*, 271 D, 2 221, 1970.
- PREVOT M. — A method for identifying naturally occurring titanomagnetites. *Zeitsch. für Geophysik*, 37, 339, 1971.
- PREVOT M., et DALRYMPLE G.B. — Age potassium-argon et polarité magnétique de roches volcaniques mio-pliocènes du Velay (Massif Central, France). Essai de chronostratigraphie fine. *Ann. Géophys.*, 27, 423, 1971.
- PREVOT M., et POIX P. — Un calcul du paramètre cristallin des titanomagnétites oxydées. *J. Geomagn. Geoelectr.*, 23, 255, 1971.
- PREVOT M., et WATKINS M.D. — Sur la variation de l'intensité du champ magnétique terrestre pendant une période de transition de polarité *C.R. Acad. Sc. Paris.*, 276 D, 2 431 1973.
- PREVOT M. — Oxydation basse température des titanomagnétites et variation de l'intensité d'aimantation des basaltes océaniques au voisinage de l'axe de la dorsale médio-atlantique. *C.R. Acad. Sc. Paris.*, 277 D, 1 101, 1973.

- PREVOST M. et MERGOIL J. - Crystallization trend of titanomagnetites in an alkali basalt from Saint-Clément (Massif Central, France). *Mineral Mag.* 39, 474, 1973.
- PREVOT M. - Magnétisme et minéralogie magnétique de roches néogènes et quaternaires. Contribution au paléomagnétisme et à la géologie du Velay. Thèse d'Etat, Paris VI, 1975.
- RAIN A. - Contribution à l'étude des relations de la raie verte 5577 Å de la luminescence nocturne avec l'activité magnétique. Thèse de spécialité, Paris, 1972.
- RASPOPOV O., KOCHLEVSKY V., TROITSKAYA V., BARANSKY L., BELENKAYA B., ROQUET J., FAMBITAKOYE O. - Caractéristiques des spectres de pulsations du type Pi 2 suivant un profil méridien, *C.R. Acad. Sc. Paris*, 275 B, 465, 1972.
- REED E.I., FOWLER W.B., and BLAMONT J.E. - An atlas of low latitude 6300 Å (OI) night airglow from OGO-4 observations. *J. Geophys. Res.*, 78, 5658, 1973.
- REDDY C.A., and VASSEUR G. - Incoherent scatter observations of meridional winds in the 150-225 km region. *Space Research XII*, 951, 1972.
- REME H., and BOSQUED J.M. - Evidence near the auroral ionosphere of a parallel electric field deduced from energy and angular distributions of low-energy particles. *J. Geophys. Res.* 76, 7683, 1971.
- REME H., and BOSQUED J.M. - Parallel electric field near the auroral ionosphere deduced from energy spectra, angular distributions and time variations of low energy auroral electrons and protons, in "Wave Particle Interactions in the Magnetosphere"; rapport ESRO, SP-72, 197, 1971.
- REME H., and BOSQUED J.M. - Rocket observations of electron precipitation in a Westward-traveling surge. *J. Geophys. Res.*, 78, 5553, 1973.
- RENARD C., et R. DEBRIE. - Mesures de l'impédance d'une sonde quadripolaire à haute fréquence, *C.R. Acad. Sc. Paris*, 270 B, 649-652, 1970.
- RENARD, C. - A new device for continuous recording of the plasma frequency, *ELDO/ESRO Scientific and Technical Review*, 4, 309, 1972.
- RENARD C. - Transmission between two whip antennae in a warm plasma, *Plasma Phys.*, 14, 91, 1972.
- REVAH I. - Partial reflections of gravity waves observed by means of a meteoric radar. *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 32, 1313, 1970.
- RIGAUD P. - Description d'un photomètre embarquable à bord d'une nacelle stratosphérique pour la mesure de la variation de l'ozone crépusculaire. *Pageoph.*, 106, 1219, 1973.
- RIGAUD P. et SEGUIN J.P. - Photomètre stellaire embarquable. *Mesures*, 38, 97, mai 1973.
- RIGAUD P. - Mesure de la variation de l'ozone crépusculaire au moyen d'un photomètre stellaire embarqué à bord d'une nacelle stratosphérique Thèse d'Etat, Paris, 1973.
- RIGAUD P. - Photodissociation de l'ozone au moment de lever du Soleil, entre 40 et 65 km d'altitude. *Ann. Geophys.* 30, 319, 1974.
- ROCROI J.P. - Contribution à l'étude de l'équivalence en prospection électrique (courant continu et magnéto tellurique), *Geoph. Prospecting*, sous presse, 1975.
- RISBETH H., BAUER P., and HANSON W.B. - Molecular ions in the F2 layer. *Planet Space Sci.*, 20, 1287, 1972.
- ROBLEY R. - Variation annuelle des luminances de l'émission continue atmosphérique et de la lumière zodiacale au pôle céleste. *Ann. Géophys.*, 29, 321, 1973.
- ROBLEY R. - Variation de la luminance de la lumière zodiacale dans la direction antisolaire, *C.R. Acad. Sc. Paris*, 278 B, 671, 1974.
- ROBLEY R. - Variations saisonnières et undécennales de la luminance du continuum émis dans la haute atmosphère, dans la région spectrale 4600 - 5300 Å, *Ann. Géoph.*, 30, 339, 1974.
- ROCHE A. - Progrès récents en Paléomagnétisme. (Structure et Dynamique de la Lithosphère. Hermann 1972).
- ROCHE A., et WESTPHAL M. - Paléomagnétisme de l'Europe et de l'Afrique comme jalon de la formation du Golfe de Gascogne (Histoire Structurale du Golfe de Gascogne, Technip. 1972). II-3.
- ROEHNER B. - Détermination explicite de la direction de phase stationnaire lors de la transmission d'une onde électromagnétique d'un milieu isotrope absorbant à un autre. *Ann. Géophys.*, 27, 463, 1971.
- ROQUET J., GOUIN P. - Equatorial microstructure of the magnetic storm of 13-14 January, 1967, *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 34, 465, 1972.
- ROQUET J. - Etude des variations géomagnétiques UBF en liaison avec l'électrojet équatorial (Campagne magnétique Tchad - République Centrafricaine), *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 35, 1159, 1973.
- ROULLET G., - Etude du bruit intrinsèque des sondes à noyaux perméables utilisées dans l'enregistrement des variations géomagnétiques rapides. Thèse de spécialité, Paris VI, 1972.
- ROOY B., FEIX M.R. et L.R.O. STOREY. - Théorie de la sonde quadripolaire en plasma chaud isotrope, *Plasma Phys.*, 14, 275, 1972.
- ROUX A., and J. SOLOMON. - Self-consistent solution of the quasi-linear theory: application to the spectral shape and intensity of waves in the magnetosphere, *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 33, 1457, 1971.
- ROUX A., R. GENDRIN, N. WEHRLIN, R. PELLAT and R. WELTI. - Fine structure of Pc1 pulsations, 2. Theoretical interpretation, *J. Geophys. Res.*, 78, 3176, 1973.
- ROUX A. - Monochromatic waves and inhomogeneity effects, in "Magnetospheric Physics", Ed. B.M. McCORMAC, D. Reidel, 297, 1974.
- SAGBOHAN W. - Contribution à la géologie du Dahomey par l'utilisation des mesures gravimétriques et magnétiques. Thèse de spécialité, Strasbourg, 1972.
- SAINT-MARC A. - Etude de la propagation du rayonnement X à travers l'atmosphère. Application à la spectrométrie du rayonnement X auroral. *Ann. Géophys.*, 29, 515, 1973.

- SAINT-MARC A. - Etude de la propagation du rayonnement des photons X à travers l'atmosphère. Application à la spectrométrie du rayonnement X auroral. Thèse de spécialité, Toulouse, 1973.
- SAUVAUD J.A. - Caractéristiques de la composante protonique des précipitations aurorales (Satellite AUREOLE D), Thèse de spécialité, Toulouse, 1974.
- SCHLICH R., GADAT F. et SEGOUFIN J. - 1970. Magnétogrammes La Cour. Port-aux-Français (Kerguelen), 1964. Publication C.N.F.R.A., volume 28, 1971.
- SCHLICH R. et PATRIAT P. - Mise en évidence d'anomalies magnétiques axiales sur la branche Ouest de la dorsale médio-indienne. *C.R. Acad. Sci.*, 272 D, 700, 1971.
- SCHLICH R., et PATRIAT P. - Anomalies magnétiques de la branche Est de la dorsale médio-indienne entre les Iles Amsterdam et Kerguelen, *C.R. Acad. Sci.* 272 B, 773, 1971.
- SCHLICH R., DELTEIL J.R., MOULIN J., PATRIAT P. et GUILLAUME R. - Mise en évidence d'une sédimentation de marge continentale sur le plateau de Kerguelen-Heard. *C.R. Acad. Sci.*, 272 D, 2060, 1971.
- SCHLICH R., AUBERTIN F., DELTEIL J.R., LECLAIRE L., MAGNIER P., MONTADERT L., PATRIAT P. et VALERY P. - Données nouvelles sur le substratum du Bassin de Somalie à partir d'un profil de sismique réflexion. *C.R. Acad. Sc. Paris.*, 2750, 1331, 1972.
- SCHLICH R. - 1974. Sea floor spreading history and deep-sea drilling results in the Madagascar and Mascarene Basins, western Indian Ocean. Dans "Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project" Vol. 25 : Washington (U.S. Government Printing Office), p. 663-678, 1974.
- SCHLICH R. - 1974. Appendix I. Bathymetric, magnetic and seismic reflection data, Deep Sea Drilling Project, Leg 25. Dans "Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project", vol. 25 : Washington (U.S. Government Printing Office) p. 763-829, 1974.
- SCHLICH R. et FONDEUR C. - Anomalies magnétiques crétacées dans le bassin des Mascareignes (Océan Indien). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 278 B, 541, 1974.
- SCHLICH R., SIMPSON E.S.W. et VALLIER T.L. - 1974a. Introduction. Dans "Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project", Vol. 25 : Washington (U.S. Government Printing Office), p. 5-23, 1974.
- SCHLICH R., SIMPSON E.S.W., VALLIER T.L. - 1974b. Regional aspects of deep sea drilling in the western Indian Ocean, Leg 25, D.S.D.P. Dans "Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project", Vol. 25 : Washington (U.S. Government Printing Office), p. 743-759, 1974.
- SCHLICH R., SIMPSON E.S.W., GIESKES J., GIRDLEY A., LECLAIRE L., VAUGHN M., MOORE C., MULLER C., SIGAL J., VALLIER T., WHITE S., ZOBEL B. - Sites 239 à 241, sites 245 à 248. Dans "Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project", Vol. 25 : Washington (U.S. Government Printing Office), 1974, p. 25-138, pp. 187-286, 1974.
- SCHLICH R. - Structure et âge de l'Océan Indien Occidental. Thèse d'Etat, Paris VI, 1974.
- SCHUSTER J.M. - Sur une méthode d'interprétation des anomalies magnétiques et gravimétriques. Thèse de Docteur-Ingénieur, Strasbourg, 1974.
- SCIALOM G. - Mesure de composition dans la thermosphère par spectrométrie de masse en fusée-sonde. Application à l'étude des équilibres photochimiques dans la région F1 de l'ionosphère, Thèse de Spécialité, Orsay, 1973.
- SCIALOM G. - Neutral composition in the lower thermosphère, *Radio Sci.*, 9, 253, 1974.
- SEGOUFIN J. - Cartographie magnétique du plateau continental armoricain. Thèse de Spécialité, Paris VI, 1973.
- SELZER E. - Variations rapides du champ magnétique terrestre, *Handbuch der Physik*, Vol. 49/IV, 231, Springer Verlag, Edit. K. RAWER, 1972.
- SICHLER B. - Conception et réalisation d'un thermo-inductomètre à champ faible. Dipl. Ing.-Géophys. Strasbourg, 1972.
- SIMPSON E., SCHLICH R. et al., Leg 25, D.S.D.P., Western Indian Ocean. *Geotimes*, 17, 21, 1972.
- SIMPSON E.S.W., SCHLICH R., GIESKES J., GIRDLEY A., LECLAIRE L., VAUGHN M., MOORE C., MULLER C., SIGAL J., VALLIER T., WHITE S., ZOBEL B. - 1974a. Sites 242 à 244, site 249. Dans "Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project", Vol. 25, p. 139-186, p. 287-346, Washington (U.S. Government Printing Office), 1974.
- SINGH N. and GOULD R.W. - Radiation from a short electric dipole in a hot uniaxial plasma, *Radio Sci.*, 6, 1151, 1971.
- SINGH N. - Impedance of a short cylindrical dipole antenna in a hot uniaxial plasma, *Radio Sci.*, 8, 493, 1973.
- SINGH R.P. - Amplification of signal by Cerenkov resonance interaction. *Planet. Space Sci.*, 20, 2073, 1972.
- SINGH R.P. - Cerenkov-cyclotron power generated in the magnetosphere by natural and artificial injection of electron beams, *Ann. Géophys.*, 29, 227, 1973.
- SIX M. - Périodes de résonance des lignes de force dans le mode guidé, pour un modèle simple de magnétosphère. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 280 B, 21, 1975.
- SMITH B. - Sur les propriétés magnétiques d'un filon basaltique à auréoles concentriques de refroidissement. Thèse de Spécialité, Paris VI, 1974.
- SOLOMON J. - Drift of particles and wave-particle interactions. In "The Magnetosphere of the Earth and Jupiter" ed. by V. FORMISAMO, D. REIDEL, 153-159, 1975.
- SPIZZICHINO A. - Meteor trail radar winds over Europe. In "Thermospheric circulation", edited by Webb (Progress in Astronautics, 27), 117, MIT Press, 1972.
- STOREY L.R.O. et ROEHLER B. - La direction de phase stationnaire dans un milieu absorbant, *C.R. Acad. Sc. Paris*, 270 B, 301, 1970.

- STOREY L.R.O. et CHAULIAGUET C. - La double sonde à microchamp, *C.R. Acad. Sc. Paris*, 272 B, 1496, 1971.
- STOREY L.R.O. et POTTELETTE R. - Possibilités d'utiliser la sonde quadripolaire pour la mesure de courants électriques dans la magnétosphère, *C.R. Acad. Sc. Paris*, 273 B, 101, 1971.
- STOREY L.R.O. - The model medium concept as a basis for geometric optics. Max Plank Institut für Physik and Astrophysik, München, Report n° MPI.PAE/ Extraterr. 60, 1972.
- STOREY L.R.O. et MALINGRE M. - Influence des gradients horizontaux de densité électronique associés à la dépression de moyenne latitude sur la propagation des ondes de très basse fréquence, *C.R. Acad. Sc. Paris*, 274 B, 97-100, 1972.
- STOREY L.R.O. - Physics of the ionosphere, Spacelab programme, E.S.R.O. report n° OSP/45, 144, 1973.
- STOREY L.R.O. and BERTOTTI B. - Plasma physics, Spacelab Programme, E.S.R.O. report n° OSP/45, 181, 1973.
- STOREY L.R.O. and EGIDE A. - Physics of the magnetosphere, Spacelab Programme, E.S.R.O. Report n° OSP/45, 163, 1973.
- STOREY L.R.O. and LEFEUVRE F. - Theory for the interpretation of measurements of the six components of a random electromagnetic wave field in space, *Space Research XIV*, 381, 1974.
- STROBEL D.F., YOUNG T.R., MEIER R.R., COFFEY T.P. and ALI A.W. - The Nighttime Ionosphere : E Region and Lower F Region, *Jour. Geophys. Res.*, 79, 3171, 1974.
- SUCHY K. - The velocity of a wave packet in an anisotropic absorbing medium. *J. Plasma Phys.*, 8, 33, 1972.
- SUCHY K. - Ray tracing in an anisotropic absorbing medium. *J. Plasma Phys.*, 8, 53, 1972.
- SUCHY K. - Attenuation of waves in plasmas. *Radio Sci.*, 7, 871, 1972.
- SWIDER W.E. - Region model parameters, *Journ. Atmosph. Terr. Phys.*, 34, 1615, 1972.
- SYLVAIN M. - Etude du phénomène Lacune-F à la station Dumont d'Urville. Thèse de Spécialité 1972.
- SYLVAIN M., ROUX D., BERTHELIER A., GUERIN C. and MOZER F.S. - Simultaneous observations of motion of large scale electron density irregularities and of ionospheric electric field near the polar border of the Southern Auroral Zone. A paraître dans *Space Research XV*, 1975.
- TABARIE N. - Distribution of Hydrogen and its Lyman-Alpha intensity in the atmosphere of Titan. *Icarus*, 23, 363, 1974.
- TABBAGH J. - Etude des vents ionosphériques à l'équateur magnétique par la méthode des évanouissements similaires. Thèse de Spécialité, Paris, 1972.
- TAIEB C., SCIALOM G. and KOCKARTS G. - Daytime valley in the F1 region observed by incoherent scatter, *Planet. Space Sci.*, 23, 523, 1975.
- TAKTAK G. - Contribution à l'étude magnétique et radiogéologique des Vosges Septentrionales et de la Plaine d'Alsace, Thèse d'Université, Strasbourg 1971.
- TAKTAK G. et LAUER J.P. - Les apports de la géophysique à la connaissance des Vosges, *Sc. Géol. Bull.* 25, 21, Strasbourg, 1972.
- TANGUY J.C. - Mt Etna volcanic activity - Event card n° 1215, Center for Short-lived Phenomena Smithsonian Institution, Cambridge Mass., 21 mai 1971.
- TANGUY J.C. et POZZI J.P. - Etude archéomagnétique dans l'île d'Ischia (Italie) : la direction d'aimantation des laves de l'Arso (éruption de 1301). *C.R. Acad. Sc. Paris*, 274 D, 352, 1972.
- TANGUY J.C. - The 1971 Etna eruption : petrography of the lavas. *Phil. Trans. Royal Soc. London*, A 274, 45, 1973.
- TEITELBAUM H. - La polarisation des marées et des ondes de gravité, *Space Res.*, XIII, 217, 1973.
- TEITELBAUM H. - La polarisation des marées et des ondes de gravité dans la haute atmosphère. Thèse d'Etat, Paris, 1973.
- TESTUD J. - Gravity waves generated during magnetic substorms, *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 32, 1793, 1970.
- TESTUD J. and FRANCOIS P. - Importance of the diffusion processes in the neutral wave - ionisation interaction, *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 33, 765, 1971.
- TESTUD J. - Interaction between gravity waves and ionization in the ionospheric F region, *Space Res.*, XII, 1163, 1972.
- TESTUD J. - Waves and tides and their observation from ground and space, *Space Res.*, XIII, 393, 1973.
- TESTUD J. - Ondes atmosphériques de grande échelle et sous-orages magnétiques, Thèse d'Etat, Paris VI, 1973.
- TESTUD J., AMAYENC P. and BLANC M. - Middle and low latitude effects of auroral disturbances from incoherent scatter observations, *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 37, 989, 1975.
- THIEL J., CORY H., VIGNERON J. and BERCY C. - Propagation study of VLF waves in the Earth-ionosphere wave-guide using receivers aboard a balloon and on the ground. *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 35, 1539, 1973.
- THOMAS R. - Contribution à l'étude de la composition ionique des plasmas par spectrométrie de masse. Thèse Docteur-Ingénieur, Orléans, 1972.
- THOMAS R., DELFAU J.L., VACHER J.R. et BARASSIN A. - Spectromètre de masse à analyseur magnétique pour l'étude des plasmas de faible densité. *J. of Physics E Sci. Instr.*, 6, 875, 1973.
- THUILLIER G. - Vertical red line 6300 Å distribution and tropical nightglow morphology in quiet magnetic condition, *Physics & Chemistry of Upper Atmosphere*, Ed. B.M. McCORMAC, D. REIDEL, 1973.

- THUILLIER G. — Explication de l'émission tropicale de l'oxygène atomique λ 6300 Å : Mesures et théorie, Thèse d'Etat, Paris, 1973.
- THUILLIER G., BLAMONT J.E. and LEJEUNE G. — Experimental evidences of the mechanism of the predawn enhancement of the $O^+ D$ emission, A paraître, *Planet. Space Sci.*, 1975.
- THUILLIER G. and KING J.W. — The longitudinal structure of the tropical 6300 Å emission, *J. Atm. Terr. Phys.*, sous presse, 1975.
- TIXIER M. — Contribution à l'étude de la propagation des ondes radioélectriques de très basse fréquence rayonnées par l'éclair, Thèse d'Etat, Poitiers, 1975.
- TREILHOU J.P., GASSET C. and ZHULIN I. — Subauroral X-rays and conjugate electrojets, *Space Research XIII*, 519, 1973.
- VALOT P. — Differential energy spectrum of geomagnetically trapped protons with the ESRO 2 Satellite, *J. Geophys. Res.* 77, 2309, 1972.
- VALOT P. — The response of coaxial directors to anisotropic fluxes, *Nucl. Instr. and Meth.*, 108, 81, 1973.
- VALOT P. et ENGELMANN J. — Pitch angle distribution of geomagnetically trapped protons for $1.2 < L < 2.1$. *Space Res.* XIII, 675, 1973.
- VAPILLON L., COMBES M., LECACHEUX J. — The β Scorpii Occultation by Jupiter. II. The temperature and density profiles of the Jovian upper atmosphere. *Astr. and Astrophys.*, 29, 135, 1973.
- VASSAL J. — Etude de certains phénomènes d'absorption ionosphérique anormale détectée à l'aide de riomètres à la Station Dumont d'Urville. Thèse de Spécialité, Paris, 1971.
- VASSEUR G. — La dynamique de l'atmosphère neutre et ionisée au-dessus de 200 km. Etude par diffusion incohérente. Thèse d'Etat, Paris, 1971.
- VASSEUR G., REDDY C.A. and TESTUD J. — Observations of waves and travelling disturbances. *Space Res.*, XII, 1109, 1972.
- VIDAL-MADJAR A., BLAMONT J.E. and PHISSAMAY B. — Solar Lyman Alpha Changes and related Hydrogen Density Distribution at the Earth's Exobase (1969-1970), *J. Geophys. Res.*, 78, 1115, 1973.
- VIGNERESSE J.L. — Etude aéromagnétique de la chaîne des Puys. Traitement des données et interprétation. Dipl. Ing.-Géophys. Strasbourg, 1972.
- VIGNERON J. — Contribution à l'étude des conditions de génération et de propagation des phénomènes T.B.F. dans la magnétosphère terrestre. Thèse d'Etat, Paris VII, 1972.
- VILA P. — Intertropical F2 ionization during June and July 1966. *Radio Sci.*, 6, 689, 1971.
- VILA P. — New dynamic aspects of intertropical F2 ionization. *Radio Sci.*, 6, 945, 1971.
- VIOLAT C., DALY L. — Anisotropie provoquée sur des roches volcaniques par action d'un champ alternatif. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 273 B, 158, 1971.
- VIOLAT C. — Contribution à l'étude de l'anisotropie des roches volcaniques. Thèse de spécialité, Paris, 1972.
- WALDTEUFEL P. — Semi-empirical, relationships between electron temperature and density in the ionospheric F-region. *Ann. Géophys.*, 27, 167, 1971.
- WALDTEUFEL P. and COGGER L. — Measurements of the neutral temperature at Arecibo. *J. Geophys. Res.*, 76, 5322, 1971.
- WALDTEUFEL P. — Exospheric temperatures from rockets and incoherent-scatter measurements. *J. Geophys. Res.*, 76, 6990, 1971.
- WALDTEUFEL P. — Combined incoherent scatter F1 region observations. *J. Geophys. Res.*, 76, 6995, 1971.
- WALDTEUFEL P., BAUER P. and Mc CLURE J.P. — Structure of the thermosphere as inferred from incoherent scatter measurements. in *Space Res.*, XII, 899, 1972.
- WEBER C. — Le socle antétriasique sous la partie sud du bassin de Paris d'après les données géophysiques. Thèse d'Etat, Paris VI, 1972.
- WEHRLIN N. — Structure fine des oscillations en "perles". Mise en évidence expérimentale et essais d'interprétation théorique. Thèse de Spécialité, Paris, 1972.
- WEHRLIN N., GENDRIN R., ROUX A. and WELTI R. — Fine structure of Pc1 pulsations. 1. Experimental evidence. *J. Geoph. Res.*, 78, 763, 1973.
- WELTI R., PELLAT R. and ROUX A. — Contribution à l'étude des interactions entre ondes monochromatiques et particules en milieu inhomogène, *Ann. Géophys.*, 29, 263, 1973.
- WESTPHAL M. — Etudes paléomagnétiques de quelques formations permienues et triasiques dans les Alpes occidentales (France) *Tectonophysics*, 17, 323, 1973.
- WESTPHAL M., BARDON CL., BOSSERT A. and HAMZEH R. — A computer fit of Corsica and Sardinia against southern France. *Earth. Planet. Sci. Letters*, 18, 137, 1974.
- WHARTON A., TAIEB C. and BAUER P. — Effects of conjugate point sunrise in the topside ionosphere deduced from Alouette I records. *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 33, 985, 1971.
- WIENS R.H. and WEILL G. — Diurnal, annual and solar cycle variations of hydroxyl and sodium nightglow intensities in the Europe — Africa sector. *Planet. Space Sci.*, 21, 1011, 1973.
- WILHELM K., KREMSEER G., MÜNCH J., SCHNELL M., LEGRAND J.P., PETROU N. and RIEDLER W. — Measurements of energetic particle fluxes during a slowly varying absorption event by two co-ordinated rocket flights. *Space Res.* XII, 1437, 1972.
- WOLEJSZO J. — Réorientation par une méthode magnétique, d'échantillons de roches sédimentaires du Bassin d'Hassi Messaoud. Thèse de spécialité, Paris, 1971.
- WOLEJSZO J., SCHLICH R. et SEGOUFIN J. — 1974. Paleomagnetic studies of basalt samples, Deep Sea Drilling Project, Vol. 25 : Washington (U.S. Government Printing Office), p. 555-572. 1974.

WORMSER F. - "Diffusion des photoélectrons dans la magnétosphère". Thèse de spécialité, Paris VII, 1973.

YAKIMENKO V.L., FEYGUIN F.Z., GOKHBERG M.B., TROITSKAYA V.A., GENDRIN R., LACOURLY S. and ROUX A. - The determination of some magnetospheric parameters based on data from ground observations of Pc-1 type micropulsations. *Ann. Géophys.*, 26, 383, 1970.

ZHULINA M., DRIATSKIY V.M., SHCHUKA T.I., ZHULIN I.A., CAMBOU F., SAINT-MARC - Dynamics of auroral particle injection during substorms. *Geomagnetism and Aeronomy*, XII, 212, 1972.

SECTION V
MÉTÉOROLOGIE ET PHYSIQUE
DE L'ATMOSPHERE

TABLE DES MATIERES

	Pages
I – Physique des phénomènes convectifs et turbulents dans la basse atmosphère R.G. SOULAGE	143 3
II – Détermination de la couverture nuageuse et de la température superficielle à petite échelle à partir des mesures de satellites NOAA C. PASTRE	150 10
III – Physico-chimie de la basse atmosphère J. FONTAN, G. LAMBERT	151 11
IV – Météorologie de la neige F. DELSOL	154 14
V – Recherches associées à la télédétection des précipitations par radar G. FROMENT, S. GODARD, P. WALDTEUFEL	156 16
VI – Le système VIZIR R. LASBLEIZ	160 20
VII – Simulation numérique des circulations atmosphériques et modèles de prévision D. ROUSSEAU	163 23
VIII – Théorie de la turbulence et couche limite J.C. ANDRE	166 26

I – PHYSIQUE DES PHENOMENES CONVECTIFS ET TURBULENTS DANS LA BASSE ATMOSPHERE

R.G. SOULAGE

Professeur à l'Université de Clermont-Ferrand
B.P. 45 - 63170 Aubière

La France a développé de 1971 à 1974, à travers son VI^e Plan Recherche, les études qu'elle avait initiées pendant la période précédente sur la dynamique de la basse atmosphère à l'échelle aérologique.

Ces études ont porté sur l'évaluation quantitative et la détermination des mécanismes des transferts de quantité de mouvement, chaleur sensible, chaleur latente, matière dans la couche limite de surface, la couche limite planétaire et l'atmosphère libre. Elles ont concerné la structure thermodynamique et dynamique de chaque couche, la formation et l'érection de nuage en leur sein, la constitution de ces nuages et le développement de leurs précipitations.

Les travaux correspondants ont été menés dans le cadre de l'Opération "Convection Atmosphérique" et l'Opération "Couche limite Planétaire", animées et supportées par la D.G.R.S.T., le C.N.R.S., l'I.N.A.G. et la D.R.M.E. (1).

Ils ont associé des laboratoires du C.N.R.S., de l'Université, de la Météorologie Nationale, du C.N.E.T., de l'E.D.F. et de l'I.N.R.A. (1).

On peut distinguer des développements techniques communs à la plupart des études et des recherches propres à chacun des trois grands domaines de la basse atmosphère : la couche limite de surface, la couche limite planétaire, l'atmosphère libre.

TRAVAUX TECHNIQUES

Un effort particulier a porté sur le développement de moyens nouveaux pour appréhender "in situ" les paramètres qui gouvernent les différents phénomènes.

Un aérocommander de l'I.G.N. (1) a été instrumenté par une équipe de l'I.N.A.G. (RAVAUT) pour la mesure fine de la température, de la pression, de l'humidité, des trois composantes du vent. Dans ce but, l'avion a été équipé d'une perche de mesure dotée de girouettes d'incidence et de dérapage et des principaux capteurs, d'une centrale à inertie, d'un radar doppler de navigation, d'un hygromètre Lyman alpha, . . . , le tout raccordé à des dispositifs d'acquisition de données de types divers (graphiques, photographiques, magnétiques, analogiques et numériques). L'équipe de l'avion s'est attachée, avec le laboratoire de

G.J. Notes de la p.254 à 298

- (1) D.G.R.S.T. : Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique,
- C.N.R.S. : Centre National de la Recherche Scientifique,
- I.N.A.G. : Institut National d'Astronomie et de Géophysique,
- D.R.M.E. : Direction des Recherches et Moyens d'Etudes,
- C.N.E.T. : Centre National d'Etudes des Télécommunications,
- E.D.F. : Electricité de France,
- I.N.R.A. : Institut National de Recherches Agronomiques.
- I.G.N. : Institut Géographique National,

Dynamique et Microphysique de l'Atmosphère (L.D.M.A.) de Clermont-Ferrand (ISAKA et collaborateurs, 1975), à refaire la physique des différentes mesures et à mettre au point des procédures de vol et des méthodes de traitement des données permettant d'obtenir les paramètres thermodynamiques et dynamiques de l'atmosphère avec une résolution spatiale de 10 m.

Un DC7 des Armées, déjà équipé pour des mesures météorologiques classiques, a été doté d'équipements supplémentaires en vue des opérations ci-dessus (RAMOND, GAYET, 1974). Actuellement, l'avion est équipé de senseurs de température, pression et humidité, d'une plate-forme inertielle et d'un radar doppler de navigation permettant de restituer le vent le long de la trajectoire, d'un radar météorologique 3 cm, des trois capteurs de spectres dimensionnels de gouttes de nuage de Knollenberg (couvrant la gamme 0,5-4500 μ), d'un capteur de teneur en eau totale de Ruskin, de caméras pour la photogrammétrie de nuages, de divers radiomètres, de dispositifs d'éjection de dropsondes, ... Il constitue un outil majeur pour l'étude des atmosphères interne et externe des nuages convectifs profonds, ainsi que pour l'étude des phénomènes de couche limite océanique sur de très longues distances.

Les deux avions ci-dessus s'ajoutent à un CESSNA 260 du C.A.E.M. (1), équipé pour la mesure des paramètres thermodynamiques, dont la discipline disposait déjà au cours de la période précédente.

A côté de ces avions, la discipline s'est dotée de nombreux moyens mobiles de mesures terrestres (unités de radiosondage, unités de photogrammétrie de nuages, pylônes instrumentés, ballons captifs, radars, sodars, ...).

Dans le domaine des mesures indirectes, l'I.O.P.G. a amélioré un radar 10 cm pour l'étude des trajectoires d'orages et la mesure de la réflectivité de leurs précipitations en le dotant d'un dispositif d'acquisition de données digital (GODARD). Le même laboratoire a amélioré la résolution d'un radar 0,86 cm en lui adjoignant un système de traitement de signal à intégrateur multivoies qui permet un gain de la sensibilité, de la capacité d'analyse et de la résolution (SAUVAGEOT, 1972); la Météorologie Nationale s'est intéressée aux possibilités de mesures de l'intensité de la pluie au moyen d'un radar 10 cm (radar Mélodi) à haute résolution; le C.N.E.T. a construit 2 radars doppler 5 cm pour l'étude des champs de vent à l'intérieur des nuages de convection profonde. L'I.O.P.G., le C.N.E.T. (AUBRY, DUBOSCLARD, SPIZZICHINO, 1974) ont construit plusieurs sodars pouvant fonctionner soit en monostatique, soit en multistatique, pour l'étude de la structure des très basses couches de l'atmosphère. Le laboratoire d'Optique Atmosphérique de Lille a développé des radiomètres et des méthodes d'inversion de l'équation de transfert pour retrouver les profils verticaux de température et d'humidité au moyen de mesures radiométriques à bord d'avions ou de satellites (cf. Rapports séparés).

Enfin, la Météorologie Nationale et le C.N.E.S. continuent à développer la technique d'un ballon captif capable d'atteindre la stratosphère et d'y séjourner pour y observer l'organisation de la convection atmosphérique et pour effectuer différentes mesures du rayonnement terrestre (projet ESSOR: VILLEVIEILLE, 1971). Le L.M.D. (1) et le C.N.E.S. (1) poursuivent l'étude de ballons plafonnant à bas niveaux pour évaluer les forces de frottement dans la couche limite planétaire (MOREL).

ETUDE DE LA COUCHE LIMITE DE SURFACE

Des problèmes de turbulence à petite échelle et de diffusion de polluants au voisinage de pistes d'atterrissage d'avions ont été étudiés à l'occasion de la construction, puis de la

(1) C.A.E.M. : Centre Aérien d'Etudes Météorologiques.

I.O.P.G. : Institut et Observatoire de Physique du Globe du Puy de Dôme,

L.M.D. : Laboratoire de Météorologie Dynamique,

C.N.E.S. : Centre National d'Etudes Spatiales.

mise en service, d'un nouvel aéroport à Paris (Aéroport Charles de Gaulle à Roissy). DRUILHET (1973) a utilisé dans ce but la diffusion du thoron émis localement par le sol, en complément à des mesures thermodynamiques et dynamiques directes effectuées par SAISSAC (1970) au moyen d'un pylône instrumenté. Les caractéristiques de l'émission du thoron par le sol en fonction des conditions météorologiques et les coefficients de diffusivité ont pu être précisées.

L'I.N.R.A. (DAMANEZ, PERRIER, ITIER), en collaboration avec DRUILHET et GUEDALIA (1974, 1975), ont étudié les transferts de quantités de mouvement, de chaleur sensible et d'humidité dans différents tapis végétaux, en utilisant soit des traceurs radioactifs, soit des mesures directes des paramètres thermodynamiques et dynamiques.

Les échanges entre un lac et l'atmosphère ont été étudiés dans le but de prévoir l'évaporation et le refroidissement de bassins de réfrigération de centrales électriques et dans le but plus général de préciser le couplage eau-atmosphère et les échanges à leur interface. Les études ont été menées et continuent à être menées par le L.D.M.A. (BOUTIN, 1974), en collaboration avec l'E.D.F. La méthode des fluctuations est substituée à la méthode des profils, trop imprécise dans beaucoup de cas pour déterminer les flux. D'autre part, on a mis au point un dispositif de mesures saisonnières pour obtenir le bilan de masse et d'énergie à une grande échelle de temps.

ETUDE DE LA COUCHE LIMITE PLANETAIRE

Plusieurs approches ont été retenues pour résoudre les problèmes que posent les échanges dans la couche limite planétaire et la genèse de nuages à sa partie supérieure. L'approche théorique, à travers une modélisation numérique des phénomènes est décrite dans un rapport séparé. Nous traitons ici l'approche expérimentale et physique.

Le Laboratoire de Physique des Aérosols et Echanges Atmosphériques de Toulouse a choisi d'utiliser des mesures avec des traceurs radioactifs (radon (BIROH, 1971), thorium B (GUADALIA, 1974, 1975)— pour évaluer des coefficients d'échange moyens en fonction des conditions météorologiques et évaluer les transferts de matière (vapeur d'eau en particulier) entre la couche limite planétaire et l'atmosphère libre. Ces coefficients varient de $200 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ à $10^{-1} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Leur valeur paraît liée au nombre de Richardson dans le cas d'une couche stable.

Le même laboratoire (DRUILHET, GUADALIA, FONTAN, 1973, 1974, 1975), en collaboration avec J. SAISSAC, effectue une étude statistique des échanges à différents niveaux de la couche limite planétaire soit à partir de radiosondages bi-journaliers de la Météorologie, soit à partir de mesures systématiques effectués avec l'avion Aérocommander décrit plus haut.

L'approche retenue par ISAKA, ROSSET, MASCART, GUILLEMET au L.D.M.A. (1973, 1974) pour étudier des problèmes d'échanges et de structure de la basse atmosphère est différente. Elle consiste en une étude précise de différents cas de convection claire ou peu nuageuse pour en préciser les mécanismes et évaluer les effets. Ces cas ont fait l'objet de mesures avec les avions et les matériels terrestres décrits plus haut. Les principaux résultats concernent la mise en évidence d'un front convectif à la discontinuité entre couche convective inférieure et couche stable supérieure, la découverte d'une montée en saut de ce front convectif au gré de l'érosion successive des feuillets thermodynamiques de la couche stable par des ondes de gravité, l'interprétation physique des phénomènes par une croissance de l'amplitude de ces ondes jusqu'à leur déferlement et leur résolution en turbulence de petite échelle, la modélisation numérique du phénomène, l'évaluation des flux de chaleur et de vapeur d'eau au niveau du front convectif, l'observation d'une intermittence de ces flux et d'un flux négatif au niveau du front convectif au moment de son saut, enfin la modification des flux lorsque des nuages apparaissent. RAMOND et LANQUETTE (1972, 1973) ont de leur côté observé le rôle des phénomènes d'onde (ondes de gravité, ondes de Kelvin-Helmoltz) dans la génération et l'organisation des cumulus soit parallèlement au vent,

soit perpendiculairement au vent, le rôle pilote de nuages leaders dans les organisations parallèles au vent, le déplacement des nuages dans la masse d'air qui les porte, variable suivant que les nuages sont en phase de croissance ou en phase de décroissance, . . .

Des études semblables ont été effectuées par une équipe de l'E.E.R.M. (LEBERRE, GOUTORBE), et plus récemment, par une équipe de l'I.O.P.G. (DUBOSCLARD, 1971) et du C.N.E.T. (SPIZZICHINO, AUBRY, 1974). Cette dernière équipe a concentré ses efforts sur la physique de la mesure au moyen de sodars doppler. L'étude de l'atténuation du son en milieu turbulent, nécessaire pour interpréter l'amplitude des échos sodar, a été entreprise expérimentalement ; on a conclu à l'absence d'atténuation notable due à la turbulence, dans les conditions moyennes. L'étude de la réfraction du son a permis de fixer certaines limitations à l'usage du sodar et d'évaluer les erreurs de mesure correspondantes. L'élargissement spectral des échos résulte de la superposition complexe de plusieurs effets ; sa compréhension est nécessaire pour interpréter les résultats ; sa mesure fournit des informations sur la turbulence dans la couche limite. Ces résultats vont être progressivement appliqués à la physique de la couche limite planétaire. Les campagnes effectuées permettent déjà d'étudier les spectres de turbulence dans la couche limite et de montrer que leur pente généralement différente de $-5/3$ dépend de la stabilité du milieu (WEILL, 1975). Enfin, une étude systématique des thermiques et des couches d'inversion au moyen des sodars est en cours (AUBRY, CHEZLEMAS, SPIZZICHINO, 1974).

Dans un domaine voisin, un pylône instrumenté a été installé par SAISSAC dans une région d'horizontalité et de rugosité homogènes sur une étendue suffisante vers l'amont des vents dominants pour étudier la couche de frottement en bordure de la Méditerranée, et les phénomènes de brise. Les mesures terrestres sont complétées par des mesures aériennes pour l'étude des basses fréquences.

ETUDE DE LA CONVECTION NUAGEUSE PROFONDE

Un effort important a été fait pour développer cette étude plus difficile que la précédente par suite de la rareté de conditions expérimentales propres et d'une multiplicité des facteurs la gouvernant d'autant plus grande que l'on s'intéresse à des nuages plus développés.

Un modèle numérique unidimensionnel de nuages convectifs prenant en compte la formation et la croissance des gouttes de nuage (LANGUIN, 1973) a été affiné par PICCA et ses collaborateurs. Ceux-ci ont testé le rôle du régime de congélation sur l'intensité des précipitations liquides ou solides tombant au sol dans le cas d'une évolution naturelle du nuage, et dans le cas d'un nuageensemencé en noyaux glaçogènes artificiels.

Un modèle d'organisation de la convection modérée a été proposé par WEILLER (1972). Il a été testé en utilisant les données photographiques du satellite SKYLAB. De l'ensemble des études faites, on dégage l'idée d'une convection à deux étages, séparés par une sorte de frontière horizontale qui représente la plaque chauffante. Entre cette plaque chauffante et la couche d'inversion, à température uniformisée, s'établissent des phénomènes convectifs à géométrie régulière à l'image de ceux mis en évidence par BENARD.

SAUVAGEOT (1974) a mis en évidence, à partir d'observations au moyen d'un radar millimétrique, le rôle de tourbillons à axes horizontaux dans la genèse de précipitations de nombreux types de nuages. Une simulation numérique du phénomène de croissance des gouttes par coalescence dans les tourbillons ci-dessus a été faite ; elle conduit à des réflectivités en accord avec celles observées.

Les précipitations des nuages convectifs ont fait l'objet de recherches au moyen de mesures indirectes avec un radar 10 cm (GODARD) et au moyen de mesures directes avec un spectropluviomètre (DONADIEU, 1974). Ces mesures visent à préciser la relation réflectivité-intensité de la pluie en fonction du type de cette dernière.

Le dernier travail est effectué, au moins partiellement, en collaboration avec RAMOND et GAYET dans le cadre d'expériences d'engagement des nuages convectifs au moyen des outils décrits plus haut (DC7, CESSNA, radar 10 cm, radar 8 mm, photogrammétrie, radiosondage, ...). Une campagne de mesure a été effectuée en 1973. Elle a permis à RAMOND (1974, 1975) de mettre en évidence un résultat original concernant un cas de vent horizontal nul au centre d'un cumulus se déplaçant lui-même avec une vitesse d'ensemble de l'ordre d'une dizaine de mètres par seconde. La zone de vent horizontal nul coïncide avec la zone de vent vertical maximal, donc avec la zone d'ascendance. Elle est accompagnée d'une zone de descendance où le vent horizontal retrouve une vitesse comparable à celle qu'il a à l'extérieur. Ce résultat jette une lumière nouvelle sur la physique de l'érection des nuages cumuliformes en présence d'un fort gradient vertical de la vitesse horizontale du vent.

Des campagnes plus anciennes (1970, 1971) ont permis à ITIER (1972) de mettre au point une nouvelle méthode de détermination du coefficient d'entraînement dans les nuages convectifs en utilisant simultanément photogrammétrie de ces nuages et sondages aérologiques.

A l'I.O.P.G., J. DESSENS (1972, 1974) a étudié l'effet des vents de surface sur le déplacement des orages à grêle et l'influence de la rugosité du sol sur les tornades. La rugosité diminue les vitesses circulaires et provoque de ce fait une augmentation de la convergence radiale et du courant axial vertical. Au même laboratoire, BENECH (1973, 1974) a étudié les phénomènes convectifs et les phénomènes de diffusion au-dessus d'une source de chaleur artificielle d'une puissance de 600 MW et d'une dimension de 4 000 m².

Enfin, dans le domaine de l'électricité atmosphérique, CHAUZY a expérimenté une méthode de mesure de la composante horizontale du champ électrique à l'intérieur des nuages convectifs basée sur l'emploi d'un field mill cylindrique porté par un autogyrotor et lâché au-dessus du nuage.

CONCLUSION

Au cours des quatre dernières années, la discipline s'est dotée de moyens lui permettant d'encager d'une manière satisfaisante les phénomènes convectifs et turbulents dans les basses couches de l'atmosphère. Les techniques d'emploi de ces moyens et de traitement de leurs données ont été maîtrisées. Des idées nouvelles concernant l'évolution des basses couches et les champs de vent autour des nuages et dans les nuages sont nées des premières campagnes ; un des buts de la période qui commence va être la vérification de ces idées.

ALLET A. (1973). — "Mesures de l'intensité des échanges verticaux dans la couche limite planétaire" — Thèse de doctorat de spécialité n° 1354, Toulouse.

AUBRY M., BAUDIN F., WEILL A. et RAINTEAU P. (1974). — "Measurement of the total attenuation of acoustic waves in the turbulent atmosphere" — *J. Geophys. Res.*, 79, (36), 5598-5606.

AUBRY M., CHEZLEMAS R. et SPIZZICHINO A. (1974). — "Preliminary results of the atmospheric acoustic sounding program at CNET" — *Boundary Layer Meteor.*, 7, (4), 513-519.

BENECH B. — "Experimental study of an artificial convective plume initiated from the ground" — A paraître.

BENECH B. (1973). — "Convection artificielle" — *Note I.O.P.G.*, n° 15.

BENECH B. (1974). — "Convection artificielle" — *Note I.O.P.G.*, n° 21.

BIROT A. (1971). — "Contribution à l'étude de la diffusion du radon et des aérosols dans l'atmosphère" — Thèse de doctorat ès-Sciences n° 428, Toulouse.

BOUTIN C. (1974). — "Quelques aspects de l'étude des échanges énergétiques à l'interface eau-atmosphère" — Rapport Scientifique du L.D.M.A. n° 6.

CAMPISTRON B. (1971). — "Etude des nuages avec un radar millimétrique" — D.E.A., Université Paul-Sabatier, Toulouse.

- CAMPISTRON B. (1972). - "Intérêt des échos fantômes détectés par le radat 8,6 mm comme traceur pour l'étude des basses couches de l'atmosphère" - Colloque sur la Physique de la Basse Atmosphère, Lille.
- CAMPISTRON B. (1973). - "Relations entre les échos fantômes observés avec un radar 8,6 mm et l'état thermodynamique de la basse atmosphère" - Thèse 3^e Cycle, Université Paul-Sabatier, Toulouse.
- CAMPISTRON B. (1974). - "Sur l'évolution matinale de la distribution dans l'espace des échos radar en air clair" - *C.R.Ac.Sc.*, T 279, série B, 479-82.
- DESSENS J. (1972). - "Influence of ground roughness on tornadoes : a laboratory simulation" - *J. of Appl. Meteor.*, 11, 72-75.
- DESSENS J. (1974). - "Simulation en soufflerie de l'effet des vents de surface sur la propagation des orages à grêle" - *C.R.Ac.Sc.*, T 279, 691-94.
- DONNADIEU G. (1973). - "Vérification expérimentale de la vitesse atteinte par des gouttes de 3 mm de diamètre en fonction de leur hauteur de chute à l'aide d'un spectropluviomètre photoélectrique" - *J.R.A.*, vol. VII, n° 4.
- DONNADIEU G. (1974). - "Etude des caractéristiques physiques et radioélectriques de la pluie à l'aide d'un spectropluviomètre photoélectrique (Procès. of I.U.C.R.M. Colloquium Nice, oct. 1973)" - *J.R.A.*, vol. I-2, 147-60.
- DRUILHET A. (1970). - "Détermination de la diffusivité turbulente dans les premiers mètres au-dessus du sol à partir de la diffusion du thoron. Mesure des facteurs physiques de la biosphère" - Editeur I.N.R.A.
- DRUILHET A., PERRIER, FONTAN J., LAURENT J.L. (1971). - "Analysis of turbulent transfers in a vegetation : use of thoron for measuring the diffusivity profiles" - *Boundary Layer Meteorol.*, 2, 173-187.
- DRUILHET A., GUEDALIA D., FONTAN J., LAURENT J.L. (1972). - "Study of Rn-220 emanation deduced from measurement of vertical profile in the atmosphere" - *J. of Geophys. Res.*, 77, n° 33, 6508.
- DRUILHET A., FONTAN J. (1972). - "Détermination des coefficients de diffusion verticale entre 0 et 100 mètres à l'aide du radon et du ThB" - *Boundary Layer Meteorol.*, vol. 3, 476.
- DRUILHET A., FONTAN J. (1973). - "Utilisation du thoron pour la détermination des coefficients de diffusion turbulente près du sol" - *Tellus*, t. XXV, 2n 199-212.
- DRUILHET A., FONTAN J. (1974). - "Utilisation du radon comme indicateur de l'intensité des échanges près du sol" - *Boundary Layer Meteorol.*, 6, 387-411.
- DRUILHET A., GUEDALIA D., ROUZAUD B., BOYER J.M., FONTAN J. (1974). - "Deux méthodes expérimentales d'analyse en temps réel de la dispersion à partir d'une source ponctuelle" - *Atmospheric Environment*, vol. 8.
- DRUILHET A. (1973). - "Etude des transferts turbulents de matière dans l'atmosphère au voisinage du sol" - Thèse de Doctorat d'Etat n° 527, Toulouse.
- DUBOSCLARD G. (1971). - "Observations radar de quelques cellules orageuses dans la région du Languedoc" - Rapport G.I.E.F.A. n° 12.
- GAYET J.F. (1973). - "Mesure des paramètres thermodynamiques et dynamiques de l'atmosphère au moyen d'un DC7 AMOR (Été 1972)" - Rapport de stage, Université de Clermont-Ferrand.
- GUEDALIA D., LAURENT J.L., FONTAN J., BLANC D., DRUILHET A. (1970). - "A study of Rn-220 emanation from soils" - *J. of Geophys. Res.*, vol. 75, n° 2, 357-369.
- GUEDALIA D., BIROT A., FONTAN J., ALLET C. (1971). - "Sur la détermination des coefficients de diffusion dans la couche limite planétaire à l'aide du radon et du ThB" - *C.R.Ac.Sc.*, T 273, 57-60.
- GUEDALIA D., ALLET C., FONTAN J., DRUILHET A., ASSAF G. (1973). - "Lead 212, radon and vertical mixing in the lower atmosphere (100-2000 m)" - *Tellus*, 25, n° 4.
- GUEDALIA D., ALLET C., FONTAN J. (1974). - "Vertical exchange measurements in the lower troposphere using ThB and radon" - *J. of Appl. Meteorol.*, 13, 1, 27-39.
- GUEDALIA D., DRUILHET A., FONTAN J. (1974). - "Détermination des échanges verticaux moyens dans la couche limite planétaire à partir des données statistiques obtenues par les radiosondages de température" - *Boundary Layer Meteorol.*, 7, 457-473.
- GUEDALIA D., DRUILHET A., FONTAN J. - "Détermination des flux verticaux de vapeur d'eau entre le C.L.P. et l'atmosphère libre" - *Tellus*, à paraître.
- GUEDALIA D. (1975). - "Détermination des échanges verticaux de matière dans la couche limite planétaire" - Soutenance prévue le 2^e trimestre 1975.
- GUILLEMET B. (1973). - "Variations spatio-temporelles de la structure thermodynamique, des flux de chaleur et de vapeur d'eau dans une basse couche convective" - Thèse de 3^e Cycle, Clermont-Ferrand.
- GUILLEMET B., ROSSET R., MASCART P., ISAKA H. (1974). - "Flux de chaleur sensible et de vapeur d'eau associés à un "saut convectif" atmosphérique" - *C.R.Ac.Sc.*, T 278, série B.
- GUILLEMET B., ISAKA H., MASCART P. (1975) - "Mesure des vitesses de mouvements de l'air à l'aide d'avions" - Rapport Scientifique du L.D.M.A. n° 10.
- ISAKA H., LE BERRE P. et coll. (1971). - "Campagne de recherches sur les phénomènes convectifs atmosphériques (Châteauroux, juin 1970)" - Rap. Scient. du L.D.M.A. n° 3.
- ITIER B. (1972). - "Etude de l'entraînement dans les nuages convectifs" - Thèse de 3^e Cycle, Clermont-Ferrand.
- ITIER B., ISAKA H., SOULAGE R.G. (1972). - "Sur une méthode de détermination du coefficient d'entraînement dans les nuages convectifs" - *C.R.Ac.Sc.*, T 275, série B.
- LANGUIN C. (1973). - "Simulation numérique de la dynamique et de la microphysique d'un nuage convectif, rôle de la phase glace dans les précipitations" - Thèse de Spécialité, Toulouse.

- LANQUETTE A.M., ITIER B., HERVIER R. (1972). - "Etude d'un dispositif expérimental et d'une méthode pour la photogrammétrie terrestre de nuages" - Rapport Scient. du L.D.M.A. n° 4.
- LANQUETTE A.M. (1972). - "Etude de l'organisation et de l'évolution d'un champ de cumulus" - Thèse de 3^e Cycle, Clermont-Ferrand.
- LANQUETTE A.M., RAMOND D. (1973). - "Déplacements propres de certains nuages dans une population de cumulus organisée en lignes. Relation avec le champ de vent" - *J.R.A.*, p. 209-220.
- MASCART P., ROSSET R. (1972). - "Expérience numérique de convection pénétrante : application à l'évolution matinale des basses couches atmosphériques (expérience préliminaire)" - Rapport Scient. du L.D.M.A. n° 5.
- MASCART P. (1973). - "Analyse, simulation numérique et interprétation physique de la montée en saut du front convectif et des transferts de chaleur associés" - Thèse de 3^e Cycle, Clermont-Ferrand.
- MASCART P., ROSSET R., ISAKA H. (1974). - "Simulation numérique de l'épaississement d'une couche convective matinale en atmosphère stratifiée claire" - *C.R.Ac.Sc.*, T 278, série B.
- RAMOND D. (1974). - "Variations du vent horizontal à l'intérieur des cellules convectives" - Rapport Scient. du L.D.M.A. n° 7.
- RAMOND D. (1975). - "Variation du vent horizontal à l'intérieur de cellules convectives" - *J.R.A.*, à paraître.
- ROSSET R., MASCART P., ISAKA H., SOULAGE G.R. (1973). - "Mode d'épaississement d'une basse couche convective matinale en ciel clair" - *C.R.Ac.Sc.*, T 276, série B.
- ROSSET R., MASCART P., ISAKA H. (1974). - "Energies et échelles des mouvements horizontaux lors d'un "saut convectif" dans la basse atmosphère" - *C.R.Ac.Sc.*, T. 278, série B.
- SAISSAC J. (1970). - Etude dynamique de la couche 0-100 m" - Note technique de l'O.M.M. n° 93.
- SAUVAGEOT H., CAMPISTRON B., DESPAUX G. (1972). - "Etude physique des phénomènes météorologiques à l'échelle fine" - Rapport D.R.M.E. n° 70-015.
- SAUVAGEOT H., CAMPISTRON B., DESPAUX G. (1972). - "Etude et réalisation d'une chaîne de traitement de signal pour un radar météorologique millimétrique. Application à l'étude de la convection atmosphérique" - Rapport D.R.M.E. n° 71.024.
- SAUVAGEOT H. (1972). - "La définition et la mesure au radar des paramètres caractérisant l'environnement d'une base" - Procès-verbaux du Colloque International sur les bases de lancement, C.N.E.S., Kourou, 485-492.
- SAUVAGEOT H. (1973). - "Le radar à la recherche des nuages" - *La Recherche*, vol. 4, 485-487.
- SAUVAGEOT H. (1974). - "The influence of vertical wind shear on the fine scale structure of precipitation generating layers (Proces. of I.U.C.R.M. Colloquium Nice, oct. 1973)" - *J.R.A.*, vol. VIII, n° 1-2, 213-219.
- SPIZZICHINO A. (1974). - "La réfraction des ondes acoustiques dans l'atmosphère et son influence sur les mesures de vent par sodar" - *Ann. Télécomm.*, 29, (7-8), 301-310.
- SPIZZICHINO A. (1974). - "Discussion of the operating conditions of a doppler sodar" - *J. of Geophys. Res.*, 79, (36), 5585-5591.
- SPIZZICHINO A. (1974). - "Spectral broadening of a wave scattered by atmospheric turbulence" - Note techn. EST/RSR/87.
- VILLEVIEILLE A (1971). - "La plate-forme stationnaire ESSOR" - Encyclopédie des Sciences et Techniques.
- WEILL A., AUBRY M., BAUDIN F., HEISSAT J. - "A study of temperature fluctuations in the atmospheric boundary layer" - *Boundary Layer Meteorol.*, à paraître.
- WEILLER A.R., VELTISHCHEV F.F. (1972). - "Théorie des rues de nuages" - *La Météorologie*.

II – DETERMINATION DE LA COUVERTURE NUAGEUSE ET DE LA TEMPERATURE SUPERFICIELLE A PETITE ECHELLE A PARTIR DES MESURES DE SATELLITES NOAA

C. PASTRE

Météorologie Nationale
Etablissement d'Etudes et de Recherches Météorologiques
73-77 rue de Sèvres. — 92100-Boulogne

La Météorologie Nationale a mis en place les moyens d'acquisition, numérisation et traitement de la télémesure VHRR des satellites NOAA. Ce radiomètre bicanal à balayage (visible + infra-rouge 10,5-12,5) a une résolution de 1/2 mille nautique. Ceci permet d'une part d'effectuer une analyse à petite échelle, même en réunissant plusieurs points pour diminuer l'effet du bruit. D'autre part cela diminue les difficultés dues à la contamination partielle de spots de mesure par les nuages.

L'utilisation simultanée des deux canaux permet d'effectuer la discrimination surface-nuages automatiquement, sauf dans le cas d'une couverture de neige ou glace.

Le signal est numérisé directement à l'acquisition. L'image numérisée est découpée de manière à regrouper les points contenus dans des carrés de 64 points de 64 lignes consécutives. Pour chacun des carrés on construit un histogramme bidimensionnel sur les 4096 couples de mesures (visible, infra-rouge). Cette technique sépare automatiquement les points de mesure appartenant à des surfaces de température ou d'albedo différent. L'analyse de cet histogramme permet d'y trouver les maxima correspondant aux différentes cibles présentes. La position du maximum donne la valeur de la luminance énergétique qui peut être convertie en température du corps noir équivalent au moyen des données d'étalonnage contenues dans le signal. L'altitude du maximum, ou le volume du pic permet de retrouver le pourcentage ouvert par chaque surface différente présente dans le carré.

Pour la température de la mer, il faut ensuite appliquer une correction pour tenir compte de la contribution atmosphérique due surtout à la présence de vapeur d'eau et de gaz carbonique. On utilise pour l'instant une correction dépendant uniquement de la mesure elle-même et de l'angle d'incidence de la visée. La comparaison avec les mesures classiques de bateau donne un écart-type de 1°.

On expérimente actuellement un autre schéma de correction introduisant une dépendance saisonnière et en latitude. Enfin, dans l'avenir, il est prévu d'utiliser pour cette correction atmosphérique la mesure effectuée par le VTPR (Vertical Temperature Profile Radiometer) dans la bande de la vapeur d'eau (vers 19 μ). Une étude théorique a montré que ceci devrait amener la précision de mesure vers 0.5° C.

En ce qui concerne les nuages, le passage de la température radiométrique à l'altitude nécessite une estimation de l'émissivité du nuage. Ces données sont pour l'instant considérées comme expérimentales.

III – PHYSICO-CHIMIE DE LA BASSE ATMOSPHERE

J. FONTAN

Université Paul-Sabatier, 48 route de Narbonne, 31077 – Toulouse

et G. LAMBERT

Centre des Faibles Radio-Activités, CNRS, 91190 – Gif-sur-Yvette – B.P.2.

La physico-chimie de l'atmosphère comprend 5 parties bien distinctes, quant à leurs objectifs :

1 – L'ensemble des processus physiques et photochimiques d'absorption et réémission du rayonnement solaire.

2 – L'étude de la phase atmosphérique du cycle géochimique des éléments depuis et jusqu'aux surfaces des continents, océans, calottes glaciaires, et éventuellement l'espace interplanétaire.

3 – L'utilisation des éléments présents dans l'atmosphère à l'état de traces, comme traceurs dans les études de circulation et échanges atmosphériques qui constituent la météorologie dynamique.

4 – Les études scientifiques de base du comportement des polluants atmosphériques.

5 – L'application des 4 types d'études précédentes à un essai de compréhension de l'évolution des climats dans le passé et des risques d'évolution sous l'influence des activités humaines.

La plupart de ces points sont abordés par les études réalisées en France.

Point 1 – L'essentiel des travaux dans ce domaine est effectué par les laboratoires travaillant dans les hautes couches de l'atmosphère, ainsi que par les différentes équipes étudiant l'ozone les oxydes d'azote, et participant au programme COVOS.

Cependant, les études portant dans la basse atmosphère sur les aérosols de toutes origines et sur le cycle des composés du soufre sont directement liées à ce problème par suite des échanges très importants entre troposphère et basse stratosphère.

Point 2 – Des études systématiques des différentes sources d'aérosols ont été effectuées dont l'objectif est de donner un bilan général de la circulation de matière via l'atmosphère, des continents aux océans et réciproquement. Ces études ont notamment fait apparaître de très importants fractionnements à l'interface mer-atmosphère, avec enrichissement en cations lourds. Un bilan des éléments accumulés dans les calottes polaires est également en cours.

Une attention particulière a été portée aux composés du soufre. Outre les sources anthropogéniques et continentales habituelles, l'existence d'une source marine de SO_2 est démontrée par la brève existence de ce gaz et le fait qu'on en mesure loin des sources continentales.

Des études de laboratoire menées indépendamment ont confirmé la brièveté des réactions gaz-aérosols et étudient le grossissement et la mobilité des ions formés.

Enfin l'existence d'une source terrestre de poussières dites "cosmiques" a été démontrée par un bilan antarctique de cosmonuclides tels que le Mn 53.

Point 3 – Les éléments radioactifs ont été utilisés pour étudier les échanges et le transport de matière à différentes échelles. Dans la couche très près du sol (0-10 m) ou dans un couvert végétal l'isotope 220 du radon a permis de mesurer les coefficients de diffusion verticale en matière et leurs variations suivant l'altitude et le temps. Le Radon 222 a été utilisé pour effectuer une climatologie des échanges verticaux entre 0-100 m sur le site de Roissy en France (aéroport Charles de Gaulle). Cette étude montre que le radon pourrait servir pour monitorer la stabilité verticale dans les sites pollués.

Dans la couche limite planétaire, le traceur radioactif le plus approprié est le Thorium B, en raison de sa période. Il a permis d'évaluer l'ordre de grandeur des coefficients d'échange dans la couche convective et de mesurer les transferts, en particulier de vapeur d'eau, entre l'atmosphère libre et la couche limite planétaire.

A plus grande échelle, des éléments radioactifs à vie longue Sr-90, Be-7, P-32, Pb-210 et Po-210 ont permis de préciser les valeurs des temps de résidence des aérosols, en fonction de leur hauteur d'injection dans la troposphère.

Des mesures systématiques de radon effectuées pendant plusieurs années aux Iles Kerguelen et dans l'Antarctique ont mis en évidence des variations saisonnières en opposition de phase dans les deux stations. Des "orages radoniques" correspondant à des lentilles d'air de 2 km d'épaisseur environ qui se déplacent avec des échanges limités sur de grandes distances, sont observés dans les régions antarctiques. Enfin, dans ces stations, on remarque des variations de concentration de radon qui semblent liées à l'activité solaire.

Point 4 – Des études scientifiques de base pour la compréhension du comportement des polluants atmosphériques sont développées suivant plusieurs directions.

Des études in situ ont été effectuées pour dans un premier temps faire les parts des productions naturelles et artificielles des noyaux d'Aitken à l'échelle mésométéorologique. Des mesures des concentrations de l'air en SO₄ et SO₂ ont été faites dans des régions très éloignées de l'activité humaine. On observe des concentrations qui peuvent atteindre les valeurs de 1 µg/m³ et 0,1 µg/m³ pour les sulfates et le SO₂ respectivement.

Les traceurs radioactifs radon et ThB ont été utilisés pour étudier l'évolution des noyaux d'Aitken et du SO₂. Pour ce dernier, la transformation a été étudiée dans le cas d'une masse d'air continentale qui se déplace au-dessus d'un océan à quelques centaines de kilomètres de la côte.

Une étude a été entreprise pour suivre le transfert du plomb atmosphérique dans les eaux de précipitations et dans les eaux de surface. Le transfert par dépôt sec de l'air sur la végétation et le sol a été aussi étudié.

Le dosage de l'iodure d'argent dans les précipitations d'orage est effectué pour mesurer la quantité de noyaux glaciogènes, émis près du sol qui sont captés par les nuages.

Des études en laboratoires sont effectuées pour comprendre les réactions d'oxydation dans l'atmosphère des hydrocarbures, en phase homogène (oxydation photochimique) et hétérogène (oxydation catalytique par les particules solides). Ces études portent plus particulièrement sur les interactions entre les hydrocarbures et les oxydants, et d'autre part sur l'effet des particules solides en suspension pour l'oxydation des hydrocarbures.

D'autre part, des modèles numériques de diffusion des polluants atmosphériques ont été mis au point qui prennent en compte notamment la rugosité régionale et l'influence du couvert végétal.

Point 5 – L'évolution des climats a été abordée principalement par des études portant sur des carottes de glace prélevées dans l'Antarctique ainsi que par l'étude des paléotempératures dans les sédiments marins.

De plus, une équipe franco-ivoirienne étudie la génération des aérosols dans les régions tropicales et intertropicales. En particulier un réseau de stations de collection des aérosols a été installé en Afrique de l'Ouest. L'étude des visibilité, depuis plusieurs années, permet de suivre l'évolution dans le temps de la mise en suspension des particules de sable dans l'atmosphère. Ceci pourra être relié avec la sécheresse du Sahel.

IV – METEOROLOGIE DE LA NEIGE

Un modèle mathématique unidimensionnel de manteau neigeux pour la prévision des Avalanches

F. DELSOL

Météorologie nationale
Centre d'Etudes de la Neige
Grenoble

Le Centre d'Etudes de la Neige de Saint Martin d'Hères (EERM – Météorologie Nationale) s'est vu confier la mission d'assurer en France sur le plan national la prévision du risque d'avalanche. Un des éléments importants nécessaires à cette prévision est une excellente représentation de la réponse de la neige aux conditions météorologiques.

Dans ce but il a été mis au point un modèle mathématique unidimensionnel de manteau neigeux définissant les évolutions internes du manteau (métamorphoses constructives ou destructives) à partir des données météorologiques mesurées ou prévues.

Ce modèle a été ajusté d'une part à partir de mesures fines et continues tant dans la neige que dans l'atmosphère aux deux laboratoires du CEN (Col de Porte 1350 m – et Croix de Chamrousse 2250) et d'autre part à partir de simulation physique de transformation de la Neige en chambre froide.

Cette simulation mathématique nécessite la connaissance des données météorologiques suivantes :

- Température de l'air sous abri
- Humidité et Pression
- Vent à 10 mètres
- Précipitation en valeur en eau
- Rayonnement solaire (direct et réfléchi)
- Nébulosité

et de la température du sol sous la couche.

Les paramètres calculés sont alors les suivants :

- Pour le bilan énergétique de surface
 - Flux de chaleur sensible
 - Evapo – condensation de surface
 - Rayonnement infra-rouge émis et reçu.
- Pour les caractéristiques de la couche
 - Température de surface
 - Hauteur de neige au sol
 - Profils de température, de densité et de teneur en eau
- Les évolutions internes sont calculées à partir
 - des flux de chaleur
 - des flux d'eau liquide et de vapeur
 - des transferts de masse par changement de phase
 - des facteurs caractérisant la modification du type des grains.

Pour pouvoir répondre à deux exigences contradictoires : rapidité d'exécution et analyse fine surtout dans les couches supérieures, nous avons choisi le principe du modèle à maille variable avec des pas dans l'espace allant de 1 à 20 cm. Les pas dans le temps ont été pris en rapport avec la discrétisation verticale pour respecter les conditions de stabilité numérique (60 sec à 600 sec).

Le schéma numérique utilisé est du type Crank-Nicolson, pour résoudre à chaque niveau l'équation du bilan énergétique, couplé à un système itératif.

Ce modèle permet de représenter les phénomènes de tassement, les modifications de grains et évolutions stratigraphiques de la neige ainsi que les périodes de fonte partielle ou totale.

Il apparaît de ce fait comme un complément indispensable au réseau nivométéorologique utilisé par le CEN pour la prévision du risque d'avalanche.

V – RECHERCHES ASSOCIEES A LA TELEDETECTION DES PRECIPITATIONS PAR RADAR

G. FROMENT

Etablissement d'Etudes et
Recherches Météorologiques
73-77 Rue de Sèvres
92100 Boulogne

S. GODARD

Institut de Physique du Globe
12 Avenue des Landais
63001 Clermont-Ferrand

P. WALDTEUFEL

Centre National d'Etudes
des Télécommunications
38-40 Rue du Général Leclerc
92130 Issy-les-Moulineaux

Les études associées à l'observation radar des précipitations et, d'une façon plus générale, à celle des phénomènes atmosphériques détectables par radar, ont connu au cours des dernières années des développements significatifs dans de nouvelles orientations.

Parmi les faits les plus marquants de cette période, on doit souligner d'abord un regain d'intérêt pour la "Météorologie radar", intérêt qui s'est manifesté dans le sens de la recherche fondamentale comme dans celui de la recherche appliquée.

Ce renouveau d'intérêt s'est concrétisé par l'adhésion à la discipline d'une équipe nouvelle – équipe du Centre National d'Etudes des Télécommunications (CNET) – par la stimulation suscitée par certains organismes (en particulier, Service Central Hydrologique) et, à la Météorologie Nationale, par la reprise d'une activité de recherche dans ce domaine.

Il s'est également manifesté à travers l'organisation, par la France (CNET), dans le cadre du Comité Inter-Union de Radio-Météorologie (IUCRM), d'un colloque (Nice, 1973) sur la "Structure fine des précipitations et la propagation des ondes électromagnétiques", qui a rapproché les chercheurs s'intéressant aux problèmes relatifs à l'atmosphère et aux télécommunications.

En second lieu, on peut noter une évolution de la technologie et des méthodes, évolution plus particulièrement marquée au niveau du traitement de l'information radar, où l'emploi des moyens informatiques se substitue progressivement aux techniques traditionnelles.

RECHERCHES ENTREPRISES

1. – Radar millimétrique

Un équipement radar fonctionnant à 0,86 cm est opérationnel à l'Institut de Physique du Globe du Puy de Dôme (Centre de Recherches Henri Dessens à Lannemezan), depuis près de dix ans. Cet appareil a été d'ailleurs précédé d'un premier prototype dès 1962. Il est doté d'un dispositif à 100 canaux d'intégration analogique des signaux video et d'un système d'enregistrement par fac-similé de ces signaux.

Les propriétés spécifiques des radiations millimétriques font que l'équipement est particulièrement apte à la télédétection des hydrométéores à faible granulométrie (nuages),

alors que l'affaiblissement important de propagation à travers les hydrométéores à forte granulométrie (précipitations), ne permet pas la télédétection lointaine de certains phénomènes et fausse bien souvent les mesures de réflectivité qui peuvent être tentées.

Les programmes de recherche réalisés ces dernières années font cependant appel à ces deux caractéristiques des ondes millimétriques. Ce sont :

Structure fine des nuages et des précipitations

H. SAUVAGEOT a étudié, en utilisant le radar en faisceau fixe vertical, les variations spatio-temporelles des échos observés alors que les phénomènes atmosphériques (nuages, précipitations...) se déplacent au-dessus de la station. Il a ainsi pu mettre en évidence l'importance de rouleaux à axes horizontaux, matérialisés par une sorte d'ondulation au sommet des couches nuageuses où se dérouleraient des phénomènes de coalescence capables d'initier les précipitations. Une simulation numérique du phénomène de croissance des gouttes, dans ces conditions, a été faite et conduit à des réflectivités en accord avec celles observées.

Echos en ciel clair

R. CAMPISTRON travaillant dans les mêmes conditions que H. SAUVAGEOT, mais en atmosphère claire, a pu étudier les "échos fantômes" apparaissant vers 1000 ou 1500 mètres au-dessus du sol, particulièrement en été. La cause de ces échos semble bien être la présence d'insectes ou de débris végétaux ou animaux (qui ont une forte section diffusante à 0,86 cm), et non la présence de forts gradients d'indice de l'air (qui existent peut-être mais ne peuvent expliquer de telles réflectivités à 0,86 cm).

Le phénomène observé semble assez bien matérialiser la couche limite convective. En outre, CAMPISTRON a montré comment ces échos pouvaient permettre la détection indirecte de petits cumulus (empreintes laissées dans la couche des échos fantômes).

Mesure des précipitations

S. GODARD a montré dès 1966 les possibilités, théoriques tout au moins, de mesure des précipitations par affaiblissement de la radiation 0,86 cm.

Les expériences réalisées dans ce sens n'ont guère été convaincantes. Néanmoins l'intérêt de cette question n'est pas négligeable, l'affaiblissement étant proportionnel à l'intensité de pluie et indépendant de la granulométrie.

Aussi, un programme de recherche portant sur la structure spectrale des précipitations a été entrepris (G. DONADIEU, S. GODARD). Il en sera reparlé à propos du programme radar 10 cm.

Description radar de la couverture nuageuse

Du point de vue des applications météorologiques du radar millimétrique, citons pour mémoire une étude de faisabilité de FROMENT (1973) analysant les possibilités de description automatisée de la couverture nuageuse. Ce projet n'a pas été réalisé à ce jour.

Parallèlement aux recherches poursuivies dans le domaine du radar millimétrique les efforts récents se sont tournés dans deux nouvelles directions (rubriques 2 et 3). Dans les deux cas, il s'agit d'entreprises d'assez longue haleine dont le fruit ne sera récolté que dans l'avenir.

2 - Etude de la convection profonde : radars Doppler

La convection profonde vient au premier rang des préoccupations des météorologistes français, tant par son importance locale que par ses conséquences sur la circulation générale et la prédictabilité du temps. La technique des radars Doppler, après une mise au point

d'une dizaine d'années, parvient à une relative maturité tant pour l'instrumentation que pour la méthodologie, et démontre son aptitude à remplir une mission centrale (description du champ de vitesses) dans un dispositif d'étude de la convection profonde.

C'est pourquoi la communauté scientifique nationale a décidé la construction d'un système comprenant deux radars Doppler. Cette opération, soutenue par le Comité des Recherches Atmosphériques de la DGRST, a été confiée au CNET. Les radars seront entièrement mobiles et organisés autour d'un miniordinateur dévolu à la gestion et l'acquisition des données, cependant que des périphériques spécialisés assurent l'essentiel du prétraitement en temps réel.

Jusqu'en 1974, seuls quelques travaux relatifs à la théorie de la mesure ont été publiés. Les radars Doppler entreront en opération en 1975 ; des campagnes régulières, en Métropole puis à l'étranger (zônes tropicales), seront dès lors organisées.

3 - Applications hydrologiques du radar : le radar et la mesure des précipitations

Il s'agit d'une orientation de recherche appliquée déjà abordée en France dans le passé (travaux de la Société d'Etude des Précipitations (SODETEP) en liaison avec des services hydrologiques) et reprise actuellement sous un angle nouveau du point de vue des perspectives opérationnelles envisagées et des moyens mis en oeuvre, en particulier à la Météorologie Nationale.

Dans le cadre de ces études, on peut mentionner l'activité de différents organismes :

Institut de Physique du Globe (Clermont-Ferrand)

Depuis trois ans, un équipement 10 cm a été développé à l'Institut de Physique du Globe (Laboratoire des Landais à Clermont-Ferrand).

Cet équipement mobile est doté d'un aérien de 4 mètres de diamètre. Le récepteur de type classique est suivi d'un analyseur à 100 canaux permettant l'intégration numérique du signal video ; une chaîne de saisies de données reprend le signal intégré et le digitalise avant de constituer des blocs logiques eux-mêmes stockés sur bandes magnétiques. Ces bandes peuvent ensuite être directement traitées sur ordinateur.

Ce radar avait été prévu à l'origine pour la simple étude de trajectoire d'orages. Devant les possibilités offertes par les perfectionnements qu'il a reçus, les chercheurs ont été amenés, en vue de l'interprétation des échos mesurés, à développer l'étude des relations Z/R (réflectivité-intensité de pluie).

S. GODARD et G. DONNADIEU ont étudié un spectropluviomètre opto-électronique dès 1969, appareil qui a été progressivement amélioré et dont une dernière version a été réalisée en collaboration avec des chercheurs du CNET (WALDTEUFEL, NUTTEN).

G. DONNADIEU a montré à partir de considérations théoriques et de mesures réalisées l'importance des paramètres A et b de la relation généralement admise $Z = A R^b$ et leur dépendance vis à vis des paramètres caractérisant une précipitation.

Service Hydrologique Centralisateur de Périgueux

Les études de cet organisme sont motivées par des impératifs concernant la prévision des crues. Utilisant deux radars (bande X et bande C), PARSY et DUPOUYET ont étudié la possibilité d'estimation locale de la hauteur d'eau produite par une perturbation et ont tenté de prévoir l'évolution spatiale et quantitative de la pluie.

Météorologie Nationale

En fait, une certaine unité tend à se faire dans ce domaine par la coopération des organismes intéressés avec la Météorologie Nationale, qui met en place actuellement un réseau de radars modernes et dispose d'autre part de réseaux de mesures au sol. Cette

orientation, en harmonie avec la priorité donnée au thème "Eau atmosphérique" parmi les thèmes de recherches de l'Établissement d'Études et Recherches Météorologiques (EERM), se concrétise par un projet "Hydrologie" centré sur l'étude du potentiel du radar en ce qui concerne la mesure des précipitations, dans la zone de couverture du radar, aux différentes échelles d'espace et de temps présentant de l'intérêt pour les hydrologues.

Dans une seconde étape, le projet prévoit également l'étude — par des méthodes objectives — de la structure des précipitations et de leur déplacement.

Comme dans les projets du CNET et de l'IPG, le traitement des données est assuré au niveau informatique (coopération du CNET pour la saisie et le prétraitement des données).

Une phase d'expérimentation préalable (fin 1973) a conduit à une première interprétation des observations par FROMENT (1975). La mise en oeuvre de l'expérimentation définitive est en cours. Son aboutissement devrait se situer à échéance de quelques deux années et déboucher sur des applications hydrologiques opérationnelles.

CAMPISTRON B. — Etude des nuages avec un radar millimétrique. D.E.A. Univ. Paul-Sabatier, Toulouse, 25 pages. 1971.

CAMPISTRON B. — Intérêt des échos fantômes détectés par le radar 8,6 mm comme traceur pour l'étude des basses couches de l'atmosphère. Colloque sur la Physique de la Basse Atmosphère, Lille Avril 72.

CAMPISTRON B. — Relations entre les échos fantômes observés avec un radar 8,6 mm et l'état thermodynamique de la basse atmosphère. Thèse 3^e cycle, Université Paul Sabatier, Toulouse, 27 juin 73, n^o 1415, 47 pages. 1973.

CAMPISTRON B. & SAUVAGEOT H. — Sur l'évolution matinale de la distribution dans l'espace des échos radar en air clair. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 279, série B pp. 479-482, 1973.

DONADIEU G. — Vérification expérimentale de la vitesse atteinte par des gouttes de 3 mm de diamètre en fonction de leur hauteur de chute à l'aide d'un spectropluviomètre photoélectrique. *J.R.A.* vol. III n^o 4. 1973.

DONADIEU G. — Etude des caractéristiques physiques et radioélectriques de la pluie à l'aide d'un spectropluviomètre photoélectrique. Proceedings IUCRM Colloquium, Nice, 1973. *J.R.A.* vol. VIII, n^o 1-2 pp. 147-160. 1974.

DUBOSCLARD G. — Observation radar de quelques cellules orageuses dans la région du Languedoc. Rapport GIEFA n^o 12, Déc. 71, 21 pages. 1971.

FROMENT G. — Etude sur l'observation radar de la couverture nuageuse. Rapport interne de l'EERM. 1973.

FROMENT G. — Expérience Melodi/Hydrologie 1973. Interprétation des données : Premiers résultats. Rapport provisoire interne de l'EERM. 1975.

PARSY & DUPOUYET. — Le radar et la pluie. Rapport interne du Service Hydrologie Centralisateur, Périgueux. 1975.

SAUVAGEOT H., CAMPISTRON B. & DESPAUX G. — Etude physique des phénomènes météorologiques à l'échelle fine. Rapport DRME n^o 70.015, Janvier 72, 40 pages. 1972.

SAUVAGEOT H., CAMPISTRON B. & DESPAUX G. — Etude et réalisation d'une chaîne de traitement de signal pour un radar météorologique millimétrique. Application à l'étude de la convection atmosphérique. Rapport DRME n^o 71.024, Novembre 72, 31 pages. 1972.

SAUVAGEOT H. — La définition et la mesure au radar des paramètres caractérisant l'environnement d'une base. Procès-verbaux du colloque international sur les bases de lancement, CNES, KOUROU, Novembre 72, pp. 485-492. 1972.

SAUVAGEOT H. — Le radar à la recherche des nuages. *La Recherche*, Mai 73, vol. 4, pp. 485-487. 1973.

SAUVAGEOT H. — The influence of vertical wind shear on the fine scale structure of precipitation generating layers. Proceedings IUCRM Colloquium, Nice, Octobre 73.

WALDTEUFEL P. — Tests de cohérence pour les lois empiriques de répartition des gouttes de pluie. *Ann. Télécomm.*, 27, 1972, pp. 499-503. 1972.

WALDTEUFEL P. — Atténuation des ondes hyperfréquence par la pluie : une mise au point. *Ann. Télécomm.*, 28, 1973, pp. 255-272. 1973.

WALDTEUFEL P. — Side lobe returns in a tornadic storm. XVIth radar meteorology conference, pp. 178-181. *American Meteorological Society*, Boston, 1975.

VI – Système VIZIR

R. LASBLEIZ

Centre de Météorologie Spatiale
Lannion

Le VIZIR est un ensemble de visualisation destiné à la synthèse et à l'enregistrement sur support photographique, des informations radiométriques à haute résolution, fournies par les satellites météorologiques, en particulier les géostationnaires de la série SMS-GOES.

1 – Fonctionnement des satellites SMS/GOES

Le système d'analyse du satellite produit un balayage ligne par ligne, au moyen d'une ouverture quasi-circulaire, qui transforme le signal spatial bidimensionnel en un signal temporel monodimensionnel.

Le satellite est pourvu de 8 capteurs radiométriques opérant dans le visible et d'un capteur infra-rouge. Il tourne à 100 t/mn, effectuant ainsi un balayage de 8 lignes jointives pour le visible et d'une ligne pour l'infrarouge.

L'information est ensuite échantillonnée en série, étirée et transmise par blocs suivant 4 modes A, B, C, D ; chacun de ces modes correspondant à la transmission d'une ligne infra-rouge à standard fixe, suivie d'un nombre variable de lignes visibles, de résolution décroissante de A à C. La partie visible du signal est remplacée par une information IR dégradée dans le mode C.

Mode	Cadence de transmission du segment visible	Résolution Sol	infra-rouge
A	1 000 lignes/mn	900 m	Cadence
B	500 lignes/mn	1 800 m	100 lignes/mn
C	100 lignes/mn	7 400 m	Résolution
D	100 lignes/mn (IR)	7 400 m (IR)	3 700 x 7 400 m

2 – Caractéristiques générales du vizir

Standard maximal :	15000 lignes 15000 points
Vitesse d'enregistrement :	1000 lignes/mn
Précision du balayage :	$\Delta H, \Delta V < 5$ éléments de résolution
Erreur aléatoire de positionnement :	$\Delta H, \Delta V < 1$ élément
Erreur de cisaillement entre lignes :	$\Delta H < 0,05$ élément
Jitter :	$\Delta H, \Delta V < 0,1$ élément

Caractéristiques photométriques

Dynamique : 32 teintes de $\Delta D = 0,075$ sur support film.

Uniformité de réponse : variation inférieure à 1/2 teinte à entrée constante, due au système de modulation et au support photographique.

Stabilité du gamma : meilleure que 1/2 teinte dans la dynamique et sur une même photographie.

Format

Des considérations de commodité de manipulation et de lisibilité ont conduit à fixer le format utile du document photographique à 400 x 400 mm.

3 - Principe du vizir

L'étude des contraintes décrites ci-dessus, et en particulier, l'examen des caractéristiques de rapidité et de précision ont entraîné les choix suivants :

- La source de lumière est un laser, dont la faible divergence de faisceau autorise une concentration élevée d'énergie et par conséquent un spot de fort éclairément.

- La modulation est obtenue par un modulateur électro-optique.

- Le système de formation du spot se compose d'une optique de focalisation du faisceau sur un diaphragme d'environ 27 μm et d'une optique de collimation, permettant un allongement du trajet optique.

- Le faisceau rendu parallèle à l'axe du tambour tournant, est repris par l'équipage mobile d'une table d'avance pas à pas, qui au moyen d'un miroir et d'une optique collimatrice, projette l'image du diaphragme sur le film récepteur.

- La table d'avance pas à pas composée d'un chariot mobile monté sur glissières et entraîné par vis mère et moteur, assure le décalage du spot pour le balayage trame.

- Le balayage ligne est obtenu par rotation d'un tambour, supportant le film et monté sur palier magnétique.

Analyse succincte des divers éléments

Laser : Il s'agit d'un laser hélium-néon délivrant une puissance maximale de 10 m W, sur une longueur d'onde de 632 nm.

Modulateur : Le modulateur utilise l'effet Pockels. La tension vidéo appliquée sur 2 faces d'un quartz entraîne une rotation du plan de polarisation de la lumière qui le traverse. Cette rotation est ensuite traduite en variation de transparence par l'intermédiaire d'un polarisateur croisé.

Distribution d'énergie dans le spot : Elle est très voisine d'une courbe de Gauss.

Palier magnétique : Les contraintes de précision et de stabilité mécaniques ont déterminé le choix d'un rotor, monté sur palier magnétique, dont les caractéristiques dimensionnelles sont les suivantes :

diamètre extérieur : 160 mm

longueur : 420 mm

la masse de la partie tournante est d'environ 14 Kg.

Fonctionnement : Le rotor est maintenu en état de lévitation par 5 asservissements électromagnétiques.

Un électro-aimant plan assure l'asservissement axial, tandis que 2 paliers cylindriques permettent l'asservissement des mouvements radiaux.

Un moteur asynchrone à cage effectue la mise en rotation de l'équipage mobile.

Les caractéristiques dynamiques sont cohérentes avec les spécifications définies ci-dessus en 2.

Film photographique : Des considérations de dynamique de noircissement et surtout de réponse spectrale et de résolution, conduisent à faire usage des films Kodak 3410 et SO392 à développement conventionnel, ou DRY SILVER 7869 thermocoagulable.

La fréquence spatiale limite est, dans ces conditions, de 35 à 40 cycles/mm ; valeur convenable si on la compare à la fréquence de coupure du système d'analyse, qui ramenée au film, a pour valeur F_c : 18 cycles/mm.

Gestion des modes : La restitution des divers modes de fonctionnement A, B, C, D des satellites SMS-GOES, ou des informations de tout autre satellite de caractéristiques compatibles est obtenu de manière dynamique à partir d'un standard de base unique ; c'est-à-dire que :

- Le tambour tourne toujours à la même vitesse : celle qui correspond au mode A.
- L'image finale a toujours le même format.
- Le spot a toujours le même diamètre : celui qui correspond au mode A.

Dans les autres modes de fonctionnement, l'image transmise a une résolution spatiale plus faible : il y a moins de points par ligne et de lignes par image.

Pour conserver le même format, il faudra donc élargir artificiellement le spot en utilisant des cadences de prélèvement de l'information plus faibles et en inscrivant plusieurs fois la même ligne.

La table suivante donne, par mode, les fréquences de prélèvement et le nombre de répétitions nécessaire pour chaque ligne.

Mode	A	B	C/D	I.R.
Fréquence de prélèvement	291,200 Khz	145,6 Khz	36,4 Khz	72,8 Khz
répétitions	1	2	8	8

Un mini-calculateur assure la gestion des modes ainsi que l'élaboration des signaux de service, en particulier, il commande la synchronisation de l'écriture ligne et l'avance de la table. Sa fonction est aussi de servir d'interface entre la source du message numérique, véhiculant le signal d'image et l'organe de visualisation proprement dit.

Conclusion

- Le VIZIR permet la synthèse des images transmises par SMS-GOES dans un standard de qualité compatible avec les hautes performances de l'instrumentation embarquée.

- L'emploi d'un petit calculateur, traitant le signal numérique avant conversion analogique, autorise la visualisation de télémessures de format différent, à la condition que les paramètres dynamiques du signal ne soient pas notablement plus élevés que ceux relatifs au mode A de SMS. C'est ainsi que des images provenant du satellite ERTS/LANDSAT ont été enregistrés avec succès.

- L'interface calculateur rend d'autre part possible l'application de méthodes de correction ou d'accentuation des images, visant à mettre en évidence des détails de textures ou des structures, difficilement accessibles par observation directe.

VII – SIMULATION NUMERIQUE DES CIRCULATIONS ATMOSPHERIQUES ET MODELES DE PREVISION

D. ROUSSEAU

Météorologie Nationale
Etablissement d'Etudes et de Recherches Météorologiques
Groupement de Météorologie Dynamique
73-77 rue de Sèvres – 92100 – Boulogne

Introduction

L'activité de la recherche française s'est poursuivie dans certains domaines dont l'étude avait déjà été amorcée dans la période précédente : problème de l'analyse quadridimensionnelle (Laboratoire de Météorologie Dynamique), problèmes numériques liés à l'intégration des équations d'évolution de l'atmosphère sur la sphère (Laboratoire de Météorologie Dynamique et Météorologie Nationale).

Parallèlement les problèmes liés à l'intégration des modèles de prévision numérique sur domaine limité ont été abordés et ont abouti sur le plan pratique à l'utilisation opérationnelle de "modèles à mailles fines" et à la conception d'un système de prévision basé sur des "modèles emboîtés" (Météorologie Nationale).

Analyse et initialisation

Dans ce domaine les travaux ont porté sur l'analyse des données traditionnelles synoptiques et sur l'utilisation des données asynoptiques (assimilation quadridimensionnelle).

Pour l'analyse des données météorologiques traditionnelles, l'application d'une méthode d'analyse de variables régionalisées connue sous le nom de "Krigage universel" et déjà utilisée en prospection minière a été mise en oeuvre (Delfiner 1973).

C'est une méthode optimale en un certain sens, qui a le mérite, en outre, de fournir des estimations de l'erreur d'analyse. Elle peut être utile pour étudier les répartitions des stations d'observation et sa possibilité d'utilisation opérationnelle est actuellement étudiée.

Les données asynoptiques fournies par les satellites posent encore de nombreux problèmes théoriques et pratiques. Les études menées au Laboratoire de Météorologie Dynamique, appuyées par des simulations numériques, montrent qu'il y a lieu de considérer trois facteurs pour l'assimilation des données : la prédictabilité du modèle, les propriétés d'amortissement des ondes de gravité du schéma numérique et la fréquence d'introduction des données : un optimum existe pour cette dernière qui est fonction des deux premiers paramètres (Talagrand 1972, Talagrand et Morel 1974).

Un terme de viscosité de la forme $\nu \text{ grad } (\text{div } \vec{V})$ a été proposé pour l'amortissement des ondes de gravité (Sadourny 1972) qui a l'avantage de n'agir que sur la partie divergente du vent et est bien adapté aux modèles effectuant l'assimilation des données asynoptiques.

Modèles globaux

L'obtention de schémas numériques applicables à l'élaboration de modèles globaux de circulation générale ou de prévision s'est faite selon deux approches. L'une s'appuie sur une discrétisation régulière des faces d'un polyèdre inscrit dans la sphère (icosaèdre par exemple) projetées sur la sphère. La répartition des points de grille sur la sphère est alors

presqu'uniforme. Des schémas conservatifs (masse, énergie et enstrophie) ont été mis au point dans cette représentation ; l'importance pour le schéma numérique de la conservation de l'enstrophie a été mise en évidence, en relation avec les propriétés spectrales des fluides turbulents. Une autre approche consiste en l'utilisation de décompositions en fonctions sphériques des champs météorologiques (Rochas 1973). Ont été traités particulièrement les problèmes liés à l'obtention de conditions initiales et de l'utilisation des nouvelles techniques d'intégration des modèles spectraux.

Un modèle spectral de simulation basé que les équations primitives à cinq niveaux a été élaboré et est en cours de test.

Modèles à maille fine

Pour satisfaire les besoins de la prévision numérique à courte échéance (jusqu'à 36 heures), ont été développés des modèles travaillant sur des domaines limités, à maille de calcul deux fois plus fine que celle utilisée précédemment et comportant au moins cinq niveaux. C'est ainsi que la Météorologie Nationale a mis au point et utilise maintenant opérationnellement des modèles de prévision à maille fine filtrés (Lepas, Trochu 1971) et à équations primitives comportant cinq niveaux (Rousseau 1971). Dans ce dernier modèle l'évolution de la vapeur d'eau est prise en compte et le processus d'évolution des perturbations synoptiques est simulé : une prévision quantitative des précipitations est élaborée.

Les questions numériques liées à l'intégration numérique d'un modèle à équations primitives sur domaine limité et à l'obtention d'un schéma d'intégration performant ont d'autre part abouti à l'élaboration d'un modèle de prévision utilisant pour l'advection un schéma explicite et pour l'adaptation un schéma implicite, ce qui permet des pas de calcul 5 fois plus grands que les schémas usuels (Lepas 1973).

Modèles emboîtés

Pour permettre d'allonger les échéances des prévisions et d'obtenir des prévisions suffisamment fines sur un domaine limité sans pour autant que les temps de calcul soient incompatibles avec une exploitation météorologique, un système de prévision basé sur des "modèles emboîtés" a été étudié, qui est à l'heure actuelle partiellement en exploitation à la Météorologie Nationale. Le système est basé sur l'utilisation successive de 3 versions A, B et C d'un modèle à équations primitives.

En premier lieu une version du modèle comportant 5 niveaux verticaux et une maille horizontale de 360 Km en moyenne (modèle A) effectue une simulation de 48 heures sur une grande partie de l'hémisphère Nord. Ensuite une version de maille 180 Km en moyenne (modèle B) effectue la prévision synoptique sur un domaine Europe-Atlantique. Les conditions aux limites sont périodiquement renouvelées au cours de l'intégration en utilisant les résultats de prévision à 12, 24, 36 et 48 heures du modèle A. Ce premier élément des "modèles emboîtés" est en exploitation régulière depuis 1974.

Enfin, pour certaines échéances une adaptation régionale de la prévision peut être effectuée sur la France à l'aide d'une version à 10 niveaux et un maillage de 36 Km (modèle C) en se servant comme conditions initiales des résultats du modèle B. Ce dernier élément a fait l'objet de quelques tests sur des situations perturbées intéressantes qui ont montré les possibilités d'une telle adaptation, en particulier par les vents régionaux et la localisation fine des précipitations.

DELFINER P. — 1973 — "Analyse objective du géopotentiel et du vent géostrophique par Krigeage universel". *La Météorologie* n° 25, p. 1-58.

LEPAS J. et alii. — 1971 — "Prévision numérique sur un domaine restreint à l'aide des équations primitives traitées de façon implicite". *Cahiers de la Météorologie* n° 2, Oran, p. 85-103.

- LEPAS J., TROCHU M. et BENZAGHOU M. - 1971 - "Modèle de prévision à maille fine sur domaine réduit". *Cahier de la Météorologie* n° 3 Oran p. 53-71.
- LEPAS J., BENZAGHOU M. et BOULAHYA M. - 1971 - "Remarques complémentaires sur la résolution numérique des équations primitives par méthodes implicites". *Cahiers de la Météorologie* n° 3, Oran - p. 71-79.
- LEPAS J. et alii. - 1973 - "Méthode implicite de résolution numérique des équations primitives". *Cahiers de la Météorologie* n° 4, Oran p. 67-106.
- MOREL P., LEFEVRE G. et RABREAU G. - 1971 - "On initialization and non synoptic data assimilation". *Tellus* vol. 23 n° 3 p. 197-206.
- MOREL P., TALAGRAND O. - 1974 - "Dynamic approach to meteorological data assimilation". *Tellus* vol. 26, n° 3 p. 334-344.
- ROCHAS M. - 1971 - "Solution spectrale de l'équation de balance linéarisée sur la sphère". *La Météorologie* n° 17, p. 29-39.
- ROCHAS M. - 1973 - "Fonctions sphériques. Application à la Météorologie". *La Météorologie* n° 25 p. 59-84.
- ROUSSEAU D. - 1971 - "Prévision numérique à courte échéance par un modèle à équations primitives à 5 niveaux". *Cahier de la Météorologie* n° 3, Oran, p. 39-51.
- ROUSSEAU D. et PHAM H.L. - 1971 - "Premiers résultats d'un modèle de prévision numérique à courte échéance sur l'Europe". *La Météorologie* n° 20, p. 1-12.
- ROUSSEAU D. - 1974 - "Modèles mathématiques de prévision des précipitations". *Compte-rendu des XIII^e journées de l'Hydraulique*. Question II Rapport 7. Paris.
- SADOURNY R. - 1972 - "Approximations en différences finies des équations de Navier-Stokes appliquées à un écoulement géophysique". *Annales de Géophysique* p. 763-802.
- SADOURNY R. - 1974 - "Méthodes et techniques d'intégration numérique adaptée à l'étude des écoulements planétaires". *Lecture Notes in Computer Science* Vol. 11 p. 22-36.
- TALAGRAND O. et MIYAKODA K. - 1971 - "The assimilation of past data in dynamical analysis". *Tellus* vol. 23 n° 4-5 p. 310-327.
- TALAGRAND O. - 1972 - "On the Damping of high Frequency Motions in Four-Dimensional Assimilation of Meteorological Data". *Journal of Atmospheric Sciences* vol. 29 p. 1571-1572.

VIII – THEORIE DE LA TURBULENCE ET COUCHE LIMITE

J.C. ANDRE

Météorologie Nationale
Etablissement d'Etudes et de Recherches Météorologiques
Groupement de Météorologie Dynamique
73-77 Rue de Sèvres – 92100 Boulogne

Au cours de ces quatre dernières années l'étude de la turbulence a enregistré d'importants progrès sur le plan théorique. Ces progrès sont dus à une meilleure compréhension des phénomènes d'irréversibilité et d'amortissement tourbillonnaire dans les théories statistiques de la turbulence. Ils ont permis d'apporter une solution intéressante au problème de la fermeture des équations aux corrélations statistiques entre les paramètres décrivant l'état du fluide atmosphérique (vitesse et/ou température essentiellement). Ces méthodes de fermeture sont caractérisées par l'introduction de termes irréversibles prenant en compte de façon phénoménologique l'influence des corrélations d'ordre élevé. En pratique, ces théories décrivent de façon explicite les corrélations d'ordre 1 (vitesse et/ou température moyennes), d'ordre 2 (énergie cinétique turbulente et transfert turbulent de chaleur par exemple) et d'ordre 3 (essentiellement le transfert d'énergie cinétique turbulente) alors que l'action irréversible des corrélations d'ordre 4 est prise en compte par un terme d'amortissement turbulent. Ces théories ont été appliquées à divers types d'écoulements d'intérêt géophysique et météorologique. Dans le cas de la turbulence homogène et isotrope, une théorie ainsi construite (Frisch, Lesieur, Brissaud, 1974) a été utilisée pour décrire l'écoulement bidimensionnel de l'atmosphère à grande échelle ainsi que pour étudier les phénomènes de viscosité turbulente des écoulements tridimensionnels. Dans le cas de la turbulence inhomogène suivant la verticale, une théorie susceptible des mêmes justifications (Blanchet, 1970) a permis de simuler les variations diurnes à l'intérieur de la couche limite planétaire.

1 – Turbulence bidimensionnelle et dynamique de grande échelle

Dans le cas de la turbulence homogène et isotrope, la théorie dite "théorie quasi-normale avec amortissement turbulent", dont l'élément essentiel est la prise en compte de l'interaction irréversible entre les corrélations d'ordres successifs (André, 1974) par l'intermédiaire d'un temps de relaxation pour les corrélations triples (Lesieur, 1973), a été appliquée avec succès aux écoulements bidimensionnels. On a pu ainsi mettre en évidence l'importance des propriétés de conservation vis à vis du comportement statistique de l'écoulement (Basdevant, 1973 ; Basdevant, Sadourny, 1975). En particulier la conservation de l'enstrophie (carré du tourbillon) joue un rôle fondamental dans la détermination des transferts d'énergie entre les différentes échelles du mouvement et dans l'établissement de la répartition spectrale de l'énergie cinétique suivant une loi de Kolmogorov en k^{-3} (Pouquet, Lesieur, André, 1975). La restriction de cette théorie au cas bidimensionnel et isotrope a été justifiée par les résultats de l'expérience EOLE (Morel, Bandeen, 1973) qui a permis, entre autre, de vérifier l'isotropie et la quasi-bidimensionnalité de l'écoulement atmosphérique pour des échelles variant approximativement entre 100 et 1000 km. L'étude théorique fournit d'autre part un cadre adéquat pour la compréhension des données EOLE aussi bien en ce qui concerne la divergence atmosphérique à 200 mb (Necco, 1972 ; Morel, Necco, 1973), que certains aspects de la circulation générale dans l'hémisphère sud (Desbois, 1973 ;

1974a ; 1974b ; Morel, Desbois, 1974) et que la diffusion turbulente à grande échelle (Morel, Larchevêque, 1974).

Notons enfin que la conservation de l'enstrophie (ou plus exactement de la pseudo-vorticité potentielle) est un élément fondamental à considérer dans la construction des schémas numériques destinés à la simulation sur ordinateur de la circulation atmosphérique (Sadourny, 1973 ; 1975a ; 1975b ; Basdevant, Sadourny, 1974). (cf. le chapitre "Simulation Numérique" pour les autres aspects de ce problème).

2 - Turbulence tridimensionnelle et couche limite

Dans ce domaine aussi, la théorie quasi-normale avec amortissement turbulent a trouvé d'intéressantes applications. Tout d'abord, dans le cadre de la turbulence tridimensionnelle et isotrope, elle a permis d'éclairer d'une nouvelle manière le problème de la dissipation turbulente de l'énergie cinétique en montrant que cette dernière est due à l'apparition de zones où la vorticité se concentre fortement (Brissaud, Frisch, Léorat, Lesieur, Mazure, Pouquet, Sadourny, Sulem, 1973). En plus de l'énergie cinétique, les écoulements tridimensionnels admettent un autre invariant : l'hélicité, produit scalaire de la vitesse par le tourbillon. La conservation de cette seconde quantité pourrait modifier la dynamique des écoulements tridimensionnels (Lesieur, Frisch, Brissaud, 1971 ; Brissaud, Frisch, Léorat, Lesieur, Mazure, 1973), en particulier dans la couche limite planétaire où l'action combinée de la force de Coriolis et du gradient de l'intensité de la turbulence est un facteur favorable au développement de l'hélicité.

En ce qui concerne l'étude de la turbulence inhomogène, la théorie décrite précédemment est pratiquement inutilisable car elle implique des calculs difficilement généralisables en présence d'inhomogénéités. Il faut donc introduire l'amortissement turbulent de façon simplifiée. Ceci est possible en juxtaposant au système des équations aux corrélations statistiques jusqu'à l'ordre 3 inclus un système d'inégalités destinées à limiter la croissance des corrélations triples (Blanchet, 1970). Une telle théorie, basée en outre sur l'approximation de Boussinesq mais n'incluant pas de coefficients d'échange turbulent, permet alors de décrire l'évolution diurne des paramètres météorologiques dans la couche limite planétaire : température moyenne (André, 1971), vent horizontal moyen (De Moor, 1972) et dispersion turbulente de polluants passifs (Blanchet, Lacarrère, Miqueu, du Vachat, 1973). De telles simulations sont en accord qualitatif avec des résultats expérimentaux comme l'établissement du régime d'Ekman ou le développement des couches convectives et des instabilités thermiques. En ce qui concerne ces derniers phénomènes, une autre approche a été développée pour expliquer la montée par saut du front convectif (Guillemet, 1973 ; Guillemet, Rosset, Mascart, Isaka, Soulage, 1973), approche basée sur la simulation en dimension 2 des équations de Boussinesq et utilisant un coefficient d'échange turbulent (Mascart, 1973 ; Mascart, Rosset, Isaka, 1973). Pour une description plus complète des phénomènes convectifs dans la couche limite planétaire, on pourra se reporter au premier chapitre. Une troisième approche, basée sur la simulation numérique directe des équations de Boussinesq sur une maille très fine ($50 \times 50 \times 50$ m) et utilisant des coefficients d'échange déterminés à partir du nombre de Richardson pour paramétriser les transferts turbulents d'échelle inférieure à la maille, permet une description fine et non statistique de l'évolution d'une couche limite planétaire en équilibre dans un écoulement de plus grande échelle (Somméria, 1974a ; 1974b).

3 - Conclusion

Ces dernières années ont vu un développement important d'une nouvelle approche de la turbulence basée sur la mécanique statistique. Ces théories ont apporté un nouvel éclairage sur la dynamique turbulente de l'atmosphère, aussi bien à grande qu'à petite échelle. Dans le domaine de la couche limite elles ont permis de préciser certaines

conditions d'application et aussi certaines limitations des approches plus anciennes telles que celles basées sur la notion de coefficient d'échange turbulent.

ANDRE J.C. (1971). — "Traitement numérique de l'évolution statistique d'une couche atmosphérique". *La Météorologie*, n° 18, 29-57.

ANDRE J.C. (1974). — "Irreversible interaction between cumulants in homogeneous, isotropic, two-dimensional turbulence theory". *Physics of Fluids*, Vol. 17, n° 1, 15-21.

BASDEVANT C. (1973). — "Propriétés ergodiques des écoulements bidimensionnels inviscides tronqués, à divergence nulle". *Thèse de Doctorat de 3^e Cycle*, Université de Paris VI.

BASDEVANT C., SADOURNY R. (1974). — "Quasi-inviscid dynamics of numerical models of two-dimensional flows". *Proceedings of the Fourth International Conference on Numerical Methods in Fluid Dynamics*. Berlin, Springer Verlag, 64-68.

BASDEVANT C., SADOURNY R. (1975). — "Ergodic properties of inviscid truncated models of two-dimensional incompressible flows". *Journal of Fluid Mechanics*.

BLANCHET J. (1970). — "Etude statistique d'un système fluide. Application à la météorologie". *La Météorologie*, n° 15, 15-78.

BLANCHET J., LACARRERE P., MIQUEU M., du VACHAT R. (1973). — "Diffusion turbulente d'un polluant passif dans l'atmosphère". *La Météorologie*, n° 27, 37-83.

BRISSAUD A., FRISCH U., LEORAT J., LESIEUR M., MAZURE A. (1973). — "Helicity cascades in fully developed isotropic turbulence". *Physics of Fluids*, Vol. 16, n° 8, 1366-1367.

BRISSAUD A., FRISCH U., LEORAT J., LESIEUR M., MAZURE A., POUQUET A., SADOURNY R., SULEM P.L. (1973). — "Catastrophe énergétique et nature de la turbulence". *Annales de Géophysique*, Tome 29, fasc. 4, 539-546.

DE MOOR G. (1972). — "Traitement numérique de l'évolution statistique d'une couche limite atmosphérique complète". *La Météorologie*, n° 24, 1-41.

DESBOIS M. (1973). — "Transferts macroturbulents à 200 mb d'après les données de l'expérience EOLE dans l'hémisphère sud". *Annales de Géophysique*, Tome 29, fasc. 4, 525-537.

DESBOIS M. (1974a). — "Etude des circulations moyennes et des phénomènes atmosphériques de grande échelle à 200 mb dans l'hémisphère sud d'après les mesures des ballons plafonnants EOLE". *Thèse de Doctorat d'Etat*, Université de Paris VI.

DESBOIS M. (1974b). — "Ondes stationnaires et progressives de la circulation atmosphérique à 200 mb dans l'hémisphère sud étudiées à l'aide de l'expérience EOLE". *Annales de Géophysique*, Tome 30, fasc. 4.

FRISCH U., LESIEUR M., BRISSAUD A., (1974). — "A Markovian random coupling model for turbulence". *Journal of Fluid Mechanics*, Vol 65, part 1, 145-152.

GUILLEMET B., (1973). — "Variations spatiotemporelles de la structure thermodynamique des flux de chaleur et de vapeur d'eau dans une basse couche convective". *Thèse de Doctorat de 3^e Cycle*, Université de Clermont-Ferrand.

GUILLEMET B., ROSSET R., MASCART P., ISAKA H., (1973). — "Flux de chaleur sensible et de vapeur d'eau associés à un "saut convectif" atmosphérique". *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Séance du 17 décembre 1973.

LESIEUR M., FRISCH U., BRISSAUD A. (1971). — "Théorie de Kraichnan de la turbulence. Application à l'étude d'une turbulence possédant de l'hélicité". *Annales de Géophysique*, Tome 27, fasc. 2, 151-165.

LESIEUR M. (1973). — "Contribution à l'étude de quelques problèmes en turbulence pleinement développée". *Thèse de Doctorat d'Etat*, Université de Nice.

MASCART P. (1973). — "Analyse, simulation numérique et interprétation physique de la montée en saut du front convectif et des transferts de chaleur associés". *Thèse de Doctorat de 3^e Cycle*, Université de Clermont-Ferrand.

MASCART P., ROSSET R., ISAKA H. (1973). — "Simulation numérique de l'épaississement d'une couche convective matinale en atmosphère stratifiée claire". *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Séance du 17 décembre 1973.

MOREL P., BANDEEN W. (1973). — "The EOLE experiment : early results and current objectives". *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol 51, n° 4, 298-306.

MOREL P., NECCO G. (1973). — "Scale dependence of the 200-mb divergence inferred from EOLE data". *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol 30, n° 5, 909-921.

MOREL P., DESBOIS M. (1974). — "Mean 200-mb circulation in the southern hemisphere deduced from EOLE balloon flights". *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 31, n° 2, 394-407.

MOREL P., LARCHEVEQUE M. (1974). — "Relative dispersion of constant level balloons in the 200-mb general circulation". *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 31, n° 8, 2189-2196.

NECCO G., 1972. — "Spectres de la divergence et de la vorticité atmosphérique obtenus à partir de traceurs lagrangiens à 200 mb". *Thèse de Doctorat d'Université*, Université de Paris VI.

POUQUET A., LESIEUR M., ANDRE J.C. (1975). — "Evolution of high Reynolds number two-dimensional turbulence". *Journal of Fluid Mechanics*.

ROSSET R., MASCART P., ISAKA H., SOULAGE G. (1973). — "Mode d'épaississement d'une basse couche convective matinale en ciel clair". *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Tome 276, 223-226.

SADOURNY R. (1973). — "Méthodes et techniques d'intégration numérique adaptées à l'étude des écoulements planétaires". *Computing Methods in Applied Sciences and Engineering, Part 2*, Berlin, Springer Verlag, 22-36.

SADOURNY R. (1975a). — "On the dynamics of finite difference models of the shallow water equations". *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 32, n° 4.

SADOURNY R. (1975b). — "Compressible model flows on the sphere". *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 32.

SOMMERIA G. (1974a). — "Numerical simulation of the trade wind layer over the ocean". *Symposium on Tropical Meteorology, Nairobi*, American Meteorological Society.

SOMMERIA G. (1974b). — "Modèle tri-dimensionnel pour la simulation numérique de la couche limite planétaire. Application à la couche limite tropicale". *Thèse de Doctorat d'Etat*, Université de Paris VI.

SECTION VI
SCIENCES HYDROLOGIQUES

TABLE DES MATIERES

	Pages
I – Télédétection et hydrologie, P. POUCHAN et M. VUILLAUME	173 3
II – Le traitement automatique des données, P. DUBREUIL	174 4
III – Qualité des eaux, G. LEYNAUD	176 6
IV – Les bassins représentatifs et expérimentaux, P. DUBREUIL et R. HLAVEK ...	178 8
V – Eaux souterraines, grands axes de recherches et d'études, G. CASTANY	181 11
VI – Les modèles stochastiques dans les sciences hydrologiques, J. BERNIER	185 15
VII – Dynamique des glaciers tempérés et propriétés de la glace, L. LLIBOUTRY ..	187 17
VIII – Glaciologie des régions polaires, R. DELMAS	191 21

I – TELEDETECTION ET HYDROLOGIE

P. POUCHAN et M. VUILLAUME

Ces dernières années, l'application des techniques de télédétection à l'hydrologie a consisté en l'étude d'un certain nombre de cas concrets par différents groupes de chercheurs.

Technologie

La plupart des études ont été réalisées par détection passive (photographie multibande et imagerie infra-rouge). Le matériel utilisé, Cyclope et Super Cyclopa, a été construit par la S.A.T. Le Centre National d'Etudes Spatiales et l'Institut Géographique National ont souvent apporté leur concours technique.

Principales études hydrologiques

– Le groupe du Professeur AVIAS (Montpellier) a particulièrement étudié les conditions de mise en oeuvre et de mesure aéroportée ainsi que les conditions de traitement de l'image en vue de l'analyse immédiate sur un certain nombre de sites dans le sud-est de la France.

– Le Groupe de détection à distance du Centre d'Hydrogéologie et de l'Institut de Géodynamique des Universités I et III de Bordeaux a montré les possibilités et les limites de la détection infra-rouge dans la recherche des émergences occultes, des sources thermales et des réseaux karstiques de sub-surface.

– Le Laboratoire de Radiogéologie de l'Université de Bordeaux I a étudié certaines possibilités d'application de la télédétection passive aux problèmes d'aménagement régional et de pollution.

– Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières a procédé à des études interprétatives sur différents sites et notamment sur les émergences de Port-Miou.

– La Compagnie Générale de Géophysique a procédé à une expérimentation poussée des techniques d'acquisition des données et d'interprétation objective en zone calcaire fissurée.

Plus récemment, la remarquable imagerie multispectrale fournie par le satellite ERTS a ouvert le champ des applications.

L'Action Thématique Programmée du CNRS "Traitement des Images" a permis la mise au point d'un programme d'analyse discriminante. Le procédé de classification supervisée permet le traitement de l'information fournie par 10 canaux ($0,3 \mu$ à $1,1 \mu$).

Sur le plan national, un sous-groupe "Bilan des Ressources en Eau" (BRGM, INRA, ORSTOM, Laboratoire de Météorologie Dynamique) s'est organisé. Les objectifs en cours ou prévus portent sur :

– La typologie des Bassins Versants – Thème central : télédétection, géomorphologie, végétation,

– la mesure de l'Evapotranspiration – Thème central : Rayonnement Net et E.T.R. – Des études avancées ont été déjà réalisées par le Centre Technique du Génie Rural et des Eaux-et-Forêts,

– la mesure de la teneur en eau du sol – Thème central : Pénétration des ondes – Des contacts internationaux étroits sont envisagés.

II – LE TRAITEMENT AUTOMATIQUE DES DONNEES

P. DUBREUIL

Le dépouillement des observations et des mesures, comme le calcul des données caractéristiques qui en découlent, ont réellement cédé la place au cours de la période 1971-74 au traitement automatique des données avec recours systématique à l'informatique.

Cette automatisation s'est effectuée aussi bien au stade de la saisie et de la collecte des données par la mise au point d'enregistreurs à sortie codée compatible avec l'ordinateur, qu'au stade du traitement proprement dit où se sont constitués des bibliothèques de programmes et des fichiers de données.

Cette automatisation a été rapide. Embryonnaire avant 1970, elle est peu à peu introduite dans presque tous les Services et Centres de recherches, et elle est devenue opérationnelle dans la plupart d'entre eux vers 1973 et 1974.

Des choix d'équipement et des choix méthodologiques ont été faits au cours de cette période d'automatisation. Parallèlement le nombre de paramètres caractéristiques des eaux, dont la saisie a été jugée utile, s'est notablement accru. Il en résulte une physionomie particulière de l'automatisation dans chaque domaine des sciences hydrologiques.

Tout d'abord, en ce qui concerne les réseaux classiques d'hydrométrie et de climatologie associée (pluviométrie. . .), l'automatisation a été généralisée dans les Services gestionnaires à tous les niveaux de la chaîne de gestion.

Au niveau de la saisie, des essais d'enregistrement magnétique sur cassettes, directement sur le terrain, ont conduit à la mise au point de prototypes et d'appareils de pré-série (E.D.F. – D.T.G. à Grenoble).

L'introduction en gestion opérationnelle de réseau de ces nouveaux dispositifs ne devrait être sensible qu'au-delà de 1975. Présentement les parcs d'appareils à sortie sur diagramme restent opérationnels (équipement relativement jeune), aussi l'automatisation du traitement les concernant a-t-elle consisté en l'emploi de lecteurs ou analyseurs de courbes semi-automatiques. De tels équipements sont devenus opérationnels à E.D.F. – D.T.G., au Service de l'Hydraulique du Ministère de l'Agriculture (S.R.A.E.) et à l'ORSTOM.

Le traitement de base de ces données de réseaux est entièrement automatique dans ces mêmes Services. Les annuaires hydrologiques sont tous maintenant produits directement sur imprimantes d'ordinateur. L'ORSTOM assure même ainsi depuis 1973 l'impression d'annuaires pour 13 Etats.

Toutes ces données sont rangées en fichiers organisés, qui commencent à former de véritables Banques de données dont l'accès (chargement ou extraction) s'exécute selon des procédures automatiques. Il en est ainsi aussi bien pour les rivières de France que pour les précipitations (Bureau de l'Eau de la Météorologie Nationale). Dans les DOM-TOM et les quelques quinze Pays dans lesquels l'ORSTOM opère directement ou en collaboration (AFRIQUE Francophone, MAGHREB, BRESIL. . .), on dispose maintenant de fichiers pluviométriques, hydrométriques et parfois climatologiques dont certains (précipitations dans neuf Etats d'AFRIQUE Tropicale) sont déjà publiés.

Un développement considérable et décisif est à noter dans le domaine des paramètres hydriques de la zone non-saturée du sol. Méthodologie et appareillages ont été mis au point afin d'obtenir des mesures continues des tensions et des teneurs en eau. Ces travaux sont le

fait du BRGM, d'une part, de diverses équipes universitaires à Grenoble, Paris – Thonon, Montpellier et Toulouse ainsi que du CEA et de l'INRA, d'autre part.

Une chaîne automatique d'acquisition des données, comparable, a été mise au point au BRGM pour les paramètres physico-chimiques des aquifères.

Enfin, on note évidemment un effort parallèle en ce qui concerne la saisie et le traitement des données concernant les éléments dissous et transportés par les eaux. Les problèmes d'appareillage ont été résolus de diverses manières, certainement insuffisamment cohérentes, à partir d'une profusion d'offres de constructeurs étrangers et français dans la production desquels les bons éléments n'apparaissent pas encore clairement. Notons que l'appareillage de prélèvement automatique d'échantillon d'eau ou d'analyse "in situ" est nettement plus élaboré pour les éléments dissous (pression des Services chargés du contrôle de la pollution des eaux), que pour les éléments transportés (intérêt limité en France métropolitaine pour un phénomène non majeur).

Des programmes de traitement automatique de ces résultats d'analyse confrontés aux valeurs de débit commencent à apparaître. Ils seront de plus en plus employés pour les simulations de fonctionnement des systèmes d'eau (exemple : salinité des eaux d'irrigation).

En matière de conclusion, on peut dire que le traitement automatique des données est entré dans les mœurs hydrologiques. Il y a introduit une rigueur qui devrait conduire en amont à améliorer la précision et la fiabilité des capteurs de terrain (pluies, débits). Un important travail est commencé mais non achevé en ce qui concerne la mise en fichiers des données historiques et l'analyse de consistance de ces données. En ce domaine, l'informatique doit rester un outil, la décision finale – correction, élimination de données – restant du ressort du spécialiste.

Sélection de références bibliographiques :

- Anonyme. – "Annales hydrologiques de la France d'Outre-mer 1966-67-68". ORSTOM Edit. 1971.
- DUBREUIL P., LHOÏTE Y. – "Utilisation d'un lecteur de courbes pour le dépouillement automatique des limnigrammes et des pluviogrammes". *Cah. ORSTOM Serv. Hydrologie* – Vol. VIII, 3, 1971.
- MOREAU Y. – "Enregistreur magnétique de données hydrométriques. Description d'un enregistreur".
- BEAUREGARD J. (de). – "Ordinateur et hydrologie" *Bull. Assoc. Géog. Franç.* n° 0389-90 Paris – Mai, Juin 1971.
- CLAUDE J. – "Une chaîne de programmes pour le traitement des données sur la salinité" – *Cah. ORSTOM – Serv. Hydrologie* – Vol. IX, 2, 1972.
- DEREC F. – "Catalogue des programmes disponibles au Département d'Hydrogéologie". – *BRGM* – Déc. 1970.
- SIRCOULON J. – "Les ordinateurs et leur utilisation en hydrologie" – ORSTOM-UNESCO – Paris 1972.
- DEBROZIERE-BOUILLIN O. – "Calcul automatique et cartographie de la distribution des modules d'écoulement total et souterrain d'un bassin". *A.I. Hydrogéologues*, TOKYO, 1971 – Mémoire AIH IX.
- DEREC F., LOUVRIER M. – "Représentation graphique des analyses chimiques. Programme PIPER" – *Bull. BRGM* – Sect. III, 2, 1973.
- SIRCOULON J. – "Un système de stockage informatique des données hydrologiques" – Coll. sur l'utilisation des techniques informatiques et de l'automatisation dans les systèmes d'eau – WASHINGTON 1974.

III – QUALITE DES EAUX

G. LEYNAUD

1 – ASPECTS GENERAUX CONCERNANT LA QUALITE DES EAUX

Méthodes analytiques et détection

Un effort important d'harmonisation et de normalisation des méthodes d'analyse employées par les divers laboratoires a été effectué (inventaire du degré de pollution).

Les micropolluants (métaux lourds, pesticides, P.C.B. . . .) ont fait l'objet de nombreux travaux (mise au point des méthodes d'analyse, recherche dans les eaux, les matières en suspension, les sédiments et les organismes).

De nombreux essais ont été réalisés sur les appareils de mesure "in situ" de divers paramètres de la qualité des eaux ; des stations automatiques de mesure ou de surveillance ont été installées ; leur exploitation pose d'ailleurs de nombreux problèmes encore incomplètement résolus.

Un dispositif biologique automatique de détection des pollutions aiguës, basé sur le comportement du poisson, a été mis au point et utilisé dans des stations de surveillance de la qualité des eaux.

Les techniques de télédétection et transmission ont fait l'objet d'un début d'application.

Toxicité

Un test basé sur l'immobilisation de la daphnie a été mis au point et adopté pour le calcul des redevances imposées sur les déversements de substances toxiques ou inhibitrices.

Les procédures de réalisation des tests de toxicité à court terme sur les poissons et d'interprétation des résultats ont été perfectionnées.

Des actions concertées intéressant plusieurs laboratoires ont été menées pour l'étude des divers aspects de l'intoxication par le plomb sur les poissons, les bactéries, les protozoaires et divers organismes aquatiques.

Des travaux concertés encore en cours ont été entrepris pour préciser le cheminement et le comportement des polluants vis-à-vis des chaînes alimentaires aquatiques.

Un effort de recherche important et soutenu a été réalisé pour l'isolation, la concentration des micropolluants susceptibles d'être trouvés dans les eaux superficielles utilisées pour la préparation d'eau potable et pour l'évaluation de leur toxicité.

Celle-ci a été testée sur cultures cellulaires (cytotoxicité) et animaux de laboratoire.

L'étude des relations entre la qualité des eaux, la morbidité et la mortalité a été entreprise.

2 – EAUX SOUTERRAINES

Des études méthodologiques ont porté sur l'utilisation des données géochimiques pour une meilleure connaissance de l'hydrodynamique et de l'alimentation des nappes.

De très nombreuses données de cette nature ont été recueillies sur les principaux aquifères et mises en mémoire ; leur traitement a fait l'objet de diverses mises au point (corrélations multiples – analyse factorielle des correspondances – analyse en composantes principales).

Les recherches ont également porté sur le comportement des polluants en milieu saturé et non saturé (transit, dégradation) et la propagation des pollutions des eaux superficielles vers les nappes alluviales ; dans ce domaine il faut également signaler les études et expérimentations sur le rôle et les capacités du sol en matière d'épuration (épandage des eaux usées et des boues des stations d'épuration) et sur l'alimentation des nappes à partir d'eaux superficielles traitées ou non.

La pollution de quelques nappes importantes et particulièrement vulnérables (Alsace, Beauce) a fait l'objet d'une surveillance intensive.

La cartographie des réserves d'eaux souterraines de bonne qualité et de la vulnérabilité des nappes à la pollution a été effectuée.

3 – LES EAUX SUPERFICIELLES

Une attention croissante a été portée au rôle des matières en suspension et des sédiments dans les phénomènes de pollution notamment par les micropolluants.

L'étude détaillée des effets physiques et biologiques des matières en suspension (pollutions mécaniques) a été entreprise.

Les recherches sur la biologie des organismes aquatiques et les effets des pollutions ont été développées, elles ont abouti à la mise au point de méthodes biologiques pour la détection des altérations de la qualité des eaux. Elles ont permis aussi la mise en évidence et la caractérisation d'une structure biologique typique à l'échelle d'un réseau hydrographique constituant la base de référence indispensable pour l'appréciation du degré d'altération dû aux pollutions aux différents niveaux écologiques.

En 1971 a été réalisé l'inventaire national du degré de pollution des eaux superficielles à partir de 1201 points d'examen répartis sur l'ensemble du réseau hydrographique. Cet inventaire a porté sur les caractéristiques physico-chimiques, hydrobiologiques, bactériologiques et radioactives des eaux, il a donné lieu à une harmonisation des méthodes de prélèvement et analyse pratiquées par les divers services et laboratoires et à l'application généralisée d'une méthode hydrobiologique (indices biotiques).

Les problèmes liés au réchauffement artificiel des eaux ont fait l'objet de travaux dans le domaine de l'autoépuration et des effets biologiques (températures létales, déplacements de poissons, modifications au niveau des algues et des invertébrés aquatiques, incidence sur la toxicité de certains polluants).

Un modèle mathématique permettant la détermination de la température des cours d'eau à partir des données des stations climatologiques et la prévision de l'impact physique des rejets thermiques a été mis au point et appliqué aux principaux fleuves français.

Des recherches approfondies ont été entreprises sur les phénomènes de transfert des éléments fertilisants ou polluants des sols vers les eaux superficielles et souterraines.

Des études sur les incidences des travaux d'hydraulique sur la qualité biologique des cours d'eau et les mesures à prendre pour limiter leurs effets nocifs sont en cours.

L'effort de recherche sur les lacs et l'évolution de la qualité de leurs eaux sous l'influence des apports par les tributaires et les affluents riverains ("eutrophisation") a été poursuivi et amplifié. Des mesures de protection basées sur ces recherches ont été proposées et réalisées pour certains lacs importants (dérivation des apports).

IV – LES BASSINS REPRESENTATIFS ET EXPERIMENTAUX

P. DUBREUIL et R. HLAVEK

La matière relative aux bassins représentatifs et expérimentaux est très vaste, puisque ceux-ci constituent peut-être l'outil privilégié de l'hydrologue pour ses investigations scientifiques, et qu'en conséquence les retombées sont nombreuses et variées.

Si l'on veut caractériser, en quelques mots, le bilan 1971-74 en matière de bassins représentatifs et expérimentaux, on peut faire état :

- d'un développement continu sous l'impulsion de la Décennie Hydrologique Internationale,
- d'un approfondissement de l'analyse du mécanisme de transformation des pluies en débits, grâce à la mise en oeuvre de nombreux modèles déterministes,
- d'un effort particulier sur la dynamique de l'eau dans la zone non-saturée,
- d'un élargissement des variables contrôlées avec une prise en compte des paramètres de qualité des eaux,
- d'une tendance à rechercher davantage et à préciser l'influence de l'homme sur les ressources en eau.

On compte en FRANCE Métropolitaine 21 bassins en exploitation auxquels s'ajoutent 5 bassins en France d'outre-Mer. Il faut également mentionner 7 à 9 bassins représentatifs et 1 expérimental exploités par l'ORSTOM dans le Bassin méditerranéen et en AFRIQUE Tropicale.

Si le nombre de bassins est important, la diversité des sujets ne l'est pas moins, beaucoup de ces bassins répondant à un objectif spécifique original.

Une majorité de bassins étaient évidemment orientés vers la connaissance du comportement hydrologique particulier à un milieu naturel bien défini.

La variété retenue en est assez riche :

- versant alsacien du Massif vosgien (DOLLER, géré par le S.R.A.E. d'Alsace),
- socle armoricain granitique ou schisteux (BLAVET, géré par le CTGREF),
- limons de Brie (ORGEVAL, géré par le CTGREF),
- massif schisteux des Maures (REAL COLLOBRIER, géré par le CTGREF),
- molasse des coteaux du Gers (MIELAN, géré par GERSAR),
- plateau cristallin de Millevaches (DIEGE, géré par E.D.F., puis par Laboratoire d'hydrologie de Montpellier),
- grès et calcaires du bassin de la Vézère (S.H.C. de Dordogne),
- forêt équatoriale sur granites (Cr. GREGOIRE, géré par ORSTOM)... etc.

La compréhension de l'influence du milieu sur les divers composants du cycle de l'eau a été mise en évidence dans ces divers bassins. Plusieurs responsables scientifiques ont fait des thèses sur ce sujet. Parallèlement aux études globales classiques des relations pluie-saturation-ruissellement, le développement des modèles déterministes a beaucoup contribué à cette compréhension. Le Laboratoire d'hydrologie de Montpellier a ainsi pu tester son modèle sur les bassins de la DIEGE, de l'ORGEVAL, du REAL COLLOBRIER... ce qui lui a permis d'organiser le calage des paramètres en fonction du milieu.

D'autres modèles ont été élaborés parallèlement par l'ORSTOM en collaboration avec le QUEBEC (modèle à discrétisation spatiale, c'est-à-dire à mailles carrées), et également par l'Agence de bassin Rhône-Méditerranée (modèle de reconstitution des crues cévenoles du Gardon d'Anduze en vue d'application à la prévision). Dans ce dernier cas, une analyse hydrodynamique des sols a permis de lier le calage des paramètres à la nature des terrains (granites, schistes ou calcaires). La fonction de production de ces modèles s'est perfectionnée grâce aux nombreux travaux sur les mouvements de l'eau dans la zone non-saturée, menés aussi bien sur le plan théorique qu'expérimental par diverses équipes (Université de Grenoble, Montpellier, Toulouse, Gersar...). On peut mentionner particulièrement la mise en oeuvre des techniques neutroniques d'humidité des sols, permettant d'analyser le rôle de celles-ci dans l'apparition du ruissellement et l'évolution vers la saturation en période pluvieuse, comme vers le dessèchement du contenu en eau du sol en période sèche (bassin de MIELAN, travaux ORSTOM en COTE D'IVOIRE et à MADAGASCAR). Sur certains bassins, l'objectif était la compréhension du mécanisme d'alimentation de la nappe.

Sur le bassin de l'HALLUE, le BRGM a réglé un modèle bi-dimensionnel de nappe d'après la méthode de MERO, ainsi qu'un modèle de déconvolution liant pluie et écoulement. L'application en est faite à la simulation de fonctionnement des aquifères de la craie du Nord de la FRANCE.

La mise en oeuvre du même modèle de MERO sur le bassin du karst de SAUGRAS (Laboratoire d'Hydrogéologie de Montpellier) a donné également des résultats intéressants quant à l'infiltration efficace dans ces terrains particuliers.

Les problèmes de qualité des eaux ont retenu l'attention de certaines équipes de recherche. L'INRA a dressé ainsi le bilan hydrique du lac de NANTUA par modèle probabiliste en introduction à une étude de contrôle de l'eutrophisation. Sur le bassin des Blaves (pré-Alpes de la rive gauche du Léman), le Centre de Recherches Géodynamiques a étudié les conditions de recharge et la durée de renouvellement des divers aquifères de cette région géologique complexe (grès et calcaires sous un épais recouvrement quaternaire). A cet effet, un modèle a été établi à partir de la concentration en tritium des eaux, d'une hypothèse de recharge constante (sorties linéairement liées aux entrées) et d'un algorithme de mouvement dans la zone non-saturée. La réalimentation des nappes est supposée se faire par mélange des apports annuels au stock existant. L'analyse des concentrations en oxygène 18 a permis de préciser ce modèle.

On mentionnera enfin, les recherches du CTGREF (Bassin de l'ORGEVAL) pour mettre au point une méthode d'estimation de l'évapotranspiration réelle à l'échelle d'un bassin à partir des variables climatiques classiques, et de calcul de l'évolution de la réserve en eau du sol (bilans mensuels puis décennaires). Une parcelle expérimentale de 600 m², drainée, a été utilisée pour le calage de ce processus. Elle a également servi à l'analyse de l'influence du drainage sur le régime d'écoulement à partir de pluies artificielles chargées en traceur. Les effets de piston et de mélange des eaux y ont été décelés comme susceptibles de se manifester concomitamment.

Parallèlement à ces nombreux travaux analytiques, on notera l'effort particulier déployé pour publier les résultats de recherches de manière coordonnée, et pour diffuser les données de base recueillies. Là aussi, le traitement automatique des informations collectées a apporté une aide efficace, son introduction est particulièrement nette au CTGREF d'ANTONY, au Laboratoire d'Hydrologie de Montpellier et à l'ORSTOM. Des programmes originaux de traitement des données de bassins représentatifs ont été mis au point.

L'influence de l'homme sur le cycle hydrologique commence sérieusement à être analysée par diverses équipes. On peut rappeler les travaux du CTGREF pour le contrôle des effets du drainage agricole, et des rejets de produits de traitement agricole (bassin de l'ORGEVAL), ceux de l'INRA sur l'eutrophisation. L'ORTSOM poursuit des études sur

l'érosion des terres soumises à l'action de l'homme (REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE, TUNISIE). Elle a également commencé l'exploitation d'un bassin expérimental destiné à étudier les effets sur le cycle de l'eau de la mise en cultures (rizières, plantations forestières. . .) des prairies naturelles des plateaux malgaches ou de maquis méditerranéen (déforestation dans les Monts de Khoumirie, TUNISIE).

Une intensification de ces études expérimentales de l'influence de l'homme est certaine au cours des prochaines années.

Sélection de références bibliographiques :

DUBREUIL P. - "Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux de l'ORSTOM 1951-69" - ORSTOM Editeur - 916 p. 1972.

CORMARY Y., GUILBOT A. - "Etude générale de quelques modèles déterministes de relations pluies-débits". - Laboratoire Hydrologie de Montpellier - 1971.

DUBREUIL P. - "L'exploitation systématique des données de bassins représentatifs en traitement automatique" - *Cah. ORSTOM - Ser. Hydrologie*, Vol. VIII, 3, 1971.

GIRARD G. et als. - "Modèle précipitations-débits à discrétisation spatiale" - *Cah. ORSTOM - Ser. Hydrologie*, Vol. IX, 4, 1972.

OBERLIN G. - "Les bassins représentatifs de l'ORGEVAL : étude du bassin de la GOUGE 1962-66" - *Bull. Techn. du Génie Rural* n° 109 - 1971.

RAMPON A. - "Contribution à l'étude des facteurs du bilan de l'eau, les bassins représentatifs du BLAVET" - CTGREF Antony - 1972.

SIWERTZ E. - "Etude expérimentale par le tritium et l'oxygène 18 de l'infiltration sur lysimètre et sur le bassin de THONON" - Thèse Univ. Paris VI, 1973.

HOFER G. - "Contribution à l'amélioration de la prévision des crues. Modèle de relation pluie-débit du bassin du GARDON D'ANDUZE" - Agence Rhône Méditerranée - 1974 (thèse ing. doct. à Paris VI).

Nombreux Auteurs. - "Décennie Hydrologie Internationale. Résumés des résultats de recherches obtenus par la FRANCE sur bassins représentatifs". - *Cah. ORSTOM - Serv. Hydrologie*, Vol. IX, 2, 1974.

N.B. - Ce document contient toute l'information et des listes bibliographiques complètes sur les bassins représentatifs français exploités jusqu'en 1974.

V – EAUX SOUTERRAINES, GRANDS AXES DE RECHERCHES ET D'ETUDES

G. GASTANY

Les recherches et études, en France, concernant les eaux souterraines sont entreprises, d'une part, par les laboratoires spécialisés des Universités et des Grandes écoles, le Centre national de la Recherche scientifique (CNRS) et la Délégation générale à la Recherche scientifique et technique (DGRST) et, d'autre part, par des organismes publics ou privés.

Dans le domaine de la recherche scientifique, en laboratoires et sur le terrain, le CNRS, par une Action thématique programmée "Hydrogéologie", a largement contribué au développement et à la coordination des recherches sur l'eau souterraine. Les travaux sont groupés autour d'un grand thème général "mécanismes des interactions entre l'eau souterraine, milieu et agent vecteur et son environnement naturel ou modifié par l'homme (conditions atmosphériques, biosphère, sol et sous-sol)". Vingt-quatre équipes ont participé à cette Action.

Tout en ayant contribué à la recherche scientifique, les grands organismes, publics ou privés, ont développé la recherche appliquée et les études. Nous citerons : le Service géologique national (B.R.G.M.), le Service des problèmes de l'eau du Ministère de la Qualité de la Vie (S.P.E.), les Agences financières de bassins, les services du Ministère de l'Agriculture (service centraux, services régionaux de l'aménagement des eaux, Instituts nationaux agronomiques), l'Institut français du pétrole, le Commissariat à l'énergie atomique. Les résultats obtenus par ces établissements de recherches sont dégagés dans le texte.

INFORMATIQUE HYDROGEOLOGIQUE. DEVELOPPEMENT DES MODELES MATHEMATIQUES

Quoique l'emploi des modèles analogiques R-C ait connu une nette amélioration par le couplage avec un ordinateur (système hybride), l'effort a surtout porté sur les modèles mathématiques. Cette action a été conduite en coopération avec des chercheurs étrangers. De nouvelles techniques de prétraitement des données ont été développées afin d'obtenir des informations élaborées. Nous citerons le calcul des paramètres d'après des phénomènes complexes, l'extension des séries chronologiques et la reconstitution des données manquantes, l'interpolation dans l'espace d'observations ponctuelles (cartographie automatique, "krigeage"), la recherche statistique de fonction de transfert ou de "convolution" entre les précipitations et l'infiltration efficace, appliquée à la définition de l'alimentation des nappes, l'adaptation, dans le même but, de "modèles déterministes globaux" de bassin à pas de temps variés. Les modèles matriciels de distribution spatiale du module d'écoulement total et de l'écoulement souterrain sont la base d'applications à la cartographie des eaux souterraines.

Les modèles de simulation hydrodynamique ont pris un grand essor. Des bibliothèques de programmes ont été constituées. Les méthodes par différences finies ou par éléments finis ont été développées. Les principaux problèmes traités sont : exploitation d'une nappe captive (ou libre peu influencée) en régime permanent, simulation des écoulements à surface libre et des écoulements avec front salé (modèles hydrodispersifs), procédure de digitalisation des limnigrammes, écoulement en milieu fissuré, écoulements polyphasiques, notamment des déplacements de front (interface eau douce/eau salée, propagation de front de

pollution), écoulements avec dispersion, étude des aquifères multicouches (en particulier du bassin d'Aquitaine).

L'étude des transferts thermiques associés aux écoulements, appliquée à l'exploitation des gisements géothermiques à basse température et à la réinjection d'eaux chaudes, a été abordée par des modèles hydrogéothermiques.

La mise au point de modèles hydrogéochimiques a permis l'étude des échanges entre l'eau souterraine et la matrice solide en vue de la prévision, en milieux non saturé et saturé, des modifications de la qualité chimique des eaux souterraines sous l'action des facteurs naturels ou artificiels.

L'exploitation rationnelle et la conservation des ressources en eau ont été abordées par l'établissement de modèles de gestion et d'optimisation économique. L'objectif est d'établir des modèles permanents, lesquels seront consultés lors de toute exploitation nouvelle.

HYDROGEOLOGIE DES CALCAIRES FISSURES

L'orientation des recherches a été accentuée vers l'acquisition des paramètres physiques (fissuration, karstification) et hydrodynamiques des roches carbonatées. Le but est de représenter la structure interne des réservoirs (répartition dans l'espace et le temps des paramètres), en principe hétérogènes, en vue de l'application de modèles mathématiques pour la simulation des écoulements et de perfectionner l'implantation des ouvrages de captage et l'exploitation rationnelle des eaux souterraines. L'étude du régime des eaux souterraines a été abordée par des recherches concertées de géologie structurale, d'hydrodynamique, d'hydrogéochimie et de géobiologie.. Des résultats encourageants ont été obtenus.

Des recherches sont en cours sur les transferts des solutions dans la zone saturée des aquifères fissurés, principalement carbonatés et argilo-carbonatés.

APPLICATION DES TECHNIQUES NUCLEAIRES A L'HYDROGEOLOGIE

Les recherches et les applications ont porté principalement sur les mesures par sondes à neutrons et le carottage nucléaire et l'hydrogéochimie isotopique. Dans ce domaine, outre les études classiques d'applications hydrogéologiques des isotopes du milieu (oxygène 18, carbone 13 et 14, deutérium, tritium), des recherches ont abouti sur l'emploi de l'azote 15 et du soufre 34. La méthodologie de l'utilisation des isotopes artificiels a été perfectionnée sur des stations d'essais. L'application des méthodes de géochimie isotopique a été particulièrement développée à la détermination des paramètres hydrodynamiques des aquifères, au renouvellement des réserves et à la propagation des polluants. Des recherches sont poursuivies sur l'utilisation des isotopes du milieu dans le contexte hydrogéochimique et biologique général.

Les laboratoires, bien équipés, permettent d'effectuer, non seulement toutes les analyses classiques, mais grâce à la confrontation entre hydrogéologues et géochimistes, d'interpréter les résultats avec le maximum d'efficacité.

ETUDE DE LA ZONE NON SATURÉE – MECANISME DES ECHANGES ATMOSPHERE-EAUX SOUTERRAINES

Un effort de recherche important, en laboratoire et sur stations d'essais, concernant la zone non saturée a abouti à des résultats concrets. Les transferts d'eau et l'évolution des caractéristiques géochimiques de l'eau ainsi que les échanges avec les formations géologiques

de substances minérales ou organiques sont abordés par des études hydrodynamiques, hydrogéochimiques, thermodynamiques et biologiques. Actuellement les études hydrodynamiques, y compris la dynamique de la dispersion, sont très avancées. Les résultats obtenus ont permis de maîtriser les problèmes de transferts de masses. L'influence de la température sur le transfert d'humidité est en cours d'étude. Une attention particulière est portée sur les cycles de l'azote (application à l'azote 15) et du carbone (application au carbone 14).

Les appareils de mesure, in situ, des différents paramètres et en particulier de l'humidité et de la tensiométrie sont opérationnels. L'automatisation des mesures est au point. Des modèles mathématiques ont été réalisés.

Possédant ainsi des laboratoires bien équipés, des stations d'essais in situ, un matériel de mesure adapté et des équipes multidisciplinaires de recherches, l'hydrogéologie en France aborde l'étude de la zone non saturée avec efficacité.

ACTION DE L'HOMME SUR LA QUALITE DE L'EAU. PREVENTION, DETECTION ET PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES ET DU SOUS-SOL CONTRE LA POLLUTION

L'action de l'Homme sur la qualité des eaux souterraines, ayant fréquemment pour résultats sa dégradation, s'accroît constamment. Les études, en laboratoire et sur stations d'essais, concernent les transferts, la dilution et la dispersion de substances polluantes et les interactions physico-chimiques entre les polluants et les constituants des formations géologiques. Les conséquences de la fertilisation croissante des terres agricoles (nitrates en particulier) ont été abordées dans quelques régions (Nord de la France, bassin de Paris). Un effort particulier a porté sur une pollution naturelle très fréquente : l'invasion des eaux salées marines dans les eaux douces sur le littoral. Il a abouti à une méthodologie d'investigation et de protection.

Des modèles mathématiques de simulation de la propagation, donc de la prévision, de la pollution ont été élaborés.

La définition de critères de la vulnérabilité des nappes à la pollution a abouti à l'établissement de cartes spécialisées à différentes échelles (1/25 000 à 1/200 000).

Toutes les recherches effectuées ont permis d'aborder, avec plus de rigueur, la définition des périmètres de protection des aquifères.

AUTRES THEMES D'ETUDES

La technique de l'alimentation artificielle des nappes d'eaux souterraines a été perfectionnée et appliquée sur différents sites expérimentaux. En particulier l'injection d'eau de surface dans l'aquifère captif albien du bassin de Paris a donné des premiers résultats encourageants.

Des recherches sont en cours sur la thermométrie des eaux souterraines profondes, en particulier du bassin de Paris et du bassin d'Aquitaine. Elles ont des applications vers l'utilisation des eaux chaudes et la thermodynamique.

Des études expérimentales des caractéristiques du transfert et de l'emmagasinement de l'eau dans les formations réputées imperméables sont engagées.

EVALUATION DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES ET INFRASTRUCTURE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA FRANCE

Les inventaires de base ont été poursuivis avec orientation générale vers une technique extensive dans le cadre du département, de la région naturelle ou du bassin. Ils ont permis de prospecter, relativement en peu de temps, des surfaces importantes évaluées à 25 % du territoire. Parallèlement des inventaires intensifs (relevé systématique de tous les points d'eau et ouvrages de captage) ont couvert 48 coupures topographiques au 1/50 000.

La mise en place d'un réseau piézométrique national a été intensifiée. Des relevés systématiques, avec quelques enregistrements continus, couvrent la région parisienne, le Centre du bassin de Paris, le Nord de la France, la Picardie-Normandie et le Pays de la Loire. L'automatisation et l'optimisation des réseaux existants est en cours. La mise en mémoire et le traitement informatique des données piézométriques sont devenus opérationnels. Des annuaires sont publiés pour les principaux réseaux.

Des synthèses hydrogéologiques et des cartes hydrogéologiques à grande et moyenne échelles (1/50 000 et 1/200 000), facilitent la mise à disposition des résultats aux utilisateurs. La surface couverte est de 16 % du territoire, dont 5 % pour les cartes détaillées.

La méthodologie de l'évaluation des ressources en eaux a porté sur le perfectionnement des méthodes d'expressions cartographiques et l'établissement des cartes prototypes au 1/1 000 000 visant à aboutir à un atlas de la France. Sont actuellement réalisées les cartes suivantes : débit moyen des nappes d'eaux souterraines, coût moyen du captage de l'eau souterraine, qualité chimique des eaux souterraines et eaux minérales et thermales.

La mise au point du traitement des analyses chimiques des eaux par ordinateur a permis de stocker en mémoire et d'interpréter, très rapidement, un grand nombre de données. On obtient à la sortie directement des tableaux des rapports ioniques, des diagrammes d'analyses, etc.

Des chaînes automatiques d'acquisition de données, devenues opérationnelles, permettent de mesurer simultanément par enregistrement continu et de traiter plusieurs paramètres physiques ou chimiques (pression, succion, résistivité, température, pH, oxygène dissous, etc).

Les études régionales sur la pollution des eaux souterraines ont surtout consisté à déterminer dans quelques régions particulièrement exposées, le chimisme des nappes et les risques de pollution des réservoirs aquifères : nappe de craie dans le Nord de la France, nappe du Calcaire carbonifère et de nombreuses nappes alluviales. Ces travaux se sont traduits notamment par l'édition de nouveaux types de cartes : vulnérabilité à la pollution des nappes (1/25 000 et 1/50 000), qualité des eaux, etc.

GESTION DES RESSOURCES EN EAUX

L'extension de la législation sur l'exploitation des eaux souterraines conduit progressivement à une gestion plus rigoureuse des ressources en eaux par des modèles permanents de gestion. Leur établissement et leur calage reposent sur la collecte et l'exploitation des données fournies par les inventaires ainsi que sur la définition des principaux systèmes aquifères. Sont actuellement opérationnels les modèles de gestion des départements du Nord et du Pas de Calais, d'autres sont en cours pour la Beauce et la Crau.

VI – LES MODELES STOCHASTIQUES DANS LES SCIENCES HYDROLOGIQUES

J. BERNIER

Les modèles stochastiques et les utilisations hydrologiques des méthodes statistiques récentes ont eu un assez grand développement au cours de la période 1971-1975 en France. Les faits marquants de ce développement sont :

- a) sur le plan méthodologique, l'utilisation des techniques d'analyse des données multidimensionnelles à divers problèmes variés,
- b) l'extension des domaines d'application des modèles de processus stochastique pour la description des paramètres de qualité des eaux.

UTILISATION DES TECHNIQUES D'ANALYSE DES DONNEES

L'estimation et la gestion rationnelles des ressources en eau à l'échelle de grands bassins a nécessité le recours aux méthodes d'analyse statistique multidimensionnelle comme : les analyses en composantes principales, les analyses de correspondance, etc. Les applications en ont été assez fructueuses pour traiter des problèmes aussi divers que :

- la rationalisation des réseaux de mesures piézométriques (BRGM : Canceil).
- la description et l'estimation des moyennes pluviométriques spatiales (Laboratoire d'Hydrométéorologie de Montpellier et Laboratoire National d'Hydraulique : Cormary et collaborateurs, en liaison avec les Agences de Bassins),
- la critique des mesures, la détection des valeurs douteuses dans les relevés de réseaux de pluviomètres (Bureau de l'Eau de la Météorologie Nationale : Trendel, Der Megreditchian),
- la définition des caractéristiques climatiques des bassins (Agence Adour-Garonne, : Queyenne),
- le traitement de données géologiques, des paramètres de qualité des eaux souterraines (Ecole des Mines : Laboratoire d'Hydrogéologie Mathématique de Fontainebleau, de Marcilly). Il faut noter que ce dernier laboratoire a également développé les applications hydrométéorologiques des méthodes de Krigeage mises au point par le Prof. Matheron pour le traitement des données géographiques et géologiques,
- la prévision numérique des précipitations journalières (E.D.F. – Division Technique Générale : Duband). C'est ici une utilisation originale des techniques de composantes principales à la reconnaissance dynamique de la forme des situations météorologiques en vue de la prévision quantitative des précipitations,
- la prévision des avalanches (Laboratoire de Mécanique des Fluides et l'Institut Polytechnique de Grenoble).

MODELES STOCHASTIQUES ET QUALITE DE L'EAU

En hydrologie un des objectifs essentiels de la mise au point de modèles stochastiques, est la génération de chroniques de débits ou de précipitations fictives ou reconstituées en vue

de la gestion des systèmes de ressources en eau, à l'échelle régionale notamment. Dépassant les travaux traditionnels dans ce domaine, des efforts ont été entrepris pour la simulation des paramètres de qualité :

- la salure des eaux (avec application à la simulation d'aménagements intégrés africains, pour le Service Hydrologique de l'ORSTOM : Roche),
- la température de l'eau, naturelle ou échauffée par les circuits de refroidissement des centrales (E.D.F., département Echanges Atmosphériques et Pollution : Gras),
- les paramètres décrivant l'état biochimique des rivières : oxygène dissous, DBO (Laboratoire National d'Hydraulique : Bernier, Mme Sabaton). Ces modèles permettent notamment d'orienter la politique de collecte de l'information en matière de qualité d'eau.

MODELES STOCHASTIQUES ET ESTIMATION QUANTITATIVE DES RESSOURCES EN EAU

On notera surtout les modèles d'étiage permettant la simulation des chroniques de débits de basses eaux sur la base de données hydrométriques ou pluviométriques (Division Hydrologie du CTGREF : Tiercelin).

Dans le domaine des crues, la Division Technique Générale d'E.D.F. (Guillot) a poursuivi l'étude de la méthode du Gradex permettant l'estimation des probabilités des crues extrêmes à partir des précipitations et a précisé les limites et conditions d'application de cette méthode.

Nous ne saurions terminer ce court panorama sans citer "les méthodes d'études régionales de ressources en eau" publiées sous forme d'Atlas par la Laboratoire National d'Hydraulique en collaboration avec l'Université des Sciences et Techniques de Montpellier sous l'égide de la DGRST. Cet ouvrage, publié au cours de notre période de référence, fait la synthèse des travaux de Cormary et son équipe, qui ont permis la mise au point de méthodologies modernes adaptées à l'étude régionale des ressources en eau avec application au bassin de l'Allier.

VII – DYNAMIQUE DES GLACIERS TEMPERES ET PROPRIETES DE LA GLACE

L. LLIBOUTRY

1 – CARTOGRAPHIE ET MESURE D'ÉPAISSEUR DES GLACIERS

L'inventaire des glaciers, inscrit au programme de la Décennie Hydrologique Internationale, a été exécuté par R. Vivian et des étudiants de l'Institut de Géographie de Grenoble. Il a paru sous forme de 30 fiches distinctes dans la Revue de Géographie Alpine entre 1967 et 1971.

L'Institut Géographique National a effectué tous les ans des couvertures aériennes de certains secteurs englacés des Alpes. Ces couvertures n'étant pas assez précises pour suivre les variations des langues glaciaires à l'échelle de quelques années, des couvertures spéciales de ces langues, avec préparation au sol, seront désormais exécutées par l'IGN sur commande du Centre Technique du GREF (ancien service des Eaux et Forêts, qui assure traditionnellement en France le relevé des fluctuations glaciaires). Deux restitutions de glaciers français ont été seulement exécutées récemment au 1/10 000, sur commande du Laboratoire de Glaciologie du CNRS : la langue du Glacier des Bossons (Massif du Mont-Blanc), les glaciers de Saint-Sorlin et des Quirliès (Grandes Rousses).

Le socle rocheux a été déterminé par prospection sismique pour le Glacier de Gébroulaz (Parc National de la Vanoise) par Fournio (1974) et pour le Glacier Ampère (le plus grand émissaire de la Calotte Cook, à Kerguelen) par Vallon. Mais le Laboratoire de Glaciologie a surtout utilisé les méthodes de forage destructif rapide (sondes thermiques à vapeur, à circuit ouvert d'eau chaude, électrique de faible diamètre) qu'il a mis au point (Gillet, sous presse). Ainsi ont été déterminées des épaisseurs sur cinq petits glaciers, en particulier au Glacier de Saint-Sorlin et sur ceux de Bellecôte.

2 – BILANS DE MASSE ET CORRELATION AVEC LES FACTEURS METEOROLOGIQUES

Des bilans glaciaires annuels ont continué à être mesurés en zone d'ablation sur le Glacier de Saint-Sorlin et sur la Mer de Glace par le Laboratoire de Glaciologie. Sur le premier une étude statistique poussée a été faite des 194 données correspondant à 16 années consécutives et 32 sites différents (une donnée pouvant être la somme de plusieurs bilans annuels) (Lliboutry, 1974). Il en ressort qu'on peut adopter un modèle statistique à 2 variables. Le bilan au site j l'année t est :

$$x_{jt} = \alpha_j + \beta_t + r_{jt}$$

où α_j est un paramètre dépendant du site, β_t un paramètre centré dépendant de l'année, et r_{jt} un terme aléatoire centré, résultant de 7 causes d'erreurs différentes, corrélées ou non pour des années successives. On peut admettre r_{jt} gaussien, centré, d'écart type 20 cm.

En zone d'accumulation les bilans ont été mesurés 2 ans par la méthode d'Ahlmann, améliorée pour tenir compte de l'alimentation interne (Lliboutry et Echevin, sous presse).

Le modèle précédent semble être valable. On pourra donc à l'avenir déterminer les bilans de masse annuels pour l'ensemble d'un glacier en n'étudiant qu'une zone réduite et en calculant les β_1 .

C'est aussi β_1 qu'il faut corrélérer aux paramètres météorologiques. La corrélation est excellente avec la précipitation annuelle totale et la température moyenne des mois de juin, juillet, août (Martin, sous presse)

3 - BILANS THERMIQUES AIR-SOL

Le bilan énergétique à la surface d'un glacier, en été, a été mesuré dans les Alpes en zone d'accumulation (De la Casinière, 1974) et en zone d'ablation (Martin, 1970).

Toujours par la méthode de Prandtl, mais avec des stations automatiques enregistrant simultanément jusqu'à 50 paramètres pendant un ou deux mois, le bilan thermique a été mesuré sur le Glacier Ampère à Kerguelen, simultanément en zone d'accumulation et en zone d'ablation. Cette étude aura été la seule faite sous ces latitudes pendant la Décennie Hydrologique Internationale (Poggi, 1973).

4 - VITESSES ET DEFORMATION DES GLACIERS

Le laboratoire de Glaciologie a mesuré des vitesses annuelles superficielles, plusieurs années consécutives, sur les Glaciers Blanc, de Saint-Sorlin, du Tacul, de la Mer de Glace, et Ampère à Kerguelen. Une première étude a permis de mettre au point le dépouillement en interpolant les valeurs ponctuelles par fonction spline à deux variables (Benoist, 1973). Les autres dépouillements sont en cours.

Mais on étudie également la déformation interne, par inclinométrie répétée le long d'un trou de forage, et mesure de la contraction verticale avec des témoins métalliques que repère un détecteur de proximité. Au lieu de tuber le trou pour le conserver, on laisse un câble en place et une sonde spéciale refore le long de ce câble.

Sans attendre la mise au point de cet appareillage nouveau, Reynaud (1973 b) a dépouillé les résultats de Reymond, sur un glacier du Canada, en adoptant comme condition à la limite inférieure la loi de friction solide (de Coulomb) que nous avons défendue pour les glaciers à vitesse rapide. Il peut ainsi retrouver la distribution des vitesses mesurées. Par contre une meilleure détermination des vitesses en un lieu (Séracs du Géant) où la vitesse atteint (en haut de la chute) 1000 m/an, lui fait nuancer les conclusions antérieures favorables à cette loi. Cette loi n'est plus valable dans le détail, en un lieu aussi bouleversé (Reynaud, 1973 a).

De même seront assez difficiles à interpréter les très intéressantes observations faites sous le Glacier d'Argentières, en un lieu accessible par des galeries creusées dans le rocher (Vivian et Bocquet, 1973).

5 - TEXTURES, TENEURS EN EAU, TEMPERATURES

Le Laboratoire de Glaciologie a exécuté le premier carottage d'un glacier tempéré, en zone d'accumulation et près de sa naissance, jusqu'au socle rocheux (187 m). La teneur en eau liquide a été mesurée au fur et à mesure de l'extraction des carottes (0,2 % à 1,8 %), puis la pétrographie et l'orientation des axes optiques. La texture caractéristique des glaciers (axes optiques groupés selon 4 maximums) se forme très rapidement (Vallon, Petit et Fabre, sous presse).

On a ainsi découvert que le névé se transformait en glace à une profondeur fixe (34 m en ce lieu) seulement entre le 15 juillet et le 30 août, à l'époque où il existe une importante couche aquifère à la base du névé, sur la glace imperméable. Que la saturation par de l'eau liquide accélère énormément la transformation de névé fondant en glace a été confirmé par des expériences de laboratoire (De la Casinière et Heyraud, sous presse).

A l'occasion de prélèvements pour études géochimiques, les températures au sein des glaciers à très haute altitude dans le Massif du Mont-Blanc ont été mesurées. A 4 785 m, elle est de $-20,2^{\circ}\text{C}$. A l'Observatoire Vallot (4 360 m), elle est à 15 m de profondeur $-10,8^{\circ}\text{C}$, alors que Vallot avait mesuré $-12,8^{\circ}\text{C}$ en 1911. (Le climat en haute altitude s'est réchauffé de $2,0^{\circ}\text{C}$ entre 1911 et 1973). Au Mont-Blanc les glaciers sont froids au-dessus de 3 700 m environ.

6 - FLUAGE DE LA GLACE POLYCRISTALLINE EN LABORATOIRE

Ces études ont été développées au Laboratoire de Glaciologie dans le cadre d'une "Action Thématique Programmée" du CNRS. Outre le premier simulateur de glaciers, Pénélope, (Brepson, 1974), un deuxième a été commandé. Reconstituant des conditions existant à la base des glaciers, ils permettent de vérifier les calculs approchés faits dans la théorie du glissement des glaciers. Ils permettent aussi d'étudier quantitativement l'abrasion glaciaire, la formation d'une moraine de fond et son influence sur le glissement.

Par ailleurs de longues et méticuleuses expériences de Duval (sous presse) lui ont permis de démêler et établir les lois correctes du fluage de la glace. Pour des cisssions efficaces comprises entre 0,5 et 3,5 bar la vitesse de fluage secondaire, ou la vitesse de fluage tertiaire moyenne (car elle peut osciller au cours du temps), varient exactement comme le cube de la contrainte, contrairement à ce qu'avaient annoncé de nombreux auteurs. Dans des déformations en cisaillement simple, se forme une texture à deux maximums déjà signalée ; c'est la plus favorable à la déformation. Mais si l'on superpose au cisaillement simple une compression uniaxiale, créant ainsi un état de contraintes où les trois contraintes principales sont inégales et où il n'y a plus de plan de cisaillement maximum permanent, la texture à 4 maximums caractéristiques des glaciers apparaît. Elle n'avait jamais été obtenue précédemment en laboratoire (sauf par Brepson, avec Pénélope). Avec cette texture la glace se déforme quatre fois moins vite. Pourtant cette texture est très stable et un cisaillement simple ne peut pas la détruire.

Ces expériences ont pu être poursuivies jusqu'au point de fusion, lequel n'est pas bien défini par suite de la présence d'impuretés salines (Liboutry, 1971). Duval a montré alors l'influence de la teneur en eau. Lorsqu'elle passe de 0,2 à 2 %, la vitesse de fluage à contrainte donnée augmente d'au moins 50 %.

7 - PHYSIQUE DE LA GLACE

Au Service des Basses Températures du Centre d'Etude Nucléaires à Grenoble, Klinger (sous presse) a mesuré la conductibilité thermique de la glace jusqu'à $1,7^{\circ}\text{K}$. Il a trouvé qu'en dessous de 16°K cette conductibilité était très sensible aux imperfections du réseau cristallin, et constitue donc un excellent test de la perfection des monocristaux.

A l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Vassoille, Tatibouet, Pérez et Gobin (1974) ont mis au point une méthode de mesure du frottement intérieur à basse fréquence de la glace. Elle leur a permis de découvrir un pic d'absorption lié au mouvement des joints de grains et d'étudier le rôle des dislocations dans cette absorption.

Ils ont également fait ces études aux fréquences ultrasonores (Tatibouet et al., sous presse). Par ailleurs ces auteurs ont construit une nouvelle théorie pour expliquer la loi de

fluage de la glace, dans laquelle ce serait la vitesse de déplacement des dislocations qui contrôlerait le fluage et non pas la vitesse à laquelle elles échappent aux empilements (Pérez et al., sous presse). Ce travail est actuellement complété par des observations de dislocations en topographie X.

8 - ENSEIGNEMENT DE LA GLACIOLOGIE

A l'Université de Grenoble la Glaciologie est régulièrement enseignée au sein des études de Géophysique. Parmi les nombreuses publications didactiques ou de vulgarisation, signalons Lliboutry 1971 b, 1974.

- BENOIST, J.P. - Déformation d'un langue glaciaire. *Thèse de 3^e cycle*, Grenoble, 69 p., 1973.
- BREPSON, R. - Contribution à l'étude des lois de glissement des glaciers tempérés à l'aide d'un viscosimètre à glace. *Rheologica Acta*, 13, 408-412, 1974.
- de la CASINIERE, A.C. - Heat exchange over a melting snow surface. *J. of Glaciology*, 13, 55-72, 1974.
- de la CASINIERE, A.C. et HEYRAUD, M. - Water permeability and compactive viscosity of temperate firn. *J. of Glaciology* (sous presse).
- DUVAL P. - Creep and fabrics of temperate polycrystalline ice under shear and compression. *J. of Glaciology* (sous presse).
- FOURNO, J.P. - Détermination de l'épaisseur du Glacier de Gébroulaz par prospection sismique. *Cahiers du Parc de la Vanoise*, 5.
- GILLET, F. - Steam, hot-water and electrical drills for temperate glaciers. *J. of Glaciology* (sous presse).
- KLINGER, J. - Low temperature heat conduction in pure, monocrystalline ice. *J. of Glaciology* (sous presse).
- LLIBOUTRY, L. - Permeability, brine content and temperature of temperate ice. *J. of Glaciology*, 10, 15-29, 1971 a.
- LLIBOUTRY, L. - Glacier theory. Dans "Advances in Hydrosience" (Ven Te Chow Editeur), 7, 81-167, 1971 b.
- LLIBOUTRY, L. - (cours sur les glaciers). Dans "Hidrologia de nieves y hielos en America Latina" (Oficina de ciencias de la UNESCO para America Latina, Montevideo), 65-105, 1973.
- LLIBOUTRY, L. - Multivariate statistical analysis of glacier annual balances. *J. of Glaciology*, 13, 371-392, 1974.
- LLIBOUTRY, L. et ECHEVIN M. - Mesure des bilans annuels en zone d'accumulation. *Z. für Gletscherkunde u. Glazialgeologie* (sous presse).
- MARTIN, S. - Bilan thermique du Glacier de Saint-Sorlin, Été 1969. *Thèse de 3^e cycle*, Grenoble, 48 p. + carte, 1970. (sous presse au *J. of Glaciology*).
- MARTIN, S. - Corrélation bilans de masse annuels - facteurs météorologiques dans les Grandes Rousses. *Z. für Gletscherkunde u. Glazialgeologie* (sous presse).
- PEREZ, J., TATIBOUET, J. VASSOILLE R. et GOBIN, P.F. - Comportement dynamique des dislocations dans la glace. *Philosophical Magazine* (sous presse).
- POGGI A. - Bilan thermique du Glacier Ampère à Kerguelen, étude préliminaire. *Le rôle de la neige et de la glace en hydrologie - Actes des colloques de Banff, sept. 1972*, (UNESCO - OMM - AIHS) Vol. 1, 187-200, 1973.
- REYNAUD, L. - Etude de la dynamique des Séracs du Géant (Massif du Mont-Blanc). *Thèse de 3^e cycle*, Grenoble, 54 p. 1973 a.
- REYNAUD, L. - Flow of valley glacier with a solid friction law. *J. of Glaciology*, 12, 251-258, 1973 b.
- TATIBOUET, J., VASSOILLE, R., PEREZ, P. et GOBIN, P.F. - Influence de la déformation plastique sur les propriétés ultrasonores de la glace Ih. *Journal de Physique*, 36, 69, 1975.
- VALLON, M., PETIT J.R. et FABRE, B. - Study of an ice core to the bedrock from an alpine glacier. *J. of Glaciology* (sous presse).
- VASSOILLE, R., TATIBOUET, J., PEREZ, J. et GOBIN, P.F. - Comportement anélastique de la glace aux faibles fréquences de sollicitation. *Comptes-Rendus Ac. Sci.*, 278 (B), 409, 1974.
- VIVIAN, R. et BOCQUET, G. - Subglacial cavitation phenomena under the glacier d'Argentière, Mont-Blanc, France. *J. of Glaciology*, 12, 439-452, 1973.

VIII – GLACIOLOGIE DES REGIONS POLAIRES

R. DELMAS

1 – MISSIONS SUR LE TERRAIN

1.1 – Antarctique

Avec le soutien logistique des Expéditions Polaires Françaises et dans le cadre du Programme International de Glaciologie Antarctique (P.I.G.A.), les Terres Australes et Antarctiques Françaises (T.A.A.F.) avaient inscrit dans le 6^e Plan les crédits nécessaires à une exploration de l'intérieur de l'Antarctique selon l'axe joignant les bases antarctiques Dumont d'Urville et Vostok (1 650 km).

Le Laboratoire de Glaciologie de Grenoble a fourni l'ossature de l'équipe qui a pu réaliser la première étape (800 km) de ce raid durant l'été austral 1971-72. Un an plus tard, une deuxième équipe, partie pour rejoindre Vostok, ne put atteindre son objectif en raison d'avaries de véhicules. Cependant, au cours de ces deux opérations successives, une moisson très importante d'échantillons de neige et de névé a pu être réalisée. Des carottages superficiels (30 m de profondeur au maximum) et différentes mesures de surface ont été effectués. Certains échantillons ont été ou seront analysés à Grenoble, d'autres seront étudiés dans différents laboratoires français regroupés au sein de la RCP (Recherche Coopérative sur Programme) ayant pour thème : "l'étude physicochimique et isotopique des calottes glaciaires".

En Antarctique également, mais en un point fixe situé non loin de la base Dumont d'Urville en Terre Adélie, un forage profond de 304 m a pu être mené à bien à l'aide du carottier thermique conçu et réalisé au Laboratoire de Glaciologie de Grenoble (été austral 1973-74). Ce forage réussi avait été précédé d'un forage probatoire deux ans plus tôt au même endroit.

1.2 – Groenland

Dans le cadre de l'EGIG (Expéditions Glaciologiques Internationales au Groenland) et avec le soutien logistique des E.P.F. et de la N.S.F. américaine, un raid léger a été effectué en juillet-août 1974 au Groenland. Le but de cette expédition était la lecture et le rehaussement des balises suivant l'axe EGIG tracé en 1959. Le parcours total a été d'environ 1000 km. Un programme scientifique complémentaire de géochimie a pu être mené à bien (7 sites de prélèvement de surface et 3 carottages de 15 m de profondeur).

2 – BILAN SCIENTIFIQUE

– Détermination des taux d'accumulation de neige. Ce paramètre est déterminé par les différentes méthodes physicochimiques suivantes : radioactivité β globale, tritium artificiel ou naturel, Pb 210 et rapports isotopique D/H ou O¹⁸/O¹⁶.

Les résultats parus concernent plusieurs stations du Groenland (L. MERLIVAT et al. 1973) ou de l'Antarctique (A. VINOGRADOV et C. LORIUS, 1972).

— La circulation et les échanges atmosphériques dans ces régions ont pu être étudiés grâce aux retombées radioactives naturelles ou artificielles de la neige. Au Groenland, les fluctuations de la teneur en tritium (L. MERLIVAT et al., 1973) indiquent que le réservoir stratosphérique se vide avec une période de 1,2 ans.

Des résultats concernant le continent antarctique (G. LAMBERT, B. ARDOUIN et al., 1971) ont été extrapolés à l'ensemble de l'hémisphère Sud (G. LAMBERT et al., 1972). Les retombées du Pb 210 sont corrélées avec les fluctuations du champ magnétique terrestre (G. LAMBERT, J.C. LE ROULLEY et al., 1971) et avec l'activité solaire (G. LAMBERT, J. SANAK et al., 1971).

— La chimie de la basse atmosphère peut être étudiée par les impuretés qui se déposent dans les couches de neige des calottes polaires.

Les échantillons antarctiques déjà analysés indiquent que les apports marins et continentaux sont du même ordre de grandeur, alors que la matière terrestre ne représenterait qu'environ 1 % de ces deux quantités (C. BOUTRON et al., 1972). Un excès de chlore par rapport au sodium est attribué à un apport de chlore gazeux (M. BRIAT et al., 1974). La méthodologie et les techniques concernant ce type de mesures ont été plus spécialement étudiées (C. BOUTRON, 1972).

— L'intérêt paléoclimatologique des études menées sur les calottes polaires est apparu clairement au cours des études faites par D. RAYNAUD sur la mesure des volumes globaux des gaz occlus dans la glace (D. RAYNAUD et C. LORIOUS, 1974). Ce paramètre a permis de corriger les hypothèses relatives à l'amplitude de la dernière glaciation établies par la mesure des rapports isotopiques D/H ou O¹⁸/O¹⁶. Une variation importante (de l'ordre de 1000 m) de l'épaisseur de la calotte glaciaire du Groenland est proposée (D. RAYNAUD et C. LORIOUS, 1973) pour les derniers 10 000 ans.

— La datation des couches profondes de glace, pour les âges compris entre 100 et 1500 ans est possible grâce au silicium 32 (R. SAGNOL, 1972).

BOUTRON C. — Concentration of dilute solutions at ppb level by non-boiling evaporation in quartz and teflon. *Analyt. Chim. Acta.* 61, 140-143, 1972.

BOUTRON C., ECHEVIN M. et LORIOUS C. — Chemistry of polar snows. Estimation of rates of deposition in Antarctica. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 36, 1029-1041, 1972.

BRIAT M., BOUTRON C. et LORIOUS C. — Chlorine and sodium content of East Antarctica firn samples. International Symposium on sea air chemistry, Nice, 4-10 October 1973. Paru dans *Journal de Recherches Atmosphériques*, n° spécial, juillet-décembre 1974.

LAMBERT G., ARDOUIN B., BRICHET E. et LORIOUS C. — Balance of Sr90 ober Antarctica : existence of a protected area. *Earth and Planetary Sc. Letters*, 11, 317-323, 1971.

LAMBERT G., LE ROULLEY J.C. et SANAK J. — Corrélations entre le dépôt de plomb 210 dans l'Antarctique et les fluctuations du champ magnétique terrestre. *C.R. Acad. Sc., Paris*, 272, série B, 177, 1971.

LAMBERT G. SANAK J et ARDOUIN B. — Corrélations entre la concentration atmosphérique du plomb 210 en Terre Adélie et l'activité solaire. *C.R. Acad. Sc., Paris*, 272, série B, 497, 1971.

LAMBERT G., ARDOUIN B., POLIAN G., et SANAK J. — Natural radioactivity balance in the atmosphere of the southern atmosphere. *2nd International Conference on Natural Environmental Radioactivity*, Houston, August 1972.

MERLIVAT L., RAVOIRE J., VERGNAUD J.P. et LORIOUS C. — Tritium and deuterium content of the snow in Greenland. *Earth and Planetary Sc. Letters*, 19, 235-240, 1973.

RAYNAUD D. et LORIOUS C. — Climatic implications of total gas content in ice at Camp Century. *Nature*, 243, 283-284, 1973.

RAYNAUD D. et LORIOUS C. — Isotopic implications of total gas content in ice at Camp Century (Greenland). Dans : "Les méthodes quantitatives d'étude des variations du climat au cours du Pléistocène". Colloque International du CNRS n° 219, 289-293, 1974.

SAGNOL R. — Ensemble de comptage pour l'analyse du Si 32 dans la glace. *Thèse de 3^e cycle*, Grenoble, 51, p. 1972.

VINOGRADOV A. et LORIOUS C. — Snow accumulation along the Mirny-Vostok profile (Antarctic). *Bull. Exp. Ant. Soviétique*, 83, 5-11 (en russe), 1972.

SECTION VII
SCIENCES PHYSIQUES DE L'OCÉAN

TABLE DES MATIERES

	Pages
I – Transferts et échanges d'énergie à travers la surface marine M. COANTIC, A. IVANOFF, J. LENOBLE	195 3
II – Mouvements transitoires et variabilité des caractères marins à échelle moyenne J. GONELLA, M. CREPON, A. CAVANIE	200 8
III – Formation et comportement des eaux profondes en Méditerranée H. LACOMBE	203 11
IV – Etudes théoriques sur la dynamique des mers B. SAINT-GUILY	206 14
V – Optique océanographique A. IVANOFF et A. MOREL	208 16
VI – Etudes sur les propriétés physiques et sur l'équation d'état de l'eau de mer G. GIRARD, M. MEVACHE, A. POISSON	211 19
VII – Chimie Océanographique A. IVANOFF, A. MOREL, F. VARLET	214 22
VIII – La géochimie des océans R. CHESSELET et C. LALOU	218 26
IX – Régime des côtes R. BONNEFILLE	222 30
X – Production primaire et distribution des sels nutritifs dans les zones d'upwelling B. COSTE, J. GOSTAN, A.J. MINAS, J.M. PERES	224 32
XI – Récifs coralliens A. GUILCHER	229 37

I – TRANSFERTS ET ECHANGES D'ENERGIES A TRAVERS LA SURFACE MARINE

M. COANTIC

Institut de Mécanique Statistique de la Turbulence, Marseille

A. IVANOFF

Laboratoire d'Océanographie Physique de l'Université, Paris VI

J. LENOBLE

Laboratoire d'Optique Atmosphérique, Lille.

Les recherches poursuivies dans ces domaines ont principalement porté sur : les échanges turbulents de masse, de quantité de mouvement et d'énergie (travaux de l'Institut de Mécanique Statistique de la Turbulence à Marseille) ; le cycle annuel des échanges thermiques en Méditerranée (travaux du Laboratoire d'Océanographie Physique de l'Université Paris VI) ; les échanges radiatifs d'énergie à l'interface air-mer (travaux du Laboratoire d'Optique Atmosphérique à Lille) (*).

A – TRANSFERTS TURBULENTS DE MASSE, DE QUANTITE DE MOUVEMENT ET D'ENERGIE

L'objectif général des recherches poursuivies à l'I.M.S.T. est l'étude des principaux mécanismes physiques à petite échelle qui opèrent les échanges entre l'océan et l'atmosphère, au voisinage de la surface marine. On s'intéresse plus particulièrement aux processus de transfert turbulent responsables des échanges d'énergie cinétique et de la génération des vagues et des courants, des échanges de chaleur sensible (en conjonction avec le rayonnement), et des échanges de vapeur d'eau et de chaleur latente par évaporation. Les recherches expérimentales sont effectuées dans une soufflerie de grandes dimensions permettant une simulation partielle en laboratoire des phénomènes naturels. Elles se poursuivent en liaison avec celles du Laboratoire d'Océanographie Physique du Muséum et de divers groupes scientifiques qui participent à l'exploitation des installations de l'I.M.S.T.

1 – Résultats d'ordre théorique

L'étude des mécanismes physiques des échanges air-mer met en évidence le rôle fondamental de la turbulence, notamment dans le frottement et l'évaporation (4, 5, 8, 9, 11). L'étude des équations gouvernant la turbulence dans la basse atmosphère marine montre l'influence distincte des contaminants non-passifs (1, 5, 8, 10) et l'interaction entre les transferts de chaleur par turbulence et par rayonnement (8, 30). A partir des équations générales de la turbulence océanique (6), un modelage numérique d'une thermocline convective a été entrepris (16). Divers aspects de la théorie de la génération des vagues par le vent ont été examinés (23, 24, 25, 27).

2 – Réalisation d'équipements scientifiques

La grande soufflerie de l'I.M.S.T. permet la simulation partielle, dans une veine d'expérience de 40 mètres, des mécanismes à petite échelle des échanges air-mer. Elle

(*) Voir également l'article "Optique Océanographique" par A. IVANOFF et A. MOREL.

combine un tunnel micrométéorologique avec un canal à vagues, diverses dispositions permettant la mise en jeu des transferts scalaires, la simulation des effets du rayonnement, et le contrôle du développement des vagues (3, 12, 13, 15, 25). Un système numérique permet le contrôle de l'installation, l'automatisation des mesures, l'acquisition et le prétraitement des données (12, 21). Ces équipements, une soufflerie maquette, les installations et appareillages de mesure associés, sont regroupés dans un nouveau laboratoire construit par l'I.M.S.T. et exploité à l'échelle internationale.

3 - Mise au point d'instruments et de méthodes de mesure

Les recherches concernent : l'anémothermométrie par fils et films chauds des écoulements mono et diphasiques (21, 28, 29) ; la mesure des valeurs moyennes et des fluctuations de l'humidité (1, 2, 14, 15, 19) ; la mesure des vagues (22, 23, 25, 26) ; l'acquisition et le traitement statistique des données relatives à la turbulence par des méthodes numériques (14, 15, 21, 28, 29).

4 - Résultats scientifiques expérimentaux

Le mécanisme de la génération des vagues a été étudié à partir des caractéristiques de l'interface et de la liaison entre cette dernière et l'écoulement adjacent (15, 22, 23, 24, 25, 26, 27). Les taux d'échange de chaleur et d'évaporation ont été déterminés par des méthodes classiques (11, 13, 15, 17) et par un procédé original basé sur des mesures isotopiques (18, 19, 20). Une étude de la sous-couche visqueuse au contact de l'eau a été amorcée (15). La structure de la turbulence a été explorée au voisinage d'une interface en évaporation, dans des situations de stratification stable ou critique (1, 2, 14, 15). Les caractéristiques locales de la turbulence à grand nombre de Reynolds ont été étudiées (14, 15, 21). Le mécanisme du déferlement a été examiné dans le cas du ressaut hydraulique (28, 29).

- (1) BOLGIANO R., WARHAFT Z. - Preliminary observations of the evaporation duct in the I.M.S.T. air-sea wind tunnel. Communication N.A.T.O. A.S.I. in "Modern topics in wave propagation above 10 Ghz, especially those associated with air-sea interaction". Sorrente, Italie. Proceedings, p. 37-50, D. Reidel, Dordrecht, juin 1973.
- (2) BOLGIANO R., WARHAFT Z., COANTIC M. - Laboratory Investigation of Refractive Index Structure in the Maritime Boundary Layer. Communication 1974 USNC. URSI - IEEE Meeting, Boulder, Oct. 1974.
- (3) BONMARIN P. - La grande soufflerie de simulation des interactions océan-atmosphère de l'I.M.S.T. Communication Colloque "Euromech 50", Berlin, Sep. 1974.
- (4) COANTIC M. - L'interaction Océan-Atmosphère. Ses mécanismes physiques et les problèmes de leur mesure. Conférence. Colloque ASTEO sur "Les mesures en environnement marin". Paris, Oct. 1971.
- (5) COANTIC M. - Turbulence en Géophysique et Echanges Air-Mer. 8 conférences, Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées, nov. 1971 (à paraître dans la collection des Cours de l'E.N.S.T.A.).
- (6) COANTIC M. - Quelques commentaires sur les équations générales de la Turbulence Océanique. Communication 4^e Colloque Hydrodynamique de l'Océan. Université de Liège, mars 1972. *Journal de Mécanique*, vol. 12, n° 2, p. 197-223, juin 1973.
- (7) COANTIC M. - Une méthode d'identification d'un événement caractéristique dans un signal. *Rapport interne I.M.S.T.*, oct. 1972.
- (8) COANTIC M. - Une revue des processus physiques des interactions océan-atmosphère. Communication N.A.T.O. A.S.I. in "Modern Topics in wave propagation above 10 Ghz especially those associated with air-sea interaction". Sorrente, Italie, Proceedings, p. 9-21. D. Reidel, Dordrecht, juin 1973.
- (9) COANTIC M. - Les champs moyens et turbulents de vitesse, de température et d'humidité dans la basse atmosphère au-dessus de la mer. Communication N.A.T.O. A.S.I., Sorrente, Italie, juin 1973.
- (10) COANTIC M. - Généralités sur les transferts turbulents dans un gradient thermique vertical. Communication Session Comité Technique S.H.F. in "Perturbation des écoulements fluides par des gradients de température". Mars 1974 - (à paraître dans "La houille Blanche").
- (11) COANTIC M. - Formules empiriques d'évaporation. *Rapport interne I.M.S.T.*, juin 1974.
- (12) COANTIC M., BONMARIN P. - The air-sea interaction simulating facility at the Institut de Mécanique Statistique de la Turbulence. Juillet 1974 - (à paraître dans "Atmospheric Technology" et, en version française, dans "Met-Mar").
- (13) COANTIC M., FAVRE A. - Activities in, and preliminary results of, air-sea interactions research at I.M.S.T. Communication 2nd IUTAM. IUGG Symposium on Turbulent Diffusion in Environmental Pollution, Charlottesville, Virginia, U.S.A. Avril 1973. *Advances in Geophysics*, vol. 18, p. 391-405, 1974.

(14) COANTIC M., MESTAYER P., BOLGIANO R., WARHAFT Z. - Structure de la Turbulence aux valeurs élevées des nombres de Reynolds et de Richardson lors de la simulation des échanges air-mer. Communication Colloque Euromech 35, "Echanges à l'interface air-mer", Marseille, sep. 1974.

(15) COANTIC M., RAMAMONJIARISOA A., EZRATY R., PERI G., MESTAYER P., BONMARIN P. - Turbulent convection of momentum, heat and moisture in a simulation maritime surface layer. Communication First IAPSO/IAMAP Special Assembly, Melbourne, Australie, janvier 1974.

(16) LUMLEY J., SIESS J. - Computational modeling of a convection-driven thermocline. Communication Colloque Euromech 51, Cambridge, juin 1974.

(17) MARMOTTANT B. - Contribution à l'étude de l'évaporation dans une couche limite turbulente d'interface air-mer. Thèse Docteur-Ingénieur, Marseille, mars 1974.

(18) MERLIVAT L., COANTIC M. - A wind-tunnel study of evaporation by isotopic techniques. Communication 35th Annual Meeting American Geophysical Union. Washington D.C., avril 1972. Abstract, *Transactions A.G.U.*, 53, 411, 1972.

(19) MERLIVAT L., COANTIC M. - Study of mass transfer at the air-water interface by an isotopic method. (Submitted for publication to *Journal of Geophysical Research*, juin 1974).

(20) MERLIVAT L., COANTIC M. - Etude des transferts de masse à l'interface air-eau par une méthode isotopique. Communication Colloque Euromech 35, "Echanges à l'interface air-mer", Marseille, sep. 1974.

(21) MESTAYER P. - Etude de certaines caractéristiques statistiques locales d'une couche limite turbulente à grand nombre de Reynolds. Thèse Docteur-Ingénieur, Marseille, décembre 1974.

(22) RAMAMONJIARISOA A. - Mesures en soufflerie de certaines propriétés statistiques de vagues de vent, février 1971. *Cahiers Océanographiques*, vol. 23, n° 12 p. 957-979, décembre 1971.

(23) RAMAMONJIARISOA A. - Sur l'évolution des spectres d'énergie des vagues de vent à fetchs courts. Communication 5^e Colloque sur l'Hydrodynamique des Océans, Université de Liège, avril 1973. *Mémoires Société Royale des Sciences de Liège, 6^e série, Tome VI, p. 47-66, 1973.*

(24) RAMAMONJIARISOA A. - Sur la prévision des caractéristiques de l'onde dominante d'un champ de vagues de vent. Communication Sixième Colloque A.S.T.E.O., Paris, Compte rendu, Thème I, février 1974.

(25) RAMAMONJIARISOA A. - Contribution à l'étude de la structure statistique et des mécanismes de génération des vagues de vent. Thèse Doctorat ès-Sciences, Université de Provence, mai 1974.

(26) RAMAMONJIARISOA A. - Etude en soufflerie de la structure statistique des vagues de vent et de l'écoulement d'air dans leur voisinage. Communication Colloque Euromech 35, "Echanges à l'interface air-mer", Marseille, sept. 1974.

(27) RAMAMONJIARISOA A. - Note sur la prévision, par des méthodes semi-empiriques, des spectres d'énergie des vagues de vent. Rapport interne I.M.S.T., oct. 1974.

(28) RESCH F. - Etude expérimentale de la turbulence dans les écoulements hydrauliques. Thèse de Doctorat ès-Sciences, Université de Provence, oct. 1974.

(29) RESCH F., LEUTHEUSSER H.J., COANTIC M. - Etude de la structure cinématique et dynamique du ressaut hydraulique. (Soumis prochainement pour publication).

(30) SEGUIN B. - Etude théorique de l'interaction entre le transfert radiatif et les échanges turbulents dans les basses couches de l'atmosphère. Thèse Docteur-Ingénieur, Marseille, juin 1971.

B - BILAN THERMIQUE ET SON CYCLE ANNUEL EN MEDITERRANEE

Des mesures ont été entreprises entre 1967 et 1970 au large de Nice concernant l'apport solaire à la surface de la mer, l'albedo de celle-ci et l'absorption de l'énergie solaire en fonction de la profondeur. Durant la période 1971-1974 ce travail a été complété par l'exploitation de données hydrologiques et météorologiques et a permis l'établissement du bilan thermique de la Méditerranée.

Une étude (1) faite en un point proche de la côte a fait apparaître l'importance des phénomènes d'advection. On a proposé un schéma de ces phénomènes sur la radiale Nice-Calvi (2), (3) ainsi qu'une évaluation du rôle thermique de l'eau méditerranéenne intermédiaire et une description locale du cycle de la thermocline saisonnière (4). L'utilisation des données hydrologiques et météorologiques acquises à partir de Borha 1 a permis de dresser le cycle annuel des différents termes du bilan thermique (5). L'étude du détroit de Gibraltar et du canal de Sicile a fait ressortir l'importance non seulement hydrologique mais aussi thermique des flux d'eau échangés à ces seuils. Trois communications (6), (7), (8) résument nos travaux sur l'équilibre thermique méditerranéen.

Par ailleurs, un nouveau dispositif de mesure de l'évaporation a été mis au point et étalonné en mer (9). Il est actuellement testé dans les installations de l'IMST.

- (1) BETHOUX J.P., IVANOFF A. — Bilan thermique du bassin Liguro-provençal. Communications non publiée au XIV^e Congrès UGGI, 1971.
- (2) BETHOUX J.P., IVANOFF A. — Essai de bilan thermique sur la radiale Nice-Calvi. Communication au XXIII^e Congrès CIESM, 1972.
- (3) BETHOUX J.P., IVANOFF A. — Essai de bilan thermique et d'évaluation de l'advection sur la radiale Nice-Calvi. Bull. 10, UOF, 1972.
- (4) BETHOUX J.P., IVANOFF A. — Energie solaire et thermocline saisonnière. LS 61, AGARD, 1973.
- (5) BETHOUX J.P., BETHOUX N. — Contribution à l'étude des échanges thermiques en Méditerranée. Bull. 4, UOF, 1973.
- (6) BETHOUX J.P., IVANOFF A. — Le bilan thermique et hydrique de la Méditerranée. Communication au XXIV^e Congrès CIESM, 1974.
- (7) BETHOUX N., BETHOUX J.P. — Le cycle annuel du bilan thermique de la mer en divers points du bassin Liguro-Provençal. Communication au XXIV^e Congrès CIESM, 1974.
- (8) BETHOUX N. — Evaluation du contenu thermique de la Méditerranée et de ses variations saisonnières. Thèse 3^e cycle, Université Paris 6, 1975.
- (9) HOUDART M. — Contribution à l'étude de quelques propriétés physiques de la surface des océans : tension superficielle, évaporation. Thèse 3^e cycle, Université Paris 6, 1973.

C — TRANSFERT D'ENERGIE RADIATIVE

Les échanges radiatifs d'énergie entre l'océan et l'atmosphère peuvent approximativement se décomposer en deux parties :

- absorption et réflexion diffuse du rayonnement solaire ($0,3 \mu\text{m}-3 \mu\text{m}$) par l'océan, avec échauffement des couches de surface jusque vers 1m de profondeur,
- échange de rayonnement infrarouge ($3 \mu\text{m}-20 \mu\text{m}$), qui correspond en général à un refroidissement superficiel de l'océan limité à une couche de l'ordre de $50 \mu\text{m}$.

1 — Mesures in situ

Les échanges en infrarouge dépendant essentiellement de la température de surface de l'océan (S.S.T.), c'est à la mesure de ce paramètre qu'ont été consacrés les principaux efforts. Plusieurs campagnes effectuées sur la Bouée Laboratoire C.N.E.X.O. (2, 4, 5, 6) ont permis de mettre en évidence l'erreur de réflexion dans les mesures radiométriques de S.S.T., erreur qui peut atteindre $0,5^\circ$ par temps clair, et un radiomètre polarisant permettant de réduire cette erreur à $0,1^\circ$ maximum a été réalisé (8, 10, 11, 12). Des mesures aériennes de la S.S.T. ont été également effectuées par la même méthode (1, 2, 7, 8), mais le problème de l'absorption atmosphérique reste à étudier pour les vols à haute altitude, ainsi que pour l'étude des données de satellites (3).

2 — Etudes en laboratoire

Les mesures précises de S.S.T. effectuées sur la Bouée-Laboratoire du C.N.E.X.O. ont montré l'existence d'un refroidissement superficiel ΔT qui a été étudié d'une part dans une cuve en fonction du flux perdu par l'eau en l'absence du vent (9), d'autre part dans la soufflerie de l'I.M.S.T. de Marseille en fonction de la vitesse du vent (10). Ces études, qui sont à approfondir, ont confirmé les résultats obtenus sur la Bouée ; le refroidissement disparaît pratiquement à partir d'une vitesse de vent de l'ordre de 15 noeuds.

3 — Etudes théoriques (13)

Le bilan du flux infrarouge et du flux solaire par temps clair, à la surface ainsi que dans la couche superficielle, a été calculé pour diverses températures et diverses conditions météorologiques et géographiques.

Le bilan des flux permet d'expliquer l'existence du refroidissement superficiel observé expérimentalement en supposant l'existence en surface d'une couche d'eau non turbulente ayant une épaisseur de l'ordre du millimètre.

- (1) DESCHAMPS P.Y. — Levé infrarouge de la température de la mer autour de l'île de la Réunion. *Met. Mar., Météorologie Nationale*, n° 71, p. 37-38, 1971.
- (2) DESCHAMPS P.Y., FUSEY F.X., LECOMTE P., VANHOUTTE J.C. — La mesure de température de surface de la mer par radiométrie infrarouge et les problèmes qui y sont liés. Colloque International C.N.E.S. "Les Satellites Météorologiques", Paris, 21-24 mai 1973, p. 243-257.
- (3) DESCHAMPS P.Y., FUSEY F.X., LECOMTE P., VANHOUTTE J.C. — La télédétection par satellites appliquée à l'océanologie. *Atti del XIV Convegno Internazionale sullo Spazio*, Roma, 18-20 mars 1974, p. 137-139.
- (4) DESCHAMPS P.Y., LECOMTE P., VANHOUTTE J.C. — Mesures radiométriques de la température de surface de l'océan sur la Bouée-Laboratoire. Campagne franco-soviétique COFRASOV. *Recueil des Travaux-Laboratoire d'Hydrophysique Marine, Acad. Sc. Ukraine*, Sébastopol, (en russe), p. 110-117, 1972, et Publications du C.N.E.X.O., Série *Résultats des Campagnes à la mer*, n° 4, p. 129-140, 1972.
- (5) DESCHAMPS P.Y., LECOMTE P., VANHOUTTE J.C. — Interprétation des mesures de température de la mer par radiométrie infrarouge. Proc. of AGARD Conf. on "Propagation Limitations in Remote Sensing", Colorado Springs, AGARD, CP 90-71, 9p, 1971.
- (6) DESCHAMPS P.Y., LECOMTE P., VANHOUTTE J.C. — Mesure radiométrique de la température de surface de l'océan. Etude du refroidissement superficiel. Labo Océan. Phys. Paris, Labo. Opt. Atmos. Lille, 134 p. 1972.
- (7) DESCHAMPS P.Y., LECOMTE P., VANHOUTTE J.C. — Applications de la radiométrie infrarouge. *Met. Mar., Météorologie Nationale*, n° 75, p. 25-27, 1972.
- (8) DESCHAMPS P.Y., LECOMTE P., VANHOUTTE J.C. — Améliorations apportées aux techniques de mesure de la température de surface de la mer par radiométrie infrarouge et applications aux levés aériens de température. *Inter Océan 73*, Dusseldorf, vol. 2, p. 871-884, 14-16 nov 1973.
- (9) FUSEY F.X. — Contribution à l'étude du refroidissement superficiel de l'eau et de divers hydrocarbures. Rapport DEA, Univ. Lille I, 1972.
- (10) FUSEY F.X. — Contribution à l'étude des échanges océan-atmosphère : Mesure de la température de surface de l'océan par radiométrie infrarouge polarisée. Thèse de 3^e cycle, Univ. Lille I, juin 1974.
- (11) LECOMTE P., DESCHAMPS P.Y., VANHOUTTE J.C. — Améliorations apportées à la mesure de la température de surface de l'océan par l'utilisation d'un radiomètre infrarouge polarisant. *Appl. Optics*, vol. 12, n° 4, p. 2115-2121, 1973.
- (12) LECOMTE P., DESCHAMPS P.Y., VANHOUTTE J.C., LENOBLE J. — Mesures radiométriques de la température de surface de l'océan. Amélioration apportée par l'emploi d'un radiomètre polarisant. *Atti del XIII Convegno Internazionale Sullo Spazio*, Roma, 22-24 mars 1973, p. 273-284.
- (13) PRUVOST P. — Contribution à l'étude des échanges radiatifs atmosphère-océan. Calcul des flux dans la mer. Thèse de 3^e cycle, Univ. Lille I, octobre 1972.

II – MOUVEMENTS TRANSITOIRES ET VARIABILITE DES CARACTERES MARINS A ECHELLE MOYENNE

J. GONELLA, M. CREPON et A. CAVANIE

Laboratoire d'Océanographie Physique
du Muséum National d'Histoire Naturelle
43, rue Cuvier – 75231 Paris Cédex 05

I – MESURES IN SITU

A) *Travaux effectués au Laboratoire d'Océanographie Physique du Muséum National d'Histoire Naturelle*

L'absence de Bouée-Laboratoire depuis 1970 a poussé un certain nombre de chercheurs à s'orienter vers des séjours dans des laboratoires étrangers et, plus particulièrement, à la Woods Hole Oceanographic Institution (USA).

Les études sur la variabilité et les mouvements transitoires se sont poursuivies avec une très grande quantité de données recueillies à partir de bouées dans l'Atlantique Nord-Ouest et concernant les paramètres dynamiques (vitesse et direction des courants, température, vent, etc.). Ces études ont abouti à la mise au point de nouvelles méthodes d'analyse statistique des séries vectorielles à deux dimensions. Cette technique permet de vérifier d'une part les propriétés spectrales que l'on peut prévoir sur les courants marins, d'autre part la limite de confiance de toute approximation linéaire des modèles théoriques. En particulier, dans l'étude des transferts de quantité de mouvement entre l'atmosphère et l'océan, cette méthode a fait ressortir que le maximum de cohérence, entre vent et courant superficiel dans un océan stratifié en densité, est observé dans le domaine des vitesses angulaires ($-f$, 0 , $+f$, fréquence de Coriolis), où il ne peut y avoir d'ondes giratoires. En outre, cette méthode a mis en évidence la discontinuité de phase entre vent et courant à la vitesse angulaire de Coriolis ($-f$).

D'autres mesures recueillies pour le compte de compagnies pétrolières en mer de Norvège ont permis de mettre en évidence :

– primo : des phénomènes de battement (période proche de 4,63 jours entre courants de marée (période 12,42 h) et courants d'inertie (période 14 h) ;

– secundo : des phénomènes de marées baroclines. Dans la couche mélangée de surface, les courants de marée ont une amplitude 2 à 3 fois supérieure aux courants observés dans la couche sous-jacente.

Enfin, les mesures de courant et de température effectuées le long des côtes françaises ont révélé l'existence de phénomènes d'upwelling côtiers liés à la présence de certains vents locaux : mistral, cers et tramontane sur le littoral méditerranéen.

B) *Travaux effectués conjointement par l'équipe d'Océanographie Physique du Centre Océanologique de Bretagne et de l'Université de Bretagne Occidentale :*

Dans le cadre d'un programme d'étude du proche Atlantique qui a débuté en 1972, onze campagnes ont été exécutées par les deux équipes précitées. La zone étudiée est limitée à l'ouest par le 12° méridien, au nord et au sud par les parallèles 43° et 52° N. Ces campagnes réparties au cours de chaque année étaient destinées à préciser, à

l'échelle des saisons, quelques étaient les variations des paramètres hydrologiques des couches superficielles. La masse d'informations recueillie permet dès à présent de préciser la connaissance de l'hydrologie du proche Atlantique et de son évolution sur un cycle annuel. Elle servira de base à un essai de modélisation destiné à caractériser les variations spatio-temporelles des paramètres superficiels.

II – ETUDES THEORIQUES

Les études théoriques entreprises dans les différents laboratoires ont eu pour objet une meilleure compréhension des relations de causalité qui lient mouvements marins et perturbations météorologiques. Les perturbations météorologiques ayant un caractère essentiellement transitoire, de nombreux chercheurs ont développé une mécanique transitoire de l'océan. Les résultats obtenus concernent essentiellement les domaines suivants :

1 – Ondes internes en régime transitoire

On a montré à partir d'un modèle simple d'océan à deux couches que les ondes internes de période voisine de la période de Coriolis, que l'on observe à la Bouée-Laboratoire, sont générées à la côte lors de la phase transitoire du processus d'ajustement géostrophique qui est déclenché par un coup de vent. On a étudié un modèle linéaire (CREPON, 1972) et aussi un modèle non-linéaire par la méthode des caractéristiques (AHRAN, 1973).

2 – Oscillations d'inertie

Plusieurs modèles de génération des oscillations d'inertie ont été construits.

2.1 – Etudes locales

Une étude de la génération des oscillations d'inertie dans le cas d'un vent constant dans l'espace mais impulsionnel dans le temps avec une condition de non frottement à une certaine profondeur (cas de "mixed layer" avec une condition de frottement nul à la thermocline) montre que très vite les oscillations d'inertie à chacun des niveaux tendent à avoir un module identique et à être en phase, tandis que le courant moyen décroît en tournant avec la profondeur.

2.2 – Etudes spatiales

Dans le cas d'un océan à deux couches, on montre que la réponse de la mer lorsque souffle un vent variable dans l'espace est essentiellement celle qui est due au vent local, si la dimension caractéristique de la perturbation est supérieure au rayon de déformation interne ou si on se trouve à une distance des côtes supérieure au rayon interne de déformation. Dès lors, on peut songer à bâtir un modèle prévisionnel simple vent-courant à partir des données recueillies à la Bouée-Laboratoire (CREPON et MILLOT, 1974 ; BEGIS et CREPON, 1974 ; BEGIS et CREPON, 1975).

D'autre part, la prédominance des oscillations d'inertie en été s'explique par la présence d'une forte stratification ou d'une thermocline de faible profondeur. En hiver, quand la stratification est faible et la profondeur grande, les fréquences d'inertie des ondes, qui constituent la réponse aux impulsions imposées en surface, sont modifiées par l'inclinaison de l'axe de rotation terrestre sur la verticale et par la présence de perturbations de courtes longueurs d'onde (SAINT-GUILY, 1973).

3 - Ondes internes périodiques

Des études très intéressantes ont été réalisées sur les ondes internes du détroit de Gibraltar. En particulier, des schémas explicatifs non-linéaires ont été trouvés pour la formation des ressauts et des oscillations secondaires (CAVANIE, 1971, 1973).

- AHRAN M., 1973. - Etude non-linéaire des ondes internes dans un milieu à deux couches fluides en rotation. Rapp. scientif. techn. CNEXO, n° 17.
- CAVANIE A., 1971. - Modèle non-linéaire et non-hydrostatique appliqué à l'étude des fronts internes dans le détroit de Gibraltar. *Cah. Océanogr.*, XXIII, n° 7, juillet-août 1971, pp. 611-627.
- CAVANIE A., 1972. - Observations de fronts internes dans le détroit de Gibraltar pendant la campagne océanographique OTAN 1970 et interprétation des résultats par un modèle mathématique. In : "Third Liege Colloquium on Ocean Hydrodynamics", 3-8 mai 1971. Mémoires de la Société Royale des Sciences de Liège, 6^e série, tome II, pp. 27-41.
- CAVANIE A., 1973. - Etude non-linéaire des ondes internes dans un milieu à deux couches fluides sans rotation. Rapp. scient. techn. CNEXO, n° 16.
- CAVANIE A. - Equations des ressauts internes dans un système à deux couches et leurs solutions. Mém. Soc. Roy. des Sc. de Liège, 6^e série, tome VI, pp. 141-151, 1973.
- BEGIS D. & CREPON M., 1975. - On the generation of currents by winds : an identification method to determine oceanic parameters (sous presse).
- BEGIS D. & CREPON M., 1974. - Identification d'un modèle de prévision des courants marins. In : II^e Colloque International sur l'Exploitation des Océans, Bordeaux, 1-4 oct. 1974, vol. 3.
- CREPON M., 1972. - Generation of internal waves of inertia period in a two-layer ocean. In : "Physical variability in the North Atlantic", Proc. Symp. Dublin, 1969, *Rapp. P.-V. Cons. int. Explor. Mer*, 162, 1972, pp. 85-88.
- CREPON M. & MILLOT C., 1974. - Structure horizontale des vents et des courants marins. Incidence sur un modèle prévisionnel des courants. In : II^e Colloque International sur l'Exploitation des Océans, Bordeaux, 1-4 oct. 1974, vol. 3.
- FRUCHAUD B. - Etude hydrologique et variations saisonnières dans le proche Atlantique en 1972. Contribution n° 203 du Département Scientifique du Centre Océanologique de Bretagne.
- GONELLA J., 1971. - A local study of inertial oscillations in the upper layers of the ocean. *Deep-Sea Res.*, 18, pp. 776-788.
- GONELLA J., 1971. - The drift current from observations made on the Bouée-Laboratoire. *Cah. Océanogr.*, 23, (1), pp. 1-15.
- GONELLA J., 1971. - Sur la polarisation des courants marins par la rotation terrestre. *C.r. hebdom. Séanc. Acad. Sci. Paris*, 273, pp. 162-164.
- GONELLA J., 1972. - A rotary-component method for analysing meteorological and oceanographic vector time series. *Deep-Sea Res.*, 19, pp. 833-846.
- GONELLA J., 1973. - Etude des courants marins de surface induits par le vent. *Ann. Hydro.* 5^e série, vol. 1, fasc. 1, n° 740.
- GONELLA J., 1974. - Sur la mesure du courant marin et sur son interprétation. C.R. Colloque ASTEO 74, Thème 1.
- GONELLA J., 1974. - Génération des courants par le vent dans une mer stratifiée en densité. C.R. Colloque ASTEO 74, Thème 1.
- GONELLA J. - Effet d'écran d'une thermocline. Observations faites sur la Bouée-Laboratoire. C.R. Sté Hydrot. de France, 1974 (à paraître dans *La Houille Blanche*).
- LE FLOCH J., LETAREAU J.Y., TANGUY A. - Campagnes PHYGAS 31 et PHYGAS 34. Rapp. Scient. de l'U.B.O., Brest.
- SAINT-GUILY B., 1972. - On the response of the ocean to impulse. *Tellus*, 24, (4), pp. 344-349.
- VANGRIESHEIM A., 1974. - Contribution à l'étude des courants à la limite Mer du Nord-Mer de Norvège en été. Thèse 3^e cycle, Université Paris VI, 22 nov. 1974.

III – FORMATION ET COMPORTEMENT DES EAUX PROFONDES EN MEDITERRANEE

H. LACOMBE

Laboratoire d'Océanographie Physique
du Muséum National d'Histoire Naturelle
43, rue Cuvier – 75231 Paris Cédex 05

Le volume considérable des eaux profondes, relativement homogènes, des océans et des mers (75 % des eaux océaniques et marines), l'exiguïté extrême (quelques % de la surface des eaux) des aires où elles se forment, illustrent l'importance pour l'hydrosphère et aussi l'intensité des phénomènes hivernaux d'homogénéisation des eaux sur une couche de mélange très épaisse, à partir de la surface marine. La région de la Méditerranée du NW, située au large de la côte méridionale française, est une aire d'accès relativement facile où l'on sait que s'établissent des couches homogènes sur grande épaisseur (2000 m et plus). Des campagnes hivernales d'études s'y sont déroulées en 1972, 1973, 1974, à bord de navires du CNEXO.

Une exploitation détaillée (5) des données collectées par l'"ORIGNY" pendant la période très froide de janvier à mars 1963 a permis de déceler, dans l'évolution des caractères marins, des stades jusqu'alors inaperçus, depuis la structure usuelle à trois couches jusqu'à l'homogénéisation complète sur une grande épaisseur sur une aire qui, cette année-là, fut sans doute trois fois plus étendue qu'en 1969 (7), (10), (11). Divers aspects du phénomène en Méditerranée et ailleurs ont été présentés au cours d'un Colloque International du CNRS (voir Bibliographie du Colloque).

La poursuite systématique en 1970, 1972 à 1974 de mesures des vitesses fluides verticales par flotteurs de Woods Hole (12) a permis à J.C. GASCARD (2), (3) de bien mettre en évidence, dans les amples mouvements verticaux, d'une part, des pointes de vitesses de valeur insoupçonnée (8 à 10 cm/s pendant 2-3 heures), d'autre part, et plus habituellement, des vitesses verticales oscillatoires d'une période de plusieurs heures (3 à 10 h). S'il n'est pas encore clairement prouvé que les points de vitesse sont liées à l'établissement de vents forts, il y a une concordance remarquable entre la valeur de la période mesurée des oscillations et de la période de Brunt-Väisälä, déduite d'un traitement statistique détaillé des profils verticaux de densité potentielle obtenus au moyen d'une bathysonde : les oscillations constatées seraient donc des oscillations de stabilité. Un phénomène curieux, constaté déjà en 1969, est l'absence de corrélation entre le vent et le courant superficiel lorsque l'eau marine présente, en hiver, une stratification presque indifférente de densité alors que, au même endroit, en été, en présence d'une thermocline, le courant, au-dessus de celle-ci, est en corrélation étroite avec le vent. Aussi GASCARD a-t-il proposé que, en stratification presque indifférente, l'énergie cédée par le vent à la mer servirait à susciter d'amples mouvements verticaux, contrairement à ce qui se passe en été : alors, cette énergie sert surtout à engendrer des oscillations d'inertie. SAINT-GUILY (8), (9) a suggéré des explications de la réaction profonde d'un océan presque homogène à des effets, mécaniques ou thermiques, superficiels. La valeur élevée, 7-8 heures et au-delà, de la période de Brunt-Väisälä conduit à penser que la rotation terrestre peut, en milieu quasi-homogène, avoir une influence notable sur les oscillations de grande amplitude constatées ; celles-ci, dont la période maximale théorique en milieu tournant est de 12 heures sidérales en milieu homogène, pourraient, par la proximité des périodes de marées

semi-diurnes, être influencées par ces dernières ; d'autre part, l'ampleur des mouvements verticaux peut être telle que, par effet non-linéaire, un rôle appréciable soit joué par eux dans l'établissement de l'homogénéisation constatée. La conduite par GASCARD (4) de mesures analogues en période d'été a montré que, alors, les mouvements verticaux sont très faibles en profondeur et présentent une périodicité plus proche de l'habituelle période d'inertie (12 heures sidérales/sin Φ). Un effort de détermination fine des mouvements horizontaux des flotteurs à une cadence grande vis-à-vis de la fréquence de Brunt-Väisälä a été fait, grâce à l'implantation d'un polygone acoustique sur bouées (1). Les premières mesures, de courte durée, faites en 1974, sont en cours de dépouillement ; elles seront suivies d'autres, car on peut espérer que la connaissance simultanée des trois composantes de la vitesse donnera une utile lumière sur la nature et la genèse de ces mouvements.

Le caractère représentatif de la zone Nord de la Méditerranée occidentale pour les phénomènes de formation d'eau dense sur grande épaisseur, ainsi que diverses similitudes découvertes et récemment rappelées par P. TCHERNIA, ont conduit le Laboratoire d'Océanographie Physique du Muséum National d'Histoire Naturelle à demander puis à tenir en octobre 1972 un "Colloque International du CNRS" (co-financé par le CNEOX) sur la "Formation des eaux océaniques profondes". Le Colloque qui a attiré une trentaine de spécialistes étrangers a été l'occasion d'une importante présentation nationale (cf. Bibliographie). Des analogies frappantes et inattendues ont été relevées entre des processus se déroulant dans des régions de formation d'eau dense aussi diverses que l'Antarctique, la Mer du Groenland, la Mer du Labrador, la Méditerranée Nord-occidentale et la Mer Rouge, qui, à des titres et des degrés divers, sont, dans certaines de leurs aires, des "puits" de chaleur au profit de l'atmosphère. Des écoulements d'eau hivernale dense sur le plateau continental et le haut du talus se rencontrent sur le plateau antarctique, le Golfe de Suez et le Golfe du Lion tandis qu'au centre de circulations cycloniques en Mer du Groenland, en Mer du Labrador et en Méditerranée, des processus d'homogénéisation se déroulent aussi, mettant en œuvre parfois des écoulements d'eau dense sur une pycnocline ("shelf virtuel"). La constatation de ces similitudes inattendues apporte une confirmation que des aires marines très accessibles, comme le large du Golfe du Lion, peuvent être considérées comme des modèles d'étude des phénomènes visés. Cependant, il est encore difficile de faire, dans la genèse de leur mécanisme, la part du brassage mécanique dû au vent et celle du brassage convectif lié à l'évaporation, qu'il intensifie. La genèse de fronts thermiques et halins constatés sur les bords d'une zone homogénéisée n'apparaît pas clairement. Quant au rôle effectif des non-linéarités de l'équation d'état de l'eau de mer, de la diffusivité différentielle de la chaleur et du sel dans l'eau, etc., il est encore en discussion. H. LACOMBE (6) a préparé une synthèse des résultats du Colloque.

(1) DU CHAFFAUT, TILLIER, GASCARD. — Acoustical localisation system for the tracking of underwater drifting floats. Proc. IEEE International Conference on Ocean Engineering, Vol. II, pp. 139-141, Halifax, août 1974.

(2) GASCARD J.C. — Sur les caractères de la distribution de l'énergie cinétique dans les oscillations verticales en milieu marin quasi-homogène. *C.R.A.S.*, B. 275, pp. 395-398, 1972.

(3) GASCARD J.C. — Vertical motion in a region of deep water formation. *Deep-Sea Res.*, XX (11), pp. 1011-1028, 1973.

(4) GASCARD J.C. — Comparaison des mouvements verticaux observés en profondeur en Méditerranée Nord-occidentale en régime d'été et en régime d'hiver. *C.R.A.S.* (sous presse).

(5) LACOMBE H. et TCHERNIA P. — Le problème de la formation des eaux marines profondes. Déroulement du phénomène en Méditerranée occidentale par hiver très froid (février-mars 1963). *Ann. Inst. Océanogr. Paris*, XLVIII (1), pp. 75-110, 1972.

(6) LACOMBE H. — Deep effects of energy transfers across the sea surface : the formation of deep waters. The western Mediterranean as an example. Presid. Add. IAPSO Melbourne Assembly. IAPSO Procès-Verbaux n° 13, pp. 52-85, 1974.

(7) MEDOC GROUP. — Observation of formation of deep water in the Mediterranean Sea, 1969. *Nature*, 227 (5262), pp. 1037-40, 5 sept. 1970.

(8) SAINT-GUILY B. — Sur les ondes d'inertie en milieu homogène. *C.R.A.S.*, D. 272, pp. 2531-32, 1971.

(9) SAINT-GUILY B. — On the response of the ocean to impulse. *Tellus*, XXIV (4), pp. 344-49, 1972.

(10) TCHERNIA P. et FIEUX M. — Résultats des observations hydrologiques effectuées à bord du N/O "JEAN CHARCOT" pendant la campagne MEDOC 1969. *Cah. Océanogr.*, XXIII, Suppl. n° 1, pp. 1-91, 1971.

(11) TCHERNIA P. et LACOMBE H. — Les opérations MEDOC 1969 et 1970. Etude de la formation hivernale d'eau profonde en Méditerranée Nord-occidentale. Colloque International Exploitation des Océans, T. I, Bordeaux, mars 1971.

(12) VOORHIS A.D. et WEBB D.C. — Large vertical currents observed in a winter sinking region of the North-western Mediterranean. *Cah. Océanogr.*, XXII, p. 571, 1970.

COLLOQUE INTERNATIONAL DU CNRS N° 215, OCTOBRE 1972
(publié juin 1974)

"LA FORMATION DES EAUX OCEANIQUES PROFONDES"

Références des communications présentées par des Français

TCHERNIA P. — De l'Antarctique à la Méditerranée, pp. 17-22.

MAILLARD C. — Formation d'eau profonde en Mer Rouge, pp. 115-127.

FIEUX M. — Formation d'eau dense sur le plateau continental du Golfe du Lion, pp. 165-174.

PERSON R. — Un exemple de descente des eaux superficielles du plateau continental dans un canyon du Golfe du Lion, pp. 175-190.

LACOMBE H. et TCHERNIA P. — Evolution hydrologique dans la zone de formation d'eau profonde au large de la côte méditerranéenne française par hiver très froid(1962-63), pp. 191-202.

MAILLARD C. — Circulation géostrophique au large du Golfe du Lion à partir des résultats des campagnes MEDOC 69 et 70, pp. 203-220.

GASCARD J.C. — Mouvements verticaux dans une région de formation d'eau profonde, pp. 221-226.

SAINT-GUILY B. — Réponse d'une mer faiblement stratifiée à une impulsion superficielle, pp. 243-248.

LACOMBE H. et TCHERNIA P. — Les zones de formation d'eau profonde océanique : caractères, processus, problèmes, pp. 249-262.

IV – ETUDES THEORIQUES SUR LA DYNAMIQUE DES MERS

B. SAINT-GUILY

Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris,
Laboratoire Arago, Banyuls-sur-Mer

Les travaux théoriques intéressant la dynamique des mers ont porté essentiellement sur les sujets suivants : les ondes internes, les ondes de gravité, et à un degré moindre les effets du relief du fond.

Les conditions de formation et de propagation d'ondes internes dans un bassin non tournant ont été discutées analytiquement de façon détaillée. L'étude numérique des ondes internes engendrées par un déséquilibre initial de l'interface, et par l'action du vent, a permis de préciser l'action des termes non linéaires sur les mouvements de l'interface et sur les courants associés. La théorie des oscillations propres d'un fluide stratifié dans un bassin tournant fermé a été traitée de façon approfondie en tenant compte des accélérations verticales, c'est-à-dire des divers modes internes possibles.

La réponse de la mer aux actions météorologiques a été discutée à l'aide de divers modèles théoriques. Les impulsions appliquées en surface donnent naissance à des ondes internes et à des courants d'inertie. La prédominance, en été, des périodes d'inertie est due à la présence d'une thermocline et d'une stratification relativement forte. En hiver, si la stratification est très faible, l'inclinaison de l'axe de rotation de la terre sur la verticale n'est plus négligeable. Elle modifie les périodes des oscillations engendrées par les perturbations de courtes longueurs d'onde qui sont imposées à la surface de la mer.

Plusieurs travaux ont été consacrés à l'étude théorique des ondes de gravité. Certains ont porté sur la houle en eau peu profonde dans un bassin limité, et sur les effets des obstacles à géométrie simple. Par ailleurs, dans le cas d'une eau peu profonde, des formules asymptotiques représentant la production des ondes par un batteur et leur réflexion par une plage ont été obtenues sous forme explicite.

Enfin, les modifications apportées aux mouvements marins par la présence d'un relief du fond ont été examinées en considérant d'une part les oscillations propres de seconde classe, et d'autre part les courants permanents induits par le vent dans un bassin de profondeur variable.

AHRAN M. — Etude non-linéaire des ondes internes dans un milieu à deux couches fluides en rotation. *Rapp. Scient. Techn. CNEOX* n° 17, 1973.

CAVANIE A. — Différents modèles non-linéaires et non hydrostatiques appliqués à l'étude des fronts internes du Détroit de Gibraltar in "Ondes internes dans les Océans" (en russe) Novosibirsk, p. 48-66, 1972.

CAVANIE A. — Etude non-linéaire des ondes internes dans un milieu à deux couches fluides sans rotation. *Rapp. Scient. Techn. CNEOX* n° 16, 1973.

CREPON M. — Hydrodynamique marine en régime impulsionnel in "Ondes internes dans les océans" (en russe) Novosibirsk, p. 25-47, 1972.

EYRIES M. — Ondes de berge dans un bassin tournant in "Ondes internes dans les océans" (en russe) Novosibirsk, p. 233-243, 1972.

GERMAIN J.P. — Sur une généralisation de la théorie des mouvements en eau peu profonde. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 273, A, p. 1093-1096, 1971.

GERMAIN J.P. — Sur le caractère limité de la théorie des mouvements des liquides parfaits en eau peu profonde. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 273, A, p. 1171-1174, 1971.

- GERMAIN J.P. — Calcul des ondes longues dans les canaux non tournant in "Ondes internes dans les océans" (en russe) Novosibirsk, p. 281-298, 1972.
- GERMAIN J.P. — Théorie générale des mouvements d'un fluide parfait pesant en eau peu profonde de profondeur constante. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 274, A, p. 997-1000, 1972.
- SAINT-GUILLY B. — Influence d'une profondeur variable sur les courants induits par le vent. *Vie Milieu XXII*, 2, B, p. 227-238, 1971.
- SAINT-GUILLY B. — Oscillations propres dans un bassin tournant de profondeur variable. Modes de seconde classe, in "Studi in onore di G. Aliverti". Istituto Universitario Navale di Napoli, p. 15-25, 1972.
- SAINT-GUILLY B. — Sur les oscillations d'inertie et les oscillations de seconde classe dans les mers in "Ondes internes dans les océans", (en russe), Novosibirsk, p. 221-232, 1972.
- SAINT-GUILLY B. — On the response of the ocean to impulse. *Tellus*, 24, 4, p. 344-349, 1972.
- SAINT-GUILLY B. — Réponse d'un milieu faiblement stratifié à une impulsion superficielle. in *Colloque international du CNRS. "Processus de formation des eaux océaniques profondes en particulier en Méditerranée occidentale"*, p. 243-248, 1973.
- SUBERVILLE J.L. — Oscillations libres d'une bicouche dans un bassin rectangulaire tournant de profondeur constante. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 277, A, p. 69-72, 1973.
- SUBERVILLE J.L. — Ondes internes en fluide tournant. Contribution théorique et expérimentale. *Thèse de Docteur-Ingénieur de l'Université de Grenoble*, p. 291, 1974.
- TEMPERVILLE A. — Sur la propagation des ondes de gravité planes en eau peu profonde. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 272, A, p. 904-907, 1971.
- TEMPERVILLE A. — Sur le calcul des ondes périodiques planes de gravité en eau peu profonde. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 272, A, p. 967-970, 1971.
- TEMPERVILLE A. — Sur l'existence d'une solution formelle du problème du clapotis en eau peu profonde. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 274, 4, p. 588-590, 1972.

V – OPTIQUE OcéANOGRAPHIQUE

A. IVANOFF

Laboratoire d'Océanographie physique, Université Pierre et Marie Curie, Paris

A. MOREL

Station Marine de Villefranche-sur-Mer.

LA PENETRATION DE LA LUMIERE DU JOUR DANS LA MER

L'étude expérimentale des éclaircissements descendants et ascendants à diverses profondeurs a été menée de façon systématique lors de plusieurs campagnes : campagne du SCOR/UNESCO Working Group 15 à bord du Discoverer (1970), puis à bord du Jean Charcot, Campagnes HARMATTAN (1971), CINECA II (1) (1971) et CINECA V (1974). Pour trois de ces campagnes, les résultats complets ont été publiés (14), (15) ; ils concernent le flux énergétique, le flux de photons et la composition spectrale aux divers niveaux, ceci pour les radiations comprises entre les longueurs d'onde 400 et 700 nm, qui sont considérées comme potentiellement actives dans le processus de photosynthèse.

Environ un millier de spectres du résidu sous-marin de lumière du jour ont été ainsi obtenus dans des conditions très diversifiées, allant des eaux limpides de la mer des Sargasses, aux eaux riches et productives de la zone de l'upwelling mauritanien. L'évolution des spectres pour ces différents cas a été étudiée (5), (16). Elle est due principalement à la teneur variable en pigments, chlorophylle et caroténoïde. Cependant les modifications constatées ne sont pas uniquement corrélées à cette teneur en pigments ; substance jaune et particules diffusantes ont un effet complémentaire variable qui peut devenir prédominant pour certaines eaux côtières. Ces variations du spectre pour les diverses eaux n'entraînent cependant pas une variation importante du rapport entre le nombre de photons et l'énergie, pour la bande spectrale 400-700 nm (17). En première approximation ce rapport peut être tenu pour constant ; ainsi, en dépit du fait que la photosynthèse soit un processus quantique, les relations entre éclaircissement et productivité primaire peuvent aussi bien être étudiées à partir des valeurs énergétiques qu'à partir du nombre de photons. Dans le même ordre d'idées, il a été montré (21) que le flux de photons était directement dépendant de la densité spectrale d'énergie au voisinage de son maximum, ce maximum du spectre étant lui-même variable en longueur d'onde selon les eaux.

Au cours de ces mêmes campagnes, des études systématiques ont été faites du spectre de la lumière incidente en surface et du spectre de la lumière rétrodiffusée par la mer. De ces mesures on déduit la répartition spectrale du coefficient de réflexion diffuse de la mer, autrement dit la "couleur intrinsèque" de la mer (puisqu'indépendante des conditions extérieures : nébulosité et hauteur de soleil). Celle-ci est ensuite confrontée aux valeurs obtenues au même point pour les teneurs en chlorophylle et en particules ainsi que pour le coefficient de diffusion optique.

Ce même problème de la propagation de la lumière dans un milieu infini absorbant et diffusant a été étudié théoriquement afin de relier les paramètres décrivant le champ lumineux (coefficients d'extinction, répartition des luminances . . .) aux paramètres optiques caractéristiques du milieu (coefficients d'absorption a, de diffusion b, d'atténuation c, et indicatrice de diffusion). Une revue des théories du transfert radiatif applicables dans le cas

(1) Cooperative investigation of North East Central Atlantic.

de l'eau de mer a été faite (19). Grâce à un modèle numérique faisant intervenir les caractéristiques connues des eaux de mer, l'indicatrice de diffusion en particulier (12), le régime lumineux "profond" (ou "asymptotique", ne dépendant plus des conditions d'illumination en surface) a pu être calculé, et les relations entre k/c et b/c ont été établies dans ce cas limite (18). Le régime "transitoire", prévalant avant l'établissement du régime limite, est également étudié en résolvant les équations du transfert radiatif par la méthode des ordres successifs. Celle-ci a l'avantage de mettre aisément en évidence l'importance relative des ordres successifs de diffusion (19). La déviation des valeurs des coefficients d'extinction par rapport à leurs valeurs en régime asymptotique est ainsi déterminée pour divers cas d'illumination en surface (ciel uniforme, soleil, ...). Lors de la campagne CINECA V des mesures strictement simultanées de k , b et c ont été exécutées en vue précisément de vérifier les calculs théoriques. Cette simulation mathématique permet également d'accéder au coefficient de réflexion diffuse et d'expliquer ainsi les mesures effectuées en ce domaine.

Concernant l'état de polarisation du résidu sous-marin de lumière du jour, une revue a été faite des connaissances acquises expérimentalement en ce domaine (8). Enfin, diverses publications ou communications (3), (4) ont été faites à l'intention des océanographes biologistes intéressés par les problèmes de photométrie sous-marine. Dans un domaine un peu différent, une application relative à l'aspect thermique de l'absorption de l'énergie a été développée : des valeurs du coefficient d'extinction moyen et de l'apport solaire peut être déduite l'épaisseur, variable avec la saison, de la couche homotherme (2). Ces considérations touchent au problème des bilans thermiques qui sont examinés par ailleurs (voir l'article de M. COANTIC, A. IVANOFF et J. LENOBLE).

LES CARACTERISTIQUES DES EAUX DE MER

Concernant le coefficient d'absorption, outre la présentation du principe d'une mesure exécutable *in situ* (1), des mesures *in vitro* ont été effectuées afin de préciser le rôle des sels et des substances organiques dissoutes dans l'absorption de l'ultraviolet (6). Pour le domaine visible du spectre, des estimations indirectes, par différence entre coefficients d'atténuation et de diffusion, ont été tirées des mesures exécutées lors de la campagne CINECA V.

Des mesures systématiques du coefficient total de diffusion ont été faites, en même temps que l'hydrologie, entre Villefranche-sur-Mer et Cali. Les mesures, en neuf stations sur cette coupe, ont été exécutées chaque mois (22). Elles ont permis, en particulier, de mettre en évidence la présence systématique, en été, de couches turbides subsuperficielles de part et d'autre du centre de la coupe ; leur présence à la base de la pycnocline est le reflet d'une certaine activité photosynthétique, elle-même liée à des conditions de stabilité verticale et d'éclairement qui ont été précisées (20).

Sur un plan théorique, les propriétés diffusantes des particules en suspension dans la mer ont fait l'objet d'un certain nombre de travaux, dont le but est, d'une part, d'expliquer les principaux résultats expérimentaux et, d'autre part, de fournir une base sûre afin de dépasser le qualitatif quand il s'agit d'utiliser les mesures de diffusion pour évaluer la teneur des eaux en particules. Des calculs préliminaires ont été exécutés, par utilisation de la théorie de Mie, pour obtenir les indicatrices de diffusion de particules sphériques dont les tailles s'échelonnent de 0,02 à 40 μm et l'indice de réfraction (relatif à l'eau) de 1,02 à 1,15. En combinant ces résultats, après adoption des lois de distribution des particules selon la taille (lois de Junge, exponentielles, gaussio-logarithmiques), les indicatrices pour les systèmes polydispersés correspondants ont été obtenues (11). Parmi les indicatrices théoriques ainsi calculées, certaines rendent bien compte des résultats expérimentaux, ce qui permet de préciser l'indice moyen et les lois de distribution les plus plausibles (9), (12). Ces derniers résultats sont en bon accord avec ce que l'on sait par ailleurs sur ces sujets. Il a pu être montré également que la dépendance spectrale de la diffusion par les particules,

constatée expérimentalement, est en liaison directe avec l'exposant de la loi de Junge caractérisant la distribution (12).

Enfin, l'établissement de relations, entre diffusion d'une part et nombre, surface, ou volume des particules d'autre part, est un problème mathématiquement complètement soluble et un certain nombre de cas ont été traités, qui correspondent à des hypothèses jugées raisonnables quant aux indices, lois de distributions et limites inférieure et supérieure de ces distributions (10), (12).

En prolongement à des travaux antérieurs, un examen des résultats expérimentaux et une confrontation aux prévisions théoriques ont été faits en ce qui concerne la diffusion par l'eau et par l'eau de mer optiquement pures (13). Enfin, le point a été fait des connaissances actuelles sur les caractéristiques optiques des eaux de mer, sur leur répartition et sur leurs variations spatiales (7).

(1) BAUER D., BRUN COTTAN J.C., SALIOT A. — Principe d'une mesure dans l'eau de mer du coefficient d'absorption de la lumière. *Cah. Océanogr.*, XXIII, 9, p. 841-858, 1971.

(2) BETHOUX J.P., IVANOFF A. — Energie solaire et thermocline saisonnière. *AGARD Lecture Séries 61, Optics of the Sea*, 1 4-1 - 1 4-7, 1973.

(3) BOUTLER J. — Photométrie sous-marine, mesures effectuées pendant la mission Mediproduct 1. *Investigation Pesquera*, 35, p. 147-154, 1971.

(4) BOUTLER J. — Etalonnage des photomètres sous-marins. *Bull. COMPLES*, 19, p. 11-13, 1971.

(5) CALOUMENOS L., MOREL A. — Analyse spectrale de l'énergie disponible pour la photosynthèse, pour diverses régions marines typiques. *Rapp. Proc. Verb. CIESM*, 22, 5, 57, 1973.

(6) COPIN MONTEGUT G., IVANOFF A., SALIOT A. — Coefficient d'atténuation des eaux de mer dans l'ultraviolet. *C.R. Acad. Sci.*, 272, série B, p. 1453-1456, 1971.

(7) IVANOFF A. — Facteurs physiques, chimiques et biologiques affectant la propagation de la lumière dans les eaux de mer. *AGARD Lecture Séries 61, Optics of the Sea*, II 1-1 - II 1-45, 1973.

(8) IVANOFF A. — Polarization measurements in the Sea. In: *Optical Aspects of Oceanography*. N.G. Jerlov, E.S. Nielsen Edit., Academic Press, p. 151-176, 1974.

(9) MOREL A. — Application de la théorie de Mie à l'interprétation de l'indicatrice de diffusion de la lumière dans les eaux de mer. *C.R. Acad. Sci.*, 274, série B, p. 1387-1390, 1972.

(10) MOREL A. — Au sujet de l'emploi du coefficient total de diffusion de la lumière pour évaluer la teneur des eaux de mer en particules en suspension. *C.R. Acad. Sci.*, série B, p. 1447-1450, 1972.

(11) MOREL A. — Indicatrices de diffusion calculées par la théorie de Mie pour les systèmes polydispersés en vue de l'application aux particules marines. Centre de Rech. Océanogr. Villefranche-sur-Mer, Rapp. 10, p. 1-77, 1973.

(12) MOREL A. — Diffusion de la lumière par les eaux de mer ; résultats expérimentaux et approche théorique. *AGARD Lecture Séries 64, Optics of the Sea*, III 1-1 - III 1-76, 1973

(13) MOREL A. — Optical properties of pure water and pure sea water. In: "Optical Aspects of Oceanography". N.G. Jerlov, E.S. Nielsen Edit., Academic Press, p. 1-24, 1974.

(14) MOREL A., BETHOUX J.P. — Measurements of Spectral and total radiant flux. *SCOR-UNESCO Discoverer Expedition*. Univ. Calif., Scripps Inst. Oceanogr., S10 ref. 73-16, F 1-341, 1973.

(15) MOREL A., CALOUMENOS L. — Mesures d'éclairements sous-marins ; flux photons et analyse spectrale (campagnes Harmattan et Cineca 2). *Centre Rech. Oceanogr.*, Villefranche-sur-Mer, Rapp. 11, p. 1-242, 1973.

(16) MOREL A., CALOUMENOS L. — Variabilité de la répartition spectrale de l'énergie photosynthétique. Proc. Conf. Upwelling Ecosystem Analysis. *Thetys* 6, 1974.

(17) MOREL A., SMITH R.C. — Relation between total quanta and total energy for aquatic photosynthesis. *Limnol. & Oceanogr.*, 19, 4, p. 591-600, 1974.

(18) PRIEUR L., MOREL A. — Etude théorique du régime asymptotique : relations entre caractéristiques optiques et coefficient d'extinction relatif à la pénétration de la lumière du jour. *Cah. Océanogr.* XXIII, 1, p. 35-48, 1971.

(19) PRIEUR L., MOREL A. — Aperçu sur les théories du transfert radiatif applicables à la propagation de la lumière dans la mer. *AGARD Lecture Séries 61, Optics of the Sea*, 1 3-1 - 1 3-25, 1973.

(20) PRIEUR L. — Interprétation d'une zone de forte turbidité sur la radiale Nice-Calvi. *Rapp. Proc. Verb. CIESM*, 22, 5, p. 59-61, 1973.

(21) PRIEUR L., CALOUMENOS L. — Relations pour l'éclairement sous-marin entre densité spectrale au voisinage de son maximum et flux de photons entre 400 et 700 nm. *Ann. Inst. Océanogr.*, 50, 2, 1974.

(22) Groupe "HYDROKOR". — Observations mensuelles hydrologiques et optiques sur la radiale Villefranche-Calvi pendant la période 1969 à 1971. *Centre Rech. Océanogr.*, Villefranche-sur-Mer, Rapp. 5, p. 1-250, 1973.

VI – ETUDES SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES ET SUR L'EQUATION D'ETAT DE L'EAU DE MER

G. GIRARD

Bureau International des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, Sèvres

M. MENACHE

Institut Océanographique, 195 rue St-Jacques, Paris

A. POISSON

Laboratoire d'Océanographie physique, Université de Pierre et Marie Curie, Paris.

I – OBSERVATIONS DE LA MASSE VOLUMIQUE DE L'EAU

Des travaux, menés en coopération entre le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) et l'Institut Océanographique (IO), sont en cours depuis 1967, dans le but d'améliorer notre connaissance de la masse volumique de l'eau. Les observations sont effectuées sur divers échantillons purifiés d'eau de mer et d'eau continentale. Les résultats obtenus s'appliquent aussi bien à l'eau pure qu'à l'eau de mer non traitée. L'eau pure étant, par ailleurs, utilisée comme liquide de référence dans les déterminations de masse volumique de l'eau de mer, une meilleure connaissance de sa propre masse volumique intéresse essentiellement l'océanographie.

Dans l'intervalle 1971-1974, les travaux ont porté essentiellement sur l'influence de la composition isotopique sur la masse volumique. Une première relation entre la composition isotopique et la masse volumique a été établie à partir d'une première série de mesures effectuées à partir de 22° C, puis confirmée par des mesures faites au voisinage du minimum de dilatation thermique de l'eau, soit à environ 4° C.

En prévision d'une étude expérimentale qui porterait sur l'influence des gaz atmosphériques dissous sur la masse volumique de l'eau, la méthode d'analyse par chromatographie en phase gazeuse a pu être appliquée à l'analyse de l'azote et de l'oxygène en solution dans l'eau. La méthode mise au point permet d'obtenir sur les résultats une précision de l'ordre de 2 %.

Cette technique a été appliquée à une étude des vitesses comparées de dissolution dans l'eau de l'oxygène et de l'azote atmosphérique. Il a été établi qu'au cours de la dissolution de ces deux gaz, le rapport de leurs concentrations dans l'eau à un instant donné est constant et égal au rapport de leurs solubilités pour les conditions de température et de pressions partielles de l'expérience. Il suffirait donc de titrer, à un instant donné, l'un de ces deux gaz dans un échantillon pour en déduire la teneur de l'échantillon en l'autre gaz. Dans l'étude projetée de l'influence des gaz atmosphériques dissous sur la masse volumique, il sera ainsi possible de renoncer à la méthode d'analyse par chromatographie, relativement longue et délicate. On se contentera de titrer l'oxygène dissous par la méthode chimique de Winkler, la teneur en azote étant alors obtenue par le calcul.

A la suite des prises de position 1) du Comité International d'Experts pour les Tables et Etalons Océanographiques (Recommandation 1969, n° 1), 2) de l'AIISO (Résolution 1,

1970), et 3) de l'UGGI (Résolution 18, 1971), la Commission 1.4 (Physicochemical Measurements and Standards) de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (IUPAC), réunie à Munich en août 1973 lors de la 17^e Conférence de l'Union, a adopté le principe d'une résolution recommandant que des travaux soient entrepris dans les laboratoires qui en ont la possibilité, en vue d'une nouvelle détermination de la masse volumique de l'eau pure dans l'intervalle 0-40° C. Cette Résolution, qui vient d'être largement diffusée par l'IUPAC, semble avoir trouvé, un peu partout dans le monde, une grande audience, et divers laboratoires métrologiques envisagent aujourd'hui de prendre part à de tels travaux.

En attendant les résultats de ces travaux, dont l'aboutissement demandera plusieurs années, et dans le but de rendre comparables les résultats de détermination de volume ou de masse volumique qui seraient faites entre-temps, la Commission 1.4. de l'IUPAC recommande l'emploi d'une table unique de la masse volumique du SMOW dans l'intervalle 0-40° C (3), proposée par GIRARD et MENACHE.

II – INFLUENCE DES ECARTS A LA LOI DE DITTMAR SUR LA RELATION CONDUCTIVITE-MASSÉ VOLUMIQUE DE L'EAU DE MER

Les écarts à la loi de Dittmar entraînent des incertitudes sur la mesure de la salinité par conductimétrie et sur le calcul de la masse volumique à l'aide des tables océanographiques.

Pour évaluer ces incertitudes, POISSON a mis au point une technique de mesure de la conductivité absolue, avec laquelle il étalonne actuellement les différentes eaux normales distribuées par l'"IAPSO Standard Sea-Water Service".

En collaboration avec GIRARD et MENACHE, POISSON a mesuré par pesée hydrostatique les variations de masse volumique correspondant à des variations de la composition relative de l'eau de mer. Il en a ensuite déduit les volumes molaires partiels des ions majeurs susceptibles de perturber la relation masse volumique-conductivité électrique. D'autre part, pour atteindre les conductivités molaires partielles de ces ions, il tente actuellement de déterminer leurs nombres de transport par une méthode dérivée de celle de HITTORF, basée sur la technique de marquage radioactif. Il a en effet établi par la Thermodynamique des Phénomènes Irréversibles, que ces grandeurs peuvent être obtenus par l'expérience, les nombres de transport absolus (mesurés par la méthode de marquage radioactif) pouvant être reliés à ceux de HITTORF, eux-mêmes en relation directe avec les conductivités molaires partielles (mesurées par la technique conductimétrique).

(1) CHANU J., POISSON A. – Influence des écarts à la loi de Dittmar sur la masse volumique de l'eau de mer : détermination des volumes molaires partiels de quelques constituants majeurs. XXIV^e Congrès – Assemblée plénière de la Commission de la Mer Méditerranée, Monaco, déc. 1974.

(2) GIRARD G. – L'échelle internationale pratique de température de 1968 (historique, recherches entreprises pour son établissement). *Annuaire du Bureau des Longitudes*, A₁ – A₅₀, 1971.

(3) GIRARD G. – Sur la masse volumique de l'eau. Formule de correction isotopique. Proposition d'une table de masse volumique du SMOW en fonction de la température. Communication présentée à la XVII^e Conférence de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée, Commission 1.4 (Mesures et étalons physicochimiques), Munich, août 1973.

(4) GIRARD G. – Suite donnée à la Résolution 18, adoptée en août 1971 par l'UGGI. Communication présentée à la réunion de la Section d'Océanographie Physique du Comité National Français de Géodésie et Géophysique, Paris, 5 février 1974.

(5) GIRARD G., MENACHE M. – Variation de la masse volumique de l'eau en fonction de sa composition isotopique. *Metrologia*, 7 (3) p. 83-87, 1971.

(6) GIRARD G., MENACHE M. – Sur le calcul de la masse volumique de l'eau. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, B, 274, p. 377-379, 1972.

(7) MENACHE M. – Vérification, par analyse isotopique, de la validité de la méthode de Cox, McCartney et Culkln tendant à l'obtention d'un étalon de masse volumique. *Deep Sea Res.*, 18 (5), p. 449-456, 1971.

(8) MENACHE M., GIRARD G. — Sur les différentes tables de dilatation thermique de l'eau entre 0 et 40° C. Concerning the different tables of thermal expansion of water between 0 and 40° C. *Publication conjointe de l'Institut Océanographique et du Bureau International des Poids et Mesures*, 25 p. Sept. 1972.

— Concerning the different tables of thermal expansion of water between 0 and 40° C (texte anglais). *Metrologia* 9, p. 62-68, 1973.

— Sur les différentes tables de dilatation thermiques de l'eau entre 0 et 40° C (abrégé). *Chronique de l'U.G.G.I.*, 91, p. 22-26, mai 1973.

(9) MENACHE G., GIRARD G. — Du problème de la masse volumique de l'eau. Communication présentée à la 8^e Conférence Internationale de la Vapeur d'Eau, tenue à Giens, les 23-27 sept. 1974, à paraître dans les Proceedings de la Conférence.

(10) POISSON A., CHANU J. — Volumes molaires partiels de quelques ions majeurs de l'eau de mer (à paraître).

VII – CHIMIE OcéANOGRAPHIE

A. IVANOFF

Laboratoire d'Océanographie-Physique, Université Pierre et Marie Curie –
E.R.A. N° 278 C.N.R.S., 4 pl. Jussieu, 75230 Paris Cedex 05.

A. MOREL

Laboratoire d'Océanographie-Physique, Université Pierre et Marie Curie –
C.N.R.S. ; Station Marine de Villefranche sur mer, 06320 Villefranche Sur Mer.

F. VARLET

Musée océanographique, Avenue Saint-Martin, MC Monaco.

Aspects généraux

Le premier tomè d'une "Introduction à l'Océanographie" (21) a consacré six chapitres aux "éléments essentiels" de la chimie de la mer, considérée, en 1972, comme "désespérément" en retard dans notre pays. Deux ans plus tard, l'Action Thématique Programmée d'Océanographie-Physique lancée par le C.N.R.S. devait faire une place à cette discipline.

Progrès dans les méthodes d'analyse

Ce n'est pas sans quelque arbitraire que sont regroupées ici certaines références. En fait, la plupart des recherches, de chimie organique marine notamment, impliquent l'adaptation ou la création de techniques analytiques propres.

La part grandissante de l'analyse instrumentale s'est marquée, dans le dosage des métaux lourds, par la mise en oeuvre de la redissolution anodique (20, 23), de la polarographie – dont une variante a permis d'identifier et de doser les différentes formes du cuivre dans l'eau de mer (34) –, et de la spectrométrie d'absorption atomique (23). Cette dernière technique est également mise à profit dans une méthode originale, dont l'automatisation est en cours, de dosage global des acides gras libres (40, 41). Les possibilités de chélation de différents métaux-traces, du fer en particulier, par la matière organique dissoute ont fait l'objet d'une double approche, théorique et expérimentale (24, 25).

P. TREGUER et P. LE CORRE (42) ont publié, sous une forme commode adaptée à une nouvelle génération d'auto-analyseurs, les procédures du dosage des sels nutritifs.

Le désir de préciser le rôle du molybdène parmi les facteurs limitant la production primaire a conduit à mettre au point une technique colorimétrique qui convient bien à l'eau de mer (7).

Des méthodes affinées de prélèvement et d'analyse des particules en suspension (seston) ont été développées et utilisées dans l'Atlantique équatorial, en Méditerranée, dans les océans Indien et Antarctique (9 à 11 et 15), précisant notamment l'évolution de la composition avec la profondeur (12, 14), et la part des apports édiens (13).

L'étude fine des constituants de la matière vivante, particulièrement intéressante dans la mesure où elle peut déboucher sur des applications médicales, a été effectuée sur des algues rouges (3 à 5) et sur un mollusque (35).

La recherche de deux radio-isotopes, ^{54}Mn et ^{65}Zn , provenant des retombées, a confirmé la présence du premier en Méditerranée (6) et infirmé celle du second (39).

Etude des interfaces

La composition particulière du film de surface, son évolution à l'interface océan-atmosphère, ont été précisées (17, 32). Les installations de l'Institut de Mécanique Statistique de la Turbulence de Marseille permettent une simulation partielle contrôlée des mécanismes physiques à l'interface et dans les couches adjacentes ; elles ont servi à des mesures de réaération d'une couche appauvrie en oxygène (33).

A côté de questions qu'il est préférable d'aborder dans le cadre plus vaste de la géochimie, l'interface fleuve - océan pose le problème majeur des transformations subies par les apports fluviaux en mer et de leur réactivité ultérieure (26 à 30). La pollution chimique, particulièrement active en milieu estuarien, a fait l'objet d'une mise au point détaillée (31).

La campagne ORGON I du n/o *Jean Charcot* a concrétisé l'intérêt porté (2) à l'étude de la transformation de la matière organique à l'interface eau de mer - sédiment.

Chimie organique marine

Dissoutes ou particulières, les substances organiques du milieu marin suscitent un intérêt croissant à mesure que s'améliorent nos moyens d'investigation.

La composition de la matière organique dissoute a été étudiée à l'aide d'une technique d'extraction par solvant (8), cependant qu'on cherchait à démêler l'influence des apports terrigènes dans une région côtière (22). L'assimilation et la minéralisation des substances organiques dissoutes, reflet de l'activité des microorganismes hétérotrophes, font l'objet d'une méthode de mesure sensible et facilement utilisable en mer, qui emploie du glucose marquée au ^{14}C (19). Le rôle des acides aminés dans la formation des complexes organiques dissous a été évalué en détail (16).

Distinguer entre les formes naturelles récentes d'hydrocarbure et celles liées à la pollution, est possible grâce aux techniques de la chromatographie gazeuse et de la spectrométrie de masse (1). L'étude de la transformation des lipides naturels dans le milieu marin a apporté des clartés sur leur rôle écologique, leur utilisation éventuelle comme traceurs, et sur l'action antibactérienne d'acides gras libres vis à vis de bactéries telluriques (réf. 36 à 38).

La fraction biogène du seston, de composition assez variable dans la zone superficielle 0-100 m, où elle subit des transformations rapides, se dégrade très lentement au-delà de 150 m. Moyennant certaines hypothèses, on a pu évaluer les vitesses relatives de passage en solution de bon nombre de ses éléments constitutifs (12, 14, 15).

Une importante revue d'ensemble, prêtant attention aux méthodes d'analyse, étudie la réponse de l'océan à la pollution organique (18).

(1) BARBIER M., JOLY D., SALIOT A. et TOURRES D. - Hydrocarbons from sea water. *Deep-Sea Res.* 20, p. 305-314, 1973.

(2) CAHET G. - Evolution de la matière organique à l'interface eau-sédiment de milieux margino-littoraux méditerranéens (Golfe du Lion). Thèse, Paris, 1974.

(3) CHANTRAINE J.M. - Contribution à l'étude chimique des constituants d'une algue rouge, *Halopytis incurvus*. Thèse Spécialité Océanographie, Paris VI, 22 Sept. 1972.

(4) CHANTRAINE J.M., COMBAUT G. et TESTE J. - Phénols bromés d'une algue rouge, *Halopytis incurvus* : acides carboxyliques. *Phytochemistry*, 12, p. 1793-1796, 1973.

(5) CHEVOLOT - MAGUEUR A.M. - Etude chimique et physiologique de *Rytiphlea tinctoria* (Clem). C. Ag. Rhodophycées. Thèse Sc. nat., Orsay, 8 Mai 1974.

(6) CHIPMAN W. et THOMMERET J. - Teneur en manganèse et présence du ^{54}Mn des retombées dans quelques biotopes marins de la Méditerranée. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* 20, 4, p. 717, 1972.

(7) CITEAU J. - Analyse du molybdène dissous dans l'eau de mer. Doc. sci. Centre ORSTOM Nony-Bé, n° 29, p. 1-17, 1972.

(8) COPIN G. et BARBIER M. - Substances organiques dans l'eau de mer. Premiers résultats de leur fractionnement. *Cah. Oceanogr.*, XXIII, n° 5, p. 455-464, 1971.

(9) COPIN C. et COPIN G. - Chemical analyses of suspended particulate matter collected in the northeast Atlantic. *Deep-Sea Res.*, 19, p. 445-452, 1972.

- (10) COPIN C. — Etude chimique des particules en suspension dans l'eau de mer en Méditerranée occidentale. Comm. présentée au XXIII^e Congrès-Assemblée plénière de la C.I.E.S.M., Athènes, 3-11 Nov. 1972. Texte intégral à paraître dans *Thalassa Jugoslavica*.
- (11) COPIN C. et COPIN G. — Comparison between two processes of determination of particulate organic carbon in sea water. *Mar. Chem.* 1, n^o 2, p. 151-156, 1972-1973.
- (12) COPIN C., COPIN G. et IVANOFF A. — Au sujet de l'évolution avec la profondeur des particules en suspension dans les eaux de mer. *C.R. Acad. Sci., Paris*, (B), 276, p. 131-134, 1973.
- (13) COPIN C. — Participation des apports éoliens à la sédimentation marine; Comm. présentée au Symposium int. sur les échanges océan-atmosphère de matière à l'état particulaire, Nice, 4-10 Oct. 1973.
- (14) COPIN C. — Contribution à l'étude chimique des particules en suspension dans l'eau de mer. Thèse Sc. Phys., Univ. Paris VI, 147 pages, 1974.
- (15) COPIN C. et COPIN G. — Différentiation entre particules terrigènes et particules biogènes entrant dans la composition du seston de la mer Ligure. Comm. présentée au XXIV^e Congrès-Assemblée Plénière de la C.I.E.S.M. à Monaco, 6-14 Déc. 1974.
- (16) DAUMAS R. — Les acides aminés du plancton et de l'eau de mer. Leur rôle dans la formation des complexes organiques dissous. Thèse Sc. nat., Marseille, 327 pages, 1971.
- (17) DAUMAS R. — Influence de la température et du développement planctonique sur le mécanisme d'accumulation de la matière organique à la surface de la mer. *Mar. Biol.* 26, n^o 2, p. 111-116, 1974.
- (18) DUURSMA E.K. et MARCHAND M. — Aspects of organic marine pollution. *Oceanogr. Mar. Biol. ann. Rev.*, 12, p. 315-431, 1974.
- (19) HERBLAND A.M. et BOIS J.F. — Assimilation et minéralisation de la matière organique dissoute dans la mer : méthode par comptage en scintillation liquide. *Mar. Biol.* 24, n^o 3, p. 203-212, 1974.
- (20) HUYNH NGOC L. — L'application de l'électrode indicatrice "Graphite-Mercure" en redissolution anodique par voltamétrie pour la détermination simultanée du zinc, du cadmium, du plomb et du cuivre dans l'environnement aquatique. Thèse Univ., Nice, 124 p., 1973.
- (21) IVANOFF A. — Introduction à l'océanographie. Propriétés physiques et chimiques des eaux de mer, t. I, 208 pages — Paris — Vuibert, 1972.
- (22) LE CORRE P., TREGUER P. et COURTOT P. — Evaluation de la matière organique dissoute dans les eaux côtières de la Bretagne méridionale en avril 1970. *Cah. Biol. mar.*, 13, n^o 4, p. 443-455, 1972.
- (23) LE MEUR J.F. et COURTOT- COUPEZ J. — Dosage de traces d'éléments lourds dissous dans l'eau de mer par spectrophotométrie d'absorption atomique et redissolution anodique sur électrode d'argent amalgamé. *Bull. Soc. chim. Fr.*, n^o 3, p. 929-935, 1973.
- (24) MARCHAND M. — Contribution à l'étude de l'influence de la matière organique dissoute sur la physico-chimie d'éléments à l'état de traces dans l'eau de mer. Thèse de 3^e cycle, Univ. Paris VI, 132 pages, 1972.
- (25) MARCHAND M. — Considérations sur les formes physico-chimiques du cobalt, manganèse, zinc, chrome et fer dans une eau de mer enrichie ou non de matière organique. *J. Cons. int. Explor. Mer*, 35 n^o 2, p. 130-142, 1974.
- (26) MARTIN J.M. — Contribution à l'étude des apports terrigènes d'oligoéléments stables et radioactifs à l'océan. Thèse Sc. phys., Paris, 1971.
- (27) MARTIN J.M., KULBICKI G. et DE GROOT A.J. — Terrigenous supply of radioactive and trace elements to the ocean. Proc. Int. Symp. Hydrogeochemistry and Biogeochemistry, Washington, 1973.
- (28) MARTIN J.M., THOMAS A. et PEREZ-NIETO H. — Application des mesures de radioactivité naturelle à l'étude de la dynamique sédimentaire dans le delta de l'Orénoque. Proc. VII Conf. Geol. Caraïbes, Juill. 1974 (à paraître).
- (29) MARTIN J.M. et SALVADORI F. — Comportement géochimique de la matière en suspension dans les estuaires. Proc. Symp. int. sur les relations entre estuaires et plateaux continentaux. Bordeaux, 1973.
- (30) MARTIN J.M., JEDNACAK J. et PRAVDIC V. — The physicochemical aspects of trace elements behavior in estuarine environments. A paraître dans *Thalassa Jugoslavica*.
- (31) MARTIN J.M., MEYBECK M., SALVADORI F. et THOMAS A. — Pollution chimique des estuaires : état actuel des connaissances. Rapp. C.N.E.X.O. 1974, 384 pages, à paraître.
- (32) MARTY J.C. — Contribution à l'étude de la pellicule ultra superficielle des océans : atténuation de l'ultraviolet, composition en acides gras et en hydrocarbures. Thèse de 3^e cycle, Univ. Paris VI, 77 pages, 1974.
- (33) MATTINGLY G. — (dépouillement en cours).
- (34) ODIER M. et PLICHON V. — Le cuivre en solution dans l'eau de mer : forme chimique et dosage. Etude par polarographie à tension sinusoidale surimposée. *Anal. Chim. Acta*, 55, p. 209-220, 1971.
- (35) SALIOT A. et BARBIER M. — Sur l'isolement de la progestérone et de quelques cétostéroïdes à partir des gonades de la coquille Saint-Jacques *Pecten maximus*. *Biochimie*, 53, n^o 2, p. 265-266, 1971.
- (36) SALIOT A. et BARBIER M. — Sterols from sea water. *Deep-Sea Res.* 20, p. 1077-1082, 1973.
- (37) SALIOT A. et BARBIER M. — Stéroïdes en solution dans l'eau de mer : leur utilisation par les invertébrés marins. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 13, n^o 3, p. 207-214, 1973.
- (38) SALIOT A. et BARBIER M. — Acides gras, hydrocarbures et stéroïdes dissous dans l'eau de mer. Actes du 6^e Congrès int. Geoch. org. Ruell-Malmaison, p. 607-617, 1973.
- (39) THOMMERET J., VEGLIA A. et MOREL J. — Tentative d'identification du ⁶⁵Zn dans l'eau de pluie et l'eau de mer au cours de l'année 1970. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* 21, 6, p. 297-299, 1972.

- (40) TREGUER P., LE CORRE P. et COURTOT P. — Dosage global des acides gras libres dissous dans les eaux de mer (Bretagne occidentale). *C.R. Acad. Sci., Paris*, (D), 273, n° 12, p. 1010-1011, 1971.
- (41) TREGUER P., LE CORRE P. et COURTOT P. — A method for determination of the total dissolved free fatty-acid content of sea water. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 52, n° 4, p. 1045-1055, 1972.
- (42) TREGUER P. et LE CORRE P. — Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer (utilisation de l'*Auto-Analyzer II*). 59 pages, Brest, 1974.

VIII – LA GEOCHIMIE DES OCEANS

R. CHESSELET et C. LALOU

Centre des Faibles Radioactivités, Laboratoire mixte CNRS/CEA
91190 Gif-sur-Yvette

Nous avons distingué trois thèmes principaux : géochimie du milieu fluide, géochimie du milieu solide et géochimie des échanges atmosphère-océan.

I – GEOCHIMIE DU MILIEU FLUIDE

A) Circulation actuelle

Des mesures répétées, à très bas niveau en tritium, ainsi que des mesures de deuterium jointes aux mesures de température et de salinité, ont permis, en Méditerranée, de chiffrer d'une part, la contribution des apports d'eau provenant de l'Atlantique et d'autre part, l'importance des échanges entre les eaux de surface et l'eau profonde (1). Des profils de répartition du tritium en fonction de la profondeur obtenus en 1972 et 1974 dans l'Atlantique, permettent d'évaluer l'importance de ces échanges dans cet océan. Des études identiques ont été commencées dans l'océan Indien.

Par la mesure de gradients de carbone 14 dans l'océan Indien, on a pu montrer que les eaux profondes de cet océan avaient un âge maximum de 1300 ans. A partir de ces gradients, on espère déduire des vitesses de mélange des eaux superficielles et des eaux profondes et définir l'épaisseur de la couche mélangée (2).

On a pu mettre en évidence, pour la première fois, des relations très nettes entre : les fonctions de distribution de tailles des particules en suspension entre 1 μm et 0,2 μm , leurs compositions chimiques et les différentes masses d'eau de l'océan Atlantique, notamment dans le cas de l'advection des eaux Antarctiques profondes dans l'Atlantique Nord, vers 42° N – 42° W (3,a,b.)

B) Paléocirculation

L'étude isotopique de la carotte K 11 (71°47'N, 01°36'E) montre que les conditions hydrologiques observées actuellement en mer de Norvège sont exceptionnelles. Dès que le climat devient plus froid, un nouveau régime s'établit, caractérisé par une banquise semi-permanente et une situation hydrologique stable empêchant la formation d'eau profonde dans le bassin norvégien.

Du point de vue de la circulation générale des océans, ces résultats impliquent qu'une des sources de l'eau profonde Nord-Atlantique est complètement tarie en période glaciaire (4,5)

II – GEOCHIMIE DU MILIEU SOLIDE

A) Apport par les fleuves

L'étude des processus physico-chimiques et biologiques intervenant dans les eaux estuariennes et péricontinentales a permis de réévaluer les flux résultants de matière dissoute et particulaire à l'océan (6,7).

Par ailleurs, l'étude de la répartition des minéraux argileux et de l'analyse chimique du sédiment lors du passage d'une zone fluviale à une zone océanique, montre que l'estuaire interne joue le rôle de filtre géochimique. L'examen de l'extension en mer du profil chimique de la source continentale démontre cependant que ce phénomène de filtre séparateur joué par le milieu estuarien, n'est que transitoire (8).

B) Apport volcanique

Une étude détaillée des venues fumeroliennes et hydrothermales dans un site-type de volcanisme sous-marin (Vulcano) permet de préciser leur action sur les eaux et les sédiments, au voisinage des émissions comme au large (9,10).

On a pu, par l'étude pétrographique et minéralogique des sédiments pélagiques, de type argile rouge, provenant des forages JOIDES dans les océans Indien et Pacifique, distinguer deux phases principales : l'une d'origine détritique au sens large, l'autre d'origine hydrothermale liée aux émanations le long des fractures affectant la croûte océanique (11).

D'autre part, la présence de particules très enrichies en de nombreux éléments trace, en suspension au voisinage du fond, par 14° de latitude Nord, aux abords immédiats de la chaîne médio-Atlantique a été démontrée (12).

C) Chimie des éléments trace

La distribution des éléments trace associés aux sédiments péricontinentaux (Golfe de Gascogne) montre que, dans l'ensemble, la concentration de ces éléments est assez peu modifiée par les conditions d'environnement, seul le nickel et le cuivre sont faiblement concentrés en faciès réducteurs (13). D'autre part, il a été montré qu'à des lacunes sédimentaires, correspondent de minces concrétionnements, présentant de fortes concentrations en manganèse, cuivre, zinc et barium très semblables à celles rencontrées dans les nodules polymétalliques (14).

En ce qui concerne les nodules polymétalliques, des études complètes, par radiochimie, microscopie électronique, microsonde et diffractométrie X, ont permis de remettre en question les lentes vitesses de croissance jusqu'à présent attribuées à ces formations. Les nodules de surface dans les océans auraient en réalité de l'ordre de 8 000 ans ; on retrouve, en effet, dans les noyaux, des déséquilibres radioactifs incompatibles avec des âges très anciens et même dans certains cas où le noyau est en calcaire, une activité non négligeable en carbone 14 (15, 16, 17).

Des résultats récents confirment que la plus grande partie du baryum en suspension (environ 20 nanogrammes/litre) retrouvé à toutes les profondeurs dans l'Atlantique et dans l'Antarctique, est sous forme de microcristaux de sulfate de baryum. Les distributions de ces particules suggèrent l'existence d'une source de baryte biogène dans la couche euphotique (18).

D) Paléoenvironnements

L'hypothèse de la participation d'apport nordique d'origine périglaciaire dans les dépôts profonds du Golfe de Gascogne a été vérifiée par l'étude des rapports éléments trace/argile (19).

Le circuit de distribution des matériaux de l'Atlantique Nord oriental durant l'actuel et durant les différents épisodes climatiques du Quaternaire a été précisé : en période de réchauffement, les matériaux nordiques dérivant de l'altération de formations volcaniques migrent vers le Sud de l'océan Atlantique ; en période froide, cette migration est ralentie et la sédimentation est alimentée par les produits de l'érosion de la zone Irlandaise et Ecossoise (20).

L'étude des paramètres chimiques et isotopiques des eaux interstitielles, en milieu estuarien, montrent que les phénomènes sont conservatifs dans le temps et que l'on peut

ainsi définir des "paléoconcentrations". En milieu marin, la conservation est beaucoup moins évidente. Il a été ainsi démontré que l'étude des eaux intersticielles est justifiée et prend sa pleine valeur pour les milieux dits de transition (estuaires, deltas, marais littoraux) (21).

III - GEOCHIMIE DE L'INTERFACE AIR-MER

A l'échelle d'une grande région océanique (Golfe de Guinée), un enrichissement très net en potassium a été observé dans la phase *hydrosoluble* des aérosols collectés à une dizaine de mètres au-dessus de la mer. Cet enrichissement est étroitement corrélé avec la forte productivité biologique des eaux de surface, dont dérivent des produits tensio-actifs présents à l'interface air-mer. Certains de ces composés organiques, vraisemblablement des glyco-protéines, pourraient avoir un rôle chelateur vis-à-vis de l'ion potassium de l'eau de mer (22).

Les mesures de composés du soufre au-dessus de divers océans ont montré l'existence d'aérosols de sulfate dont l'origine purement marine paraît certaine. Ces aérosols proviennent directement du sulfate des embruns marins, mais aussi de façon indirecte, de l'oxydation des sulfures organiques (23,24). Par ailleurs, on a pu démontrer que le polonium 210, accumulé à la surface de la mer par les organismes vivants, était largement injecté dans l'atmosphère où il perturbe l'équilibre radioactif : plomb 210 - polonium 210.

(1) MERLIVAT L., MENACHE M. - Etude de profils de deuterium et de tritium en Méditerranée occidentale. Première réunion annuelle des Sciences de la Terre, Paris 19-22 mars 1973, p. 300.

(2) DELIBRIAS G. - (Communication personnelle)

(3) CHESSELET R., JEDWAB J., DEHAIRS F., COUSSAERT F. - Size distributions of sub-micron suspended particles in two North Atlantic Geosecs profiles. III GEOSECS Summer Institute, 1974. Collected papers Scripps Ocean. Inst. Prepublication n° 49.

CHESSELET R. et BISCAYE P. - (Communication personnelle)

(4) DUPLESSY J.C., CHENOUEARD L., VILA F. - Weyl's theory supported by isotopic study of Norwegian core K 11. Science 1975 sous presse.

(5) DUPLESSY J.C., CHENOUEARD L. et VILA F. - Modifications des conditions hydrologiques en mer de Norvège pendant les dernières périodes glaciaires. IX^e Congrès International de Sédimentologie, Nice juillet 1975.

(6) MARTIN J.M., JEDNACAK J., PRAVDIC V. - The physicochemical aspects of trace element behavior in estuarine environments *Thalassia, Yugoslavia* 1974.

(7) MARTIN J.M., SALVADORI. - Comportement géochimique de la matière en suspension dans les estuaires. Proc. Symp. Int. sur relations entre Estuaires et Plateaux continentaux, Bordeaux 1973.

(8) BARBAROUX L., GALLENNE B. - Contribution à l'analyse chimique des sédiments à la connaissance des milieux de transition océan-continent. Application à la Loire maritime. Deuxième réunion annuelle des Sciences de la Terre, Nancy, avril 1974, p. 26.

(9) VALETTE J.N. - Sur quelques modalités de la concentration des éléments trace dans le milieu volcanico-sédimentaire marin. Congrès de Sédimentologie, Heidelberg 1971.

(10) VALETTE J.N. - Present day formation of an exhalative sulfide deposit at Vulcano (Tyrrhénian sea) in : Ores in sedimentary rocks, general aspect. Mineralium deposita 1971.

(11) NESTEROFF W. - Etude pétrographique et linéalogique des sédiments pélagiques du type "argiles rouges" les forages JOIDES des océans Indien et Pacifique (sous presse).

(12) CHESSELET R. - (Communication personnelle).

(13) TAUZIN P. - Etude des relations entre les caractéristiques physico-chimiques et chimiques des milieux de dépôt et la distribution de quelques éléments métalliques dans les sédiments de divers environnements du Golfe de Gascogne. Thèse Doct. Spécialité. Université Bordeaux I n° 1131, 1974.

(14) PARRA M. - Contribution à la connaissance des caractéristiques géochimiques des vases récentes et subactuelles du Golfe de Gascogne. Thèse Doct. Spécialité, Université de Bordeaux I, 1971.

(15) LALOU C., BRICHET E. - Signification des mesures radiochimiques dans l'évaluation de la vitesse de croissance des nodules de manganèse. C.R. Acad. Sc. Paris t 275 série D, 1972.

(16) LALOU C., BRICHET E., RANQUE D. - Certains nodules de manganèse trouvés en surface des sédiments sont-ils des formations contemporaines de la sédimentation? C.R. Acad. Sc. Paris T. 276, série D, 1973.

(17) LALOU C., DELIBRIAS G., BRICHET E., LABEYRIE J. - Existence de carbone 14 au centre de deux nodules de manganèse du Pacifique : âges carbone 14 et thorium 230 de ces nodules. C.R. Acad. Sc. Paris série D 1973.

(18) CHESSELET R., JEDWAB J., DEHAIRS F., DARCOURT C. - Barite as discrete suspended particles in Atlantic waters. III GEOSECS Summers Institute, 1974. Collected Papers-Scripps Ocean.Inst. Prepublication n° 47.

(19) BERTHOIS L., LATOUCHE C., PARRA M. - Etude minéralogique et géochimique de quelques sédiments de la zone comprise entre les archipels : Faeroe, Shetland, Orcades et Hebrides. Contribution à la connaissance de l'origine des sédiments dans le domaine profond de l'Atlantique nord-oriental. *Bull. Inst. Geol. Bassin Aquitaine* n° 14, p. 1, 1973.

(20) MOYES J., DUPLESSY J.C., GONTHIER E., LATOUCHE C., MAILLET N., PARRA M., PUJOL C. - Les sédiments profonds actuels et pleistocènes récents de l'Atlantique Nord-oriental et du sud de la mer de Norvège. 2° Colloque Inter. Explor. Océans. Bordeaux, 1-4 octobre 1974, vol. 4 n° 201.

(21) DUPLESSY J.C., BARBAROUX L. - Répartition des isotopes stables en milieu estuarien. Application à l'étude isotopique des paleo-environnements. *Rev. Geo. Phys.* vol 15 fasc. 5.553, 1973.

(22) BUAT-MENARD P., MORELLI J., CHESSELET R. - Water soluble elements in atmospheric particulate matter over tropical and equatorial Atlantic. *Journal de Recherches Atmosphériques* vol VIII n° 3-4, 1974.

(23) NGUYEN B.C., BONSAANG B., PASQUIER J.L., LAMBERT G. - Composantes marine et africaine des aérosols de sulfates dans l'atmosphère sud. *Journal de Recherches Atmosphériques* vol VIII, n° 3-4, 1974.

(24) NGUYEN B.C., BONSAANG B., LAMBERT G. - The atmospheric concentration of sulfur dioxide and sulfate aerosols over the antarctic, subantarctic area and oceans. *Tellus*, vol 26 n° 1-2, 1974.

(25) LAMBERT G., SANAK J., ARDOUIN B. - Origine marine des excès de polonium 210 dans la basse atmosphère antarctique. *Journal de recherches atmosphériques* vol VIII, n° 3-4, 1974.

IX — REGIME DES COTES

R. BONNEFILLE

Electricité de France, 6, Quai Watier, 78400 CHATOU

Les principales études françaises, publiées entre 1971 et 1974, concernant le régime des côtes, se sont exercées dans les domaines suivants :

Les estuaires : en Gironde l'action se cantonne dans les expériences de suivi des migrations de la vase à l'aide de traceurs radioactifs (1), afin d'illustrer les hypothèses déjà formulées sur les processus estuariens. Sur la Loire, continuent les études d'un caractère plus descriptif sur la nature des vases rencontrées dans l'estuaire (2), le bouchon vaseux (12), le remplissage sédimentaire de l'estuaire (11) et la décantation des vases en puits de drague (17). Enfin signalons l'étude hydrologique d'un petit estuaire : la Sienne (14).

Les baies : la Baie de Bourgneuf est le siège d'une intense activité du point de vue études sédimentologiques (15), pétrographiques (9), hydrologie (16) et du ramierement des vases par la houle (17). L'effet des agents hydrauliques, courant et houle, sur la sédimentation est étudiée en Baie de Seine (22), des Veys (21) et en particulier dans la Baie des Sables d'Olonne (7).

Cartographie : les travaux cartographiques portent principalement sur les côtes du golfe normand-breton, du point de vue géomorphologique (4), géologique (8) (10) et sédimentologique (18) (24) (25).

Instrumentation et méthode : le Laboratoire de Géologie Marine et Appliquée de Nantes a développé les techniques d'études non destructives des carottes par gammadensimétrie et radiographie (6) (20) et de pénétration des carottiers à piston, en Loire (3).

Etudes sur modèles : les plus importantes contributions sont dues à SOGREAH, les unes sur modèles mathématiques concernant les techniques et moyens d'études des pollutions côtières (13), les autres relatives aux techniques d'étude sur modèle physique : problèmes posés par l'approche des grands navires à la côte (26), la conception des ports de plaisance (27) et des plages artificielles (28).

(1) ALLEN G.P., BONNEFILLE R., COURTOIS G., MIGNOT C. — Processus de la sédimentation des vases dans l'estuaire de la Gironde. Contribution d'un traceur radioactif pour l'étude du déplacement des vases — *La Houille Blanche*, n° 1/2, 1974.

(2) BARBAROUX L., DUPLESSY J.C., MARGEREL J.P., VISET L. — Variations climatiques et sédimentologiques récentes dans l'estuaire de la Loire. Mise en évidence d'épisodes lagunaires — *C.R.A.S. Paris*, t. 278, série D, p. 573-576, 1974.

(3) BARBAROUX L., GOULEAU D., OTTMANN F. — Etudes sur la pénétration des carottiers à piston en fonction des paramètres d'opération et des propriétés des sédiments en zones littorales — *Bull U.O.F.*, vol. V, n° 2, Juin 1973, p. 26-31.

(4) BERGBEDER Y., DAGORNE A., RUELLAN F. — Géomorphologie et sédimentologie de la partie méridionale du golfe normand-breton — S.E.G.I.P.H.A., 2, rue du Suet, 35270 La Richardais, 1971.

(5) BERNARD P. — Sur les érosions de la côte Ouest du Cotentin — *Penn ar Bed*, vol 7, n° 62, Septembre 1970, p. 337-348.

(6) BOURON-BOUGE A. — Application de la radiographie et de la gammadensimétrie à l'étude des carottes de sédiments meubles — Thèse 3^e cycle, Université de Nantes, Novembre 1972.

(7) CHAUVEAU M. — Essai de bilan sédimentologique de la Baie des Sables d'Olonne — Thèse 3^e cycle, Université de Nantes, 5 Novembre 1973.

(8) DELANOE Y., DIEUCHO A., PINOT J.P. — La zone pré-littorale entre les Iles de Glenan et Ile de Honat. Etude géomorphologique et géologique — *Bull S.G.F.*, (7), XIV, 1972, p. 248-260.

(9) DELANOE Y., GALLENNE B., MARCHAND J. - Reconnaissance par carottage sous-marin de la nature pétrographique des pointements rocheux de la Baie de Bourgneuf. Extension des affleurements de porphyroïdes des gneiss catazonaux et des formations granitiques - *C.R.A.S.*, t 278, série D, p. 1681-1684, 1974.

(10) DELANOE Y., PINOT J.P. - Etudes structurales du tertiaire de la région du Banc Bertin entre Belle-Ile et les Iles de Glenan - *Bull U.O.F.*, vol. VI, n° 2, Mars 1971.

(11) DUPLESSY J.C., BARBAROUX L. - Répartition des isotopes stables en milieu estuarien. Application à l'étude isotopique des paléo-environnements - *Revue de Géogr. phys. et Géol. dyn.* (2), vol. XV, Fas. 5, Paris 1973, p. 533-546.

(12) GALLENNE B. - Sélection dynamique de la montmorillonite au sein du bouchon vaseux dans l'estuaire de la Loire - *C.R.A.S. Paris*, t. 278, série D, p. 831-834, 1974.

(13) GAUTHIER M.F. - Les modèles mathématiques dans la lutte contre la pollution côtière : rôle et emploi - Colloque sur l'Assainissement des eaux, Athènes, 29 Avril-3 Mai 1974.

(14) GIRESE P. - Etude hydrologique de l'estuaire de la Sienne et application au dépôt de la tange - *Cahiers Océanographiques*, XXII, 4 avril 1970, p. 367-393.

(15) GOULEAU D. - Le remplissage sédimentaire de la Baie de Bourgneuf - *Bulletin du B.R.G.M.*, 2^e série, section IV, n° 1, 1971.

(16) GOULEAU D. - Le régime hydrodynamique de la Baie de Bourgneuf et ses conséquences sur la sédimentation - *Cahiers Océanographiques*, XXII, 7, Juillet-Août 1971, p. 629-647.

(17) GOULEAU D. - Etats et évolution de la couche superficielle des vasières littorales atlantiques définies par leurs propriétés rhéologiques et leurs microstructures - *C.R.A.S. Paris*, t. 276, série D, p. 3119-3122, 1973.

(18) HOMMERIL P., LARSONNEUR C., PINOT J.P. - Les sédiments du précontinent armoricain - *Bull. S.G.F.*, (7), XIV, 1972, p. 237-247.

(19) JALLADEAU P., GROVEL A. - Prévion de la houle maximale en un point et son application à la région côtière Lorient - Ile de Croix - *Cahiers Océanographiques*, XXIII, 10 Décembre 1971, p. 921-934.

(20) LAHUEC G. - Contribution à l'étude de quelques problèmes géologiques liés aux dragages en mer - Thèse 3^e cycle, Université de Nantes, 18 Juin 1973.

(21) LE GALL J., LARSONNEUR C. - Séquences et environnements sédimentaux dans la Baie des Veys - *Revue de Géogr. phys. et Géol. dyn.* (2), vol. XIV, Fas. 2, Paris, 1972, p. 189-204.

(22) LARSONNEUR C. - Le modèle sédimentaire de la Baie de Seine à la Manche centrale dans son cadre géographique et historique - *Mémoire du B.R.G.M.*, n° 79, 1972, p. 241-253.

(23) OTTAMNN F., LAHUEC G. - L'amélioration de l'équivalent de sable lors de dragages et de remblaiements hydrauliques - *Bull. liaison Labo P. et C.*, 60, Juillet-Août 1972, p. 117-123.

(24) RUELLAN F. et BEIGBEDER Y. - Carte sédimentologique des fonds marins des côtes de France au 1/100 000 : St Brieuc - S.E.G.I.P.H.A., 2, rue du Suet, 35270 La Richardais, 1971.

(25) RUELLAN F., BEIGBEDER Y., DAGORNE A. - Les feuilles de St Malo et de St Brieuc de la carte sédimentologique des fonds marins - *Mémoire du B.R.G.M.*, n° 79, 1972, p. 281-292.

(26) SOMMET J., GRESLOU L. - Evolution et réception des superpétroliers au voisinage des côtes - Navires, Ports et Chantiers, Octobre 1973.

(27) TOURMEN L. - Quelques aspects particuliers de la conception des ports de plaisance - *Travaux*, Décembre 1970.

(28) VINCENT G., TOURMEN L. - Les plages artificielles - *Travaux*, Novembre 1972.

X – PRODUCTION PRIMAIRE ET DISTRIBUTION DES SELS NUTRITIFS DANS LES ZONES D'UPWELLING

B. COSTE

Station Marine d'Endoume – Marseille

H.J. MINAS

Station Marine d'Endoume – Marseille

J GOSTAN

Station Zoologique de Villefranche/Mer

J.M. PERES

Station Marine d'Endoume – Marseille

L'intérêt porté aux phénomènes liés aux mouvements ascendants des eaux le long de certaines côtes (upwelling) est relativement récent. Ce n'est qu'au début du siècle et surtout aux environs des années 1930 que la présence de ces mouvements a été reliée à la richesse en sels nutritifs, en biomasses planctoniques et aux ressources halieutiques des zones côtières concernées. Les premières régions ayant fait l'objet d'études poussées dans les domaines physiques et biologiques ont été les côtes d'Afrique du Sud. Depuis, en même temps que l'ensemble des régions d'upwelling ont été soumises à un effort de pêche de plus en plus intense, elles ont, pour la plupart, été le siège de travaux scientifiques de plus en plus détaillés. Cependant, au moins deux régions soumises aux phénomènes d'upwelling ont curieusement été délaissées du point de vue scientifique jusqu'à ces dernières années : il s'agit dans l'Océan Indien, des côtes sud-ouest de l'Arabie et dans l'Océan Atlantique, des côtes nord-ouest africaines. Pour ces dernières, dont les réserves halieutiques sont de plus en plus exploitées, une action internationale a été entreprise récemment ; elle s'est concrétisée par la mise en place, sous l'égide d'un groupe de coordination COI/CIEM/FAO, du programme international CINECA (Coopérative Investigations of the Northern part of the Eastern Central Atlantic). Deux objectifs ont été plus particulièrement fixés à ce programme : l'un d'estimer les ressources halieutiques de la zone et de déterminer l'effort de pêche qu'elle peut supporter, l'autre de mieux connaître les modalités et les conséquences sur les échelons primaire et secondaire des remontées d'eaux le long des côtes. En ce qui concerne le second objectif, plusieurs organismes français (CNRS – CNEXO – ORSTOM) ont organisé à partir de 1971 des missions océanographiques que l'on peut détailler ainsi :

Dates	Nom de la mission	Organismes concernés
22.1 – 15.2.1971	CINECA-CHARCOT I	CNEXO
15.3 – 29.4.1971	CINECA-CHARCOT II	CNRS
25.3 – 13.4.1972	CAP 7209	ORSTOM
6.7 – 7.8.1972	CINECA-CHARCOT III	CNEXO
mars 1973		ORSTOM
21.7 – 19.8.1973	CINECA-CHARCOT IV	CNEXO
7.2 – 4.3.1974	CAP 74-02	ORSTOM
4.3 – 20.4.1974	CINECA-CHARCOT V	CNEXO-CNRS-ORSTOM
8.3 – 1.4.1974	CINECA-CAPRICORNE V	CNEXO-CNRS-ORSTOM

D'une manière générale, les programmes scientifiques de ces travaux ont tendu à répondre à une double préoccupation : d'abord avoir une bonne connaissance pour la zone concernée de l'ensemble des phénomènes hydrologiques et chimiques et de leurs conséquences biologiques, ensuite apporter des précisions sur les relations entre les divers constituants de l'écosystème. A l'heure actuelle, une bonne partie de ces travaux sont encore en cours d'étude et c'est évidemment surtout les résultats de la partie descriptive qui sont disponibles.

Une conférence internationale portant sur "l'analyse de l'écosystème des upwellings", organisée par la Station Marine d'Endoume au Centre Universitaire de Luminy en mai 1973, a permis une première discussion des résultats obtenus en particulier dans la région CINECA. Un numéro spécial de la revue "Téthys" comportant la plupart des travaux français cités ici, a été consacré à la publication de l'ensemble des contributions présentées à cette conférence.

Par les nombreuses cartographies des températures et des salinités de surface, jointes aux mesures classiques en station, les structures hydrologiques comprises entre le Maroc et le Sénégal ont pu être décrites d'une manière détaillée et les connaissances déjà acquises précisées. L'ensemble de la région concernée par le programme CINECA est soumise à des remontées côtières d'eau dont l'intensité varie en fonction des saisons ; cependant certaines zones littorales sont plus particulièrement affectées. Ainsi trois zones apparaissent privilégiées de ce point de vue (5) ; il s'agit de la région comprise entre les caps Ghir et Cantin (Maroc) et des régions comprises entre le cap Barbas et le cap Blanc, les abords du banc d'Arguin et la région comprise entre le cap Timiris et la latitude de Nouakchott.

Zone marocaine

Pendant la période hivernale et printanière, l'upwelling est peu marqué : son intensité la plus forte a été observée au niveau du cap Tafelney avec des valeurs minimales de température superficielle de l'ordre de 15,5 à 16° C (5) et (17). Les structures hydrologiques sont la résultante de l'effet d'upwelling et de mélanges verticaux de type hivernal des régions tempérées. Cette eau de remontée semble provenir de niveaux compris entre 150 et 250 mètres (12) et (14). Les biomasses planctoniques et les taux de production journaliers restent à un niveau peu élevé ($< 2 \text{ mg/m}^3$ de chlorophylle *a* $< 1,5 \text{ g C/m}^2/\text{j}$) pour une région d'upwelling (4) et (17).

Pendant la période estivale (4) (12) (15) et (16), l'upwelling est beaucoup mieux localisé ; l'affleurement en surface des eaux froides se fait au niveau des caps Sim et Tafelney. En particulier au niveau du cap Tafelney on trouve une langue d'eau froide ($< 15,5^\circ \text{C}$) bien individualisée. Par contre, plus au sud (pointe d'Imouane, cap Ghir), les eaux de remontée sont recouvertes par une eau chaude ($\approx 20^\circ \text{C}$) faisant partie d'un contrecourant côtier dirigé vers le nord.

Les teneurs superficielles en sels nutritifs mettent en évidence l'affleurement d'eau de remontée : leurs valeurs ($10 \mu\text{ats/L N-NO}_3$; $0,6 \mu\text{atg/L P-PO}_4$; $4-5 \mu\text{atg/L Si-SiO}_2$) dans les eaux les plus froides lorsqu'il n'y a pas encore eu d'utilisation biologique sont en concordance avec le contenu en sels nutritifs de l'eau centrale nord-atlantique. Dans la région sud les eaux superficielles chaudes sont dépourvues de sels nutritifs alors que près du fond des concentrations très élevées sont rencontrées et ne peuvent être attribuées qu'à une récente régénération.

Les valeurs maximales des biomasses phytoplanctoniques se retrouvent aux abords immédiats des affleurements d'eau froide et également sous la couche superficielle chaude du sud ; les teneurs en chlorophylle peuvent atteindre 20 mg/m^3 et les productions photosynthétiques 4 à $5 \text{ gC/m}^2/\text{j}$.

Ce système est en fait instable et change rapidement suivant le régime des vents.

Zone Sahara espagnol - Mauritanie

Une prospection superficielle générale le long de l'isobathe 50 mètres allant du cap Barbas jusqu'à la latitude de Nouakchott (5) (6) a permis, par des mesures en continu des conditions hydrologiques, des teneurs en chlorophylle *a* et en sels nutritifs, de différencier trois régions :

1) Région comprise entre le cap Barbas et le cap Blanc

Les travaux français effectués depuis 1971 dans cette région ont tous eu lieu en période de printemps (février-mars-avril) qui est la période où les alizés entretiennent les remontées d'eau maximales. Toutefois, d'une année à l'autre ou même d'un mois à l'autre les conditions peuvent être tout à fait différentes suivant les conditions météorologiques.

En 1971 sous un régime de vents modérés une tache d'eau froide ($T \approx 15,5^\circ \text{C}$) était localisée contre la côte au niveau du cap Corveiro (5), (6). Sa richesse en sels nutritifs était modérée ($10 \mu\text{atg/L N-NO}_3$; $0,8 \mu\text{atg/L P-PO}_4$; $6 \mu\text{atg/L Si-SiO}_3$; $2,5 \mu\text{atg/L N-NH}_4$). Cependant sur ces eaux se développaient des biomasses phytoplanctoniques importantes (10 à 10 mg/m^3 de chlorophylle *a* et $7,5 \text{ gC/m}^2/\text{j}$).

Ces structures simples, se développant sur une aire réduite, ont fait choisir cette région pour une étude approfondie au cours d'une opération internationale programmée au printemps 1974 au cours de laquelle les deux navires français (J. CHARCOT et CAPRI-CORNE) engagés ont opéré avec les trois navires de la mission américaine JOINT I.

Les structures observées en 1974 se différencient nettement de celles rencontrées en 1971 (7) et (21) ; sous l'effet d'un régime d'alizé variable et marqué par des coups de vent plus forts toute la zone est intéressée par un important mouvement ascendant dont le maximum se situe non contre la côte mais au niveau de la rupture de pente du plateau continentale. Les températures minimales sont de l'ordre de $15,5^\circ \text{C}$, les concentrations en sels nutritifs atteignent $15-20 \mu\text{atg/L N-NO}_3$, $1 \mu\text{atg/L P-PO}_4$, $10-12 \mu\text{atg/L Si-SiO}_3$. Pendant cette période les productions et biomasses planctoniques de la zone étudiée restent à un niveau relativement faible ($\approx 1 \text{ gC/m}^2/\text{j}$) mais lorsque la force des vents faiblit un développement phytoplanctonique important a lieu et ensuite on observe un retour aux structures plus simples rencontrées en 1971. Les concentrations d'ammoniaque présentent deux types de distribution liées à la circulation des eaux. Par régime d'upwelling modéré on observe une couche subsuperficielle de concentration maximale pouvant dépasser $2 \mu\text{atg/L N-NH}_4$ et qui atteint les eaux superficielles près de la côte sous l'effet de la remontée des eaux ; par régime plus intense, les remontées d'eau au niveau de la rupture de pente du plateau continental détruisent l'éventuelle couche maximale préexistante et ne permettent pas dans cette zone l'installation d'une telle couche. Ces deux types de distribution s'intègrent parfaitement dans les deux types de circulation des eaux de la zone d'upwelling (circulation à une et à deux cellules) mis en évidence pendant cette période-là par les physiciens de la mission américaine JOINT I et exposés au cours de la réunion du WG 36 du SCOR tenue à Kiel en juin 1974. La présence de fortes valeurs d'azote ammoniacal soulève un double problème en cours d'étude ; le premier a trait à leur origine (excrétion par le zooplancton et/ou décomposition du matériel organique planctonique) ; le second à l'incidence de cette présence dans la couche euphotique sur les modalités de l'assimilation photosynthétique (compétition entre l'assimilation d'azote ammoniacal et nitrique) (1).

La distribution générale des silicates est tout à fait parallèle à celles des nitrates et phosphates ; par contre les rapports silicates/nitrates et silicates/phosphates sont environ égaux à la moitié des valeurs moyennes de ces rapports dans les eaux profondes atlantiques (1), (5), (7). De plus dans les zones de consommation photosynthétique les silicates sont les premiers épuisés de sorte qu'ils semblent jouer le rôle de facteur limitant (5), (7), (21). Cette distribution est la conséquence d'une vitesse lente de redissolution du silicium dont une partie a lieu à des immersions non concernées par les mouvements de remontée.

2) Région du Banc d'Arguin

Cette région est caractérisée par des phénomènes hydrologiques et biologiques de nature complexe : existence de canyons sous-marins favorisant des mouvements d'upwelling le long de la bordure du Banc, cascading d'eaux salées en provenance du Banc montré par des auteurs allemands, influence d'eaux d'upwelling dérivant à partir du niveau du cap Blanc (5), (21).

3) Région allant du cap Timiris à la latitude de Nouakchott

Cette région est en premier lieu marquée par une intense remontée d'eau située à proximité immédiate d'un canyon sous-marin par $18^{\circ} 45'N$. Les eaux de remontée sont nettement plus froides ($14-14,5^{\circ}C$) et plus riches en sels nutritifs ($20 \mu\text{atg/L } N-NO_3$; $1,6 \mu\text{atg/L } P.P.O_4$; $10 \mu\text{atg/L } Si-SiO_3$) et ces caractéristiques se retrouvent durant les mois de mars-avril 1971, 1972 et 1973 (5) et (10) ; à l'intérieur du canyon des vitesses de remontée égales à $0,5 - 1 \times 10^{-2} \text{cm/S}$ ont été calculées à partir de mesures directes de courant (13). Ces eaux dérivent vers le sud à une vitesse voisine de 0,5 noeuds (10).

Des mesures régulières exécutées en suivant une bouée marquant la dérive de cette eau de remontée ont permis de caractériser l'évolution biologique de ces eaux (9), (10), (14). L'épuisement des sels nutritifs intervient après cinq jours et le maximum de phytoplancton se trouve à la latitude de $17^{\circ} 45'N$. Pendant cette période 10 à $11,5 \text{gC/m}^2$ sont photosynthétisés et en tenant compte de l'excrétion organique par le phytoplancton la production organique totale est égale à $19,5 \text{gC/m}^2$. Les rapports d'utilisation des sels nutritifs vis-à-vis de la quantité de carbone synthétisé sont égaux à $\Delta C / \Delta NO_3 / \Delta SiO_3 / \Delta PO_4 = 43/11/7,4/1$ (pour 1972) et $60/12/9/1$ (pour 1973). Ces valeurs de ΔC peu élevées par rapport aux différents sels nutritifs sont à attribuer à la richesse du milieu.

La région intéressée par ces remontées est également caractérisée par sa vaste étendue et son isolement de la circulation générale océanique. Le rôle limitant des silicates se manifeste par la présence d'eaux encore riches en phosphates et nitrates et pauvres en chlorophylle (5) et (6). La distribution des concentrations en ammoniac montre souvent la présence d'un maximum subsuperficiel dont les valeurs sont du même ordre que celles de la région des caps Blanc et Barbas. Les résultats des expériences de bouées dérivantes ont montré la formation à la base de la couche euphotique de ce maximum d'azote ammoniacal lorsque la production photosynthétique atteint un niveau élevé (9). Ils apportent un argument supplémentaire à l'explication basée sur la minéralisation de matériel phytoplanctonique.

(1) COSTE B. et SLAWYK G., 1974. - Structures de répartitions superficielles des sels nutritifs dans une zone d'upwelling (Cap Corveiro, Sahara espagnol). *Téthys*, 6(1-2) : 123-132.

(2) GOSTAN J. et GUIBOUT P., 1974. - Sur quelques mesures de courant effectuées dans la zone d'upwelling de Mauritanie, au voisinage et à l'intérieur d'un canyon. *Téthys*, 6 (1-2) : 349-362.

(3) FIALA M. et JACQUES G., 1974. - Relations entre ATP, chlorophylle et production dans la couche euphotique d'une zone d'upwelling (campagne CINECA-CHARCOTII, 14 mars-30 avril 1971). *Téthys*, 6(1-2) : 261-268.

(4) GRALL J.R., LABORDE P., LE CORRE P., NEVEUX J., TREGUER P. et THIRIOT A., 1974. - Caractéristiques trophiques et production planctonique dans la région sud de l'Atlantique marocain. Résultats des campagnes CINECA-CHARCOT I et III. *Téthys*, 6 (1-2) : 11-28.

(5) Groupe Médiprod, 1974. Résultats de la campagne CINECA-CHARCOT II (15 mars-29 avril 1971). *Publ. CNEXO*, sér. Résultats des campagnes à la mer, n° 07-1974.

(6) Groupe Médiprod, 1974. - Généralités sur la campagne CINECA-CHARCOT II (15 mars-29 avril 1971). *Téthys*, 6 (1-2) : 33-42.

(7) Groupe Médiprod. - Résultats de la campagne CINECA-CHARCOT-CAPRICORNE V - (4 mars-20 avril 1974. En préparation.

(8) HERBLAND A., 1974. - L'activité bactérienne dans l'upwelling mauritanien. Relation avec l'oxygène et la matière organique. *Téthys*, 6 (1-2) : 203-212.

(9) HERBLAND A., LE BORGNE R. et VOITURIEZ B., 1973. - Production primaire, secondaire et régénération des sels nutritifs dans l'upwelling mauritanien. *Doc. sc. Cent. Rech. océanogr. ORSTOM, Abidjan*, 4 (1) : 1-75.

- (10) HERBLAND A., LE BORGNE R. et VOITURIEZ B., 1974. — Main physical and biological features of the Cape Timiris area (Northwest Africa). *CUEA Newsletter*, 3 (5) : 10-11.
- (11) HERBLAND A. et VOITURIEZ B., 1974. — La production primaire dans l'upwelling mauritanien en mars 1973. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.* (sous presse).
- (12) LE FLOCH J., 1974. — Quelques aspects de la dynamique et de l'hydrologie des couches superficielles dans l'ouest marocain, campagnes CINECA-CHARCOT I et III. *Téthys*, 6 (1-2) : 53-68.
- (13) MacISAAC J.J., DUGDALE R.C. et SLAWYK G., 1974. — Nitrogen uptake in the northwest Africa upwelling area : results from the CINECA-CHARCOT II cruise, *Téthys*, 6 (1-2) : 65-76.
- (14) MINAS H.J., ROMANA L.A., PACKARD T.T. et BONIN M.-C., 1974. — La distribution de l'oxygène dans un upwelling côtier (NW de l'Afrique) et dans celui d'une divergence au large (dôme de Costa Rica). *Téthys*, 6 (1-2) : 157-170.
- (15) NEVEUX J., 1973. — Recherches sur la chlorophylle *a* et la phéophytine *a.1.* en milieu oligotrophe (Méditerranée nord-occidentale en été) 2. en milieu eutrophe (upwelling du nord-ouest marocain). *Thèse 3^e cycle*, Univ. Paris VI : 116 pp+IX.
- (16) Rapport de mission CINECA-CHARCOT IV (non publié).
- (17) Résultats de la campagne CINECA-CHARCOT I (22 janvier-15 février 1971). Pub. CNEXO, sér. Résultats des campagnes à la mer, n° 06-1973.
- (18) SLAWYK G., Mac ISAAC J.J., 1972. — Comparison of two automated ammonium methods in a region of coastal upwelling. *Deep-Sea Res.*, 19 (7) : 521-524.
- (19) SLAWYK G., Mac ISAAC J.J. et DUGDALE R.C. — Inorganic nitrogen uptake by marine phytoplankton under *in situ* and simulated *in situ* incubation conditions. *Limnol. Oceanogr.* (sous presse).
- (20) VOITURIEZ B., 1974. — Consommation des sels nutritifs et production organique dans l'upwelling de Mauritanie. *Téthys*, 6 (1-2) : 322.
- (21) VOITURIEZ B., DUFOUR P. et LE BORGNE R., 1974. — Preliminary results on R.V. Capricorne 7402 cruise in Cape Blanc. *CUEA Newsletter*, 3 (5) : 1-7.

XI – RECIFS CORALLIENS

A. GUILCHER

Université de Brest, Faculté des Lettres, 29200 Brest

Comme pendant la période précédente, les publications françaises sur la géomorphologie et la géologie des récifs coralliens ont porté à la fois sur l'Océan Pacifique et l'Océan Indien.

Océan Pacifique

En *Polynésie Française*, les travaux du port de Papeete (DENEUFBOURG, 12) ont permis de connaître la structure des formations détritiques et notamment récifales au-dessus de la roche en place basaltique, sur une épaisseur de 100 m à la hauteur du récif-barrière. Un travail de SALVAT (23) sur la faune du lagon de Reao, aux Tuamotu, est précédé d'une introduction sur les conditions morphologiques et hydrologiques en cet atoll. De même, un ouvrage général sur la faune récifale en Polynésie Française contient une brève introduction morphologique (17). Une synthèse d'ensemble de CHEVALIER (3) regroupe les études géomorphologiques faites dans la même région, spécialement celles effectuées depuis une dizaine d'années, soit à l'occasion des expérimentations nucléaires aux Tuamotu, soit indépendamment d'elles et en d'autres parties desdits archipels : ce dernier travail donne une vue d'ensemble très commode.

La plus récente publication sur la géomorphologie de la Polynésie Française est une longue étude des îles Gambier et de leur récif barrières (BROUSSE et autres, 2), qui fait partie d'un ensemble d'articles sur les différents aspects naturels de ce petit archipel récifal, désormais connu en très grand détail.

En *Nouvelle-Calédonie*, l'essentiel des publications de première main consiste en l'exploitation, par COUDRAY et ses associés (7, 8, 9, 11), du forage effectué au Grand Tenia dans la barrière néo-calédonienne : il s'agit des données les plus détaillées qu'on ait jamais obtenues dans un forage de récif-barrière. 226 m de sédiments plio-quadernaires, traversés jusqu'au socle éocène, incluent des faciès superposés successifs, montrant une variation latérale du milieu du lagon jusqu'à l'île de barrière, avec des changements brusques correspondant à des coupures dans la sédimentation. Les Foraminifères sont les meilleurs marqueurs dans l'interprétation des faciès. D'autres données, fondées sur des polypiers fossiles, intéressent l'histoire des variations du niveau marin à l'Holocène (COUDRAY et DELIBRIAS, 10).

CHEVALIER (4) a fait pour la Nouvelle-Calédonie la même synthèse que pour la Polynésie. A Lifu (îles Loyauté), TERCINIER (24, 25) attribue les sols bauxitiques de cet atoll soulevé à une contamination par des ponces volcaniques flottées.

D'autres études récifales sur le Pacifique occidental concernent les *Nouvelles-Hébrides* et particulièrement le récif sans socle volcanique émergé de Reef Island (GUILCHER, 14, 15). Le récif frangeant à chenal d'embarcations de *Lord Howe*, le plus au Sud de tous les récifs coralliens du monde, doit son existence à des venues d'eau chaude en mer de Tasman (GUILCHER, 16).

Océan Indien Occidental

Les recherches considérables entreprises par l'équipe d'Endoume-Marseille sur les récifs de *Tuléar* (côte sud-ouest de Madagascar) ont porté des fruits nombreux. (PICHON, 19, 20,

21 ; WEYDERT, 27, 28 ; THOMASSIN, 26 ; CLAUSADE, 5). Cette équipe est arrivée, dans la définition et la description des parties d'un récif, à une précision jusque là inégalée. Un travail de terminologie (CLAUSADE et autres, 6) en est logiquement dérivé ; il a été à l'origine d'un colloque de terminologie récifale plus général, réunissant des chercheurs français ayant opéré en diverses régions, tenu à Endoume-Marseille en 1974, et dont les résultats seront publiés. L'étude du récif de Tuléar montre tout le parti qu'on peut tirer d'un ensemble spatialement restreint, au prix d'une analyse très minutieuse.

Une description préliminaire des récifs des *iles Glorieuses* (BATTISTINI et CREMERS, 1), et une étude des récifs de *Mayotte* (Comores) comparés à d'autres récifs-barrières et lagons associés dans le monde (GUILCHER, 13), représentent la contribution française pour le Nord du canal de Mozambique. Les récifs des *Mascareignes* (Réunion, Maurice, Rodriguez) ont d'autre part été caractérisés (PICHON, 19 ; MONTAGGIONI, 18 ; ROBERT, 22).

(1) BATTISTINI R., et CREMERS G., 1972. — Geomorphology and vegetation of Iles Glorieuses. *Atoll Res. Bull.*, n° 159, 25 p.

(2) BROUSSE R., CHEVALIER J.P., DENIZOT M. et SALVAT B., 1974. — Etude géomorphologique des îles Gambier. *Cah. du Pacif.*, n° 18, p. 9-120.

(3) CHEVALIER J.P., 1973. — Geomorphology and geology of coral reefs in French Polynesia. In : "Biology and geology of coral reefs", vol. 1, Geology, Acad. Press, p. 113-141.

(4) CHEVALIER J.P., 1973. — Coral reefs of New Caledonia. *Ibid.*, p. 143-167.

(5) CLAUSADE M., 1971. — Peuplement annélien des levées détritiques et de leurs biotopes de substitution dans la région de Tuléar (Madagascar). *Téthys*, suppl. 1, p. 127-135.

(6) CLAUSADE M., GRAVIER N., PICARD J., PICHON M., ROMAN M.L., THOMASSIN B., VASSEUR P., VIVIEN M., WEYDERT P., 1971. — Morphologie des récifs coralliens de la région de Tuléar (Madagascar) : éléments de terminologie récifale. *Téthys*, suppl. 2, p. 1-76.

(7) COUDRAY J., 1971. — Nouvelles données sur la nature et l'origine du complexe récifal côtier de la Nouvelle-Calédonie. *Quat. Res.*, vol. 1, p. 236-246.

(8) COUDRAY J., 1974. — Les Foraminifères de la série récifale traversée par le sondage Tenia (côte sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie) : apports stratigraphiques, paléocéologiques et sédimentologiques. *C. R. Ac. Sc.*, vol. 279, p. 231-234.

(9) COUDRAY J. et CUSSEY R., 1973. — Analyse des conditions de dépôt de la série récifale plio-quaternaire traversée par le sondage Tenia (côte sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie). *C. R. Ac. Sc.*, vol. 277, p. 1977-1980.

(10) COUDRAY J. et DELIBRIAS G., 1972. — Variations du niveau marin au-dessus de l'actuel en Nouvelle-Calédonie depuis 6 000 ans. *C. R. Ac. Sc.*, vol. 275, p. 2623-2626.

(11) COUDRAY J., et MASSIEUX M., 1974. — Premières données d'une étude des Algues calcaires de la série quaternaire traversée par le sondage Tenia (côte sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, C. R. Somm. Séances, p. 36-37.

(12) DENEUFBOURG G., 1971. — Etude géologique du port de Papeete, Tahiti, Polynésie Française. *Cah. du Pacif.*, n° 15, p. 75-82.

(13) GUILCHER A., 1971. — Mayotte barrier reef and lagoon, Comoro Islands, as compared with other barrier reefs, atolls and lagoons in the world. In : "Regional variation in Indian Ocean coral reefs", *Symposia of the Zool. Soc. of London*, n° 28, p. 65-86.

(14) GUILCHER A., 1972. — Un banc corallien orienté : Reef Island, Iles Banks, Nouvelles-Hébrides. 22^e Congr. Internat. de Géogr., Montréal, rés. des comm., p. 1025-1027.

(15) GUILCHER A., 1973. — Coral reefs of the New Hebrides, Melanesia, with particular reference to open-sea, not fringing, reefs. Second Internat. Coral Reef Symposium, Great Barrier Reef of Australia, abstracts, p. 84-85 (publ. intégrale sous presse dans les Proc. du symposium).

(16) GUILCHER A., 1973. — Lord Howe, l'île à récifs coralliens la plus méridionale du monde (Mer de Tasman, 31° 30'S, 158° E). *Bull. Ass. Géogr. Fr.*, n° 404-405, p. 427-437.

(17) LE MONDE VIVANT DES ATOLLS. — Polynésie Française, Tuamotu, Gambier. 1972. *Publ. Soc. Océanistes*, n° 28, Paris, 148 p.

(18) MONTAGGIONI L., 1972. — Caractères généraux de la sédimentation récifale et paralique à l'île Rodriguez (archipel des Mascareignes, Océan Indien). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, C. R. Somm. des Séances, p. 112-114.

(19) PICHON M., 1971. — Comparative study of the main features of some coral reefs of Madagascar, La Réunion and Mauritius. In : "Reg. Variat. Indian Oc. Coral Reefs", *Symp. Zool. Soc. London*, n° 28, p. 185-216.

(20) PICHON M., 1973. — Recherches sur les peuplements à dominance d'Anthozoaires dans les récifs coralliens de Tuléar (Madagascar). Thèse d'Etat Sc. Marseille, 416 p.

(21) PICHON M., 1973. — Sur quelques caractéristiques morphologiques et écologiques des récifs coralliens de la région de Tuléar (Madagascar). *Bull. Mus. Nat. Hist. Nat.*, 3^e sér., n° 162, p. 297-307.

- (22) ROBERT R., 1974. — Morphologie littorale de l'île de la Réunion. Thèse de 3^e cycle, Montpellier, 276 p. et vol. de pl.
- (23) SALVAT B., 1972. — La faune benthique du lagon de l'atoll de Reao (Tuamotu, Polynésie). *Cah. du Pacif.*, n° 16, p. 31-109.
- (24) TERCINIER G., 1971. — Sols des karsts de l'atoll surélevé de Lifou (îles Loyauté) et problème de la bauxitisation. *C. R. Ac. Sc.*, vol. 272, p. 2176-2170.
- (25) TERCINIER G., 1972. — Les sols bauxitiques de karst des atolls surélevés du Pacifique. *C. du Sol*, n° 1, p. 103-122.
- (26) THOMASSIN B.A., 1971. — Les facies d'épifaune et d'épiflore des biotopes sédimentaires des formations coralliennes dans la région de Tuléar (Sud-Ouest de Madagascar). In : "Reg. Variat. Indian Oc. Coral Reefs", *Symp. Zool. Soc. London*, n° 28, p. 371-396.
- (27) WEYDERT P., 1973. — Morphologie et sédimentologie des formations récifales de la région de Tuléar (Sud-Ouest de Madagascar). Thèse d'Etat Sc. Marseille, 646 p.
- (28) WEYDERT P., 1974. — Morphologie et sédimentologie de la pente externe de la partie nord du Grand Récif de Tuléar (SW de Madagascar) : nature et répartition des éléments organogènes libres. *Marine Geol.*, vol. 17, p. 299-337.

COMITÉ DE
GÉODYNAMIQUE

TABLE DES MATIERES

	Pages
I – Géodynamique du Pacifique Ouest	237 5
1. Géologie-géophysique marines	237 5
2. Zone de subduction des Nouvelles Hébrides	238 6
3. Néotectonique	238 6
II – Géodynamique du Pacifique Est et de la Zone des Caraïbes	240 8
A – Andes Centrales et Andes Septentrionales	240 8
B – Caraïbes	242 10
III – Géodynamique de la ceinture Alpes-Himalaya	245 13
A – Zone Açores-Gibraltar	245 13
B – Méditerranée occidentale	247 15
C – Alpes occidentales	250 18
D – Géochimie, Pétrologie, Volcanologie	253 21
E – Ouverture de l'Océan Atlantique et du Golfe de Gascogne	255 23
F – Chaîne asiatique (Alpes – Himalaya)	256 24
IV – Géodynamique des rifts continentaux et océaniques	259 27
A – Rifts continentaux en France	259 27
B – Rifts océaniques	260 28
V – Propriétés Physiques	266 34
VI – Processus internes et champs physiques	268 36
A – Etude de la lithosphère	268 36
B – Champs physiques	269 37
VII – Mouvements épirogéniques	271 39
A – Mouvements verticaux récents	271 39
B – Mouvements verticaux quaternaires	271 39
C – Mouvements verticaux tertiaires	272 40
D – Mouvements verticaux mésozoïques et paléozoïques	272 40
VIII – Structure des bassins océaniques et des marges et plateaux continentaux	275 43
IX – Recherches théoriques	277 45

LISTE DES SIGLES UTILISES

Organismes

BRGM	Bureau Recherches Géologiques et Minières
CEPM	Comité Etudes Pétrolières Marines
CNEXO	Centre National Exploitation Océans
CNRS	Centre National Recherche Scientifique
IFP	Institut Français Pétrole
IGN	Institut Géographique National
INAG	Institut National Astronomie Géophysique
ORSTOM	Office Recherche Scientifique Technique Outre Mer
SHOM	Service Hydrographique Océanographique Marine
UPMC	Université Pierre et Marie Curie (Paris VI)
UP VII	Université Paris VII
USMG	Université Scientifique et Médicale de Grenoble

(formes d'interventions) :

ATP	Action Thématique Programmée
RCP	Recherche Coopérative sur Programme

Etablissements et laboratoires de recherche

CGGM	Centre Géologique Géophysique Montpellier
COB	Centre Océanologique Bretagne
GRGS	Groupe Recherche Géodésie Spatiale
IGAL	Institut Géologie A. Lapparent
IPGCF	Institut Physique du Globe Clermont Ferrand
IPGP	Institut Physique du Globe Paris
LEGSP	Laboratoire Etude Géophysique structure profonde
LGC	Laboratoire Géochimie et Cosmochimie
LGM	Laboratoire Géophysique Marine
IPGS	Institut Physique Globe Strasbourg
LGSM	Laboratoire Géologie structurale Montpellier

INTRODUCTION

Conformément aux recommandations de la Commission Interunions de Géodynamique (C.I.G.) une coopération internationale a été recherchée pour le développement de nombreux programmes.

Nous mentionnerons comme exemples : les grands profils sismiques en Europe occidentale, le projet Famous, l'étude de la sismicité de la zone Açores-Gibraltar, les recherches en Afar, dans le Pacifique occidental et en Amérique latine.

Sur le plan national un effort important a été fait pour la mise en place de programmes pluridisciplinaires et le développement de disciplines insuffisamment développées en France comme la Néotectonique.

A la fin de cette première phase du Projet International beaucoup de recherches entreprises n'ont pas encore abouti à des publications et le présent rapport doit être considéré comme très préliminaire et certainement incomplet. Nous avons retenu pour sa présentation un ordre analogue à celui des groupes de travail de la C.I.G.

Nous tenons à remercier les collègues qui ont contribué à la rédaction de ce rapport : M. DUBOIS (I), MM. BUTTERLIN, MEGARD (II), M. BONNIN (III), M. NICOLAS (V), MM. SCHLICH, VARET (IV), M. FAURE (VII). La coordination de l'ensemble a été assurée par G. JOBERT.

Le Comité prend toutefois la responsabilité des erreurs et regrette les omissions qui seront certainement constatées.

I – GEODYNAMIQUE DU PACIFIQUE OUEST ET DE LA REGION INDONESIE

Les recherches entreprises relèvent essentiellement du groupe d'étude n° 1 (Mélanésie, Polynésie, Nouvelle Zélande). Elles se sont développées dans trois domaines principaux : géologie-géophysique en mer, étude de la zone de subduction des Nouvelles-Hébrides, néotectonique.

1 – GEOLOGIE-GEOPHYSIQUE MARINES

La zone de marges océaniques étudiée est comprise entre le continent australien et le bassin central Pacifique. Les efforts ont porté principalement sur quatre domaines :

a) Le domaine continental immergé, caractérisé par une croûte relativement épaisse pour une région immergée sous 1 à 3 km d'eau, et constitué par une succession de bassins et de rides orientées SE – NW et s'interrompant au niveau de la zone de fracture d'Entrecasteaux.

b) Les arcs insulaires représentés ici par la succession : îles Salomon, Nouvelles Hébrides, Tonga Kermadec.

c) Les bassins inter-arcs : plateau Nord Fidjien et bassin de Lau.

d) Les zones de fracture joignant ou séparant les principales unités : zones de fractures d'Entrecasteaux, de Hunter, de Hazel Holme, de Vitaz, de Vening Meinesz . . .

Au cours de diverses campagnes, GEORSTOM (bathymétrie, magnétisme, sismique légère, dragages et carottages), AUSTRADDEC (bathymétrie, magnétisme, sismique lourde multitrace, flexichoc), ont été recueillis plusieurs dizaines de milliers de miles de profils bathymétriques, magnétiques et sismiques (ORSTOM, CNEXO, IFP, CEPM).

Dans leur étude du bassin des Loyauté, DANIEL, DUGAS, LARUE, RECY ont reconnu 3 formations épaisses post-oligocènes (plus exactement postérieures à la phase tectonique correspondant à la mise en place des péridotites) reposant sur une formation plissée qu'ils attribuent à l'Eocène. Les formations calmes auraient été alimentées par l'érosion des reliefs de la Nouvelle Calédonie et de la Chaîne des Loyauté mise en place avant l'Oligocène et dont l'activité se serait prolongée jusqu'au Miocène. La bordure Ouest monte un effondrement antérieur au dépôt de la couche 3 post-oligocène. Cette partie effondrée de formations qui ont subi des phases tectoniques actives (mise en place des péridotites) semble corrélable avec les formations plissées du bassin attribuées à l'Eocène.

Quant au problème de l'arc fossile (GEZE, DUBOIS, DICKINSON) dont la Nouvelle Calédonie et les îles Loyauté seraient des témoins, il demeure toujours une hypothèse de travail ; si l'hypothèse de la fosse comblée que serait le bassin de la Nouvelle Calédonie est contestable depuis que l'on possède des profils de sismique lourde dans le Bassin, l'interprétation des îles Loyauté, du bassin des Loyauté et de la mise en place des péridotites dans l'optique d'un arc actif demeure un sujet de réflexion (HAWKINS, DANIEL, RECY) bien que quelques difficultés supplémentaires apparaissent pour expliquer l'âge relativement récent, 10 MA, de basaltes recueillies à Maré (GUILLON, RECY).

Les structures de Bellona Rennell et d'Entrecasteaux sur lesquelles 2 croisières ont apporté leurs données sont étudiées en détail. Leur rôle dans la tectonique générale de la région paraît en effet essentiel (DANIEL, LARUE, RECY).

Aux Nouvelles Hébrides, dans les bassins Nord et Sud d'Aoba, de fortes épaisseurs de sédiments ont été mises en évidence lors de la campagne AUSTRADDEC I. Comme pour la région entourant la Nouvelle Calédonie le problème essentiel sera de raccorder des marqueurs visibles à des niveaux repérables à terre (Mallicolo, Santo). Si l'on admet que l'arc des Nouvelles Hébrides est jeune (ce qui semble maintenant prouvé) on peut penser que les roches volcaniques anciennes ont été mises en place sur un arc ancien et que l'arc actuel se serait formé il y a 3 Ma environ au même endroit ou à proximité de cet arc ancien.

Les fossés d'effondrement du Sud et du Nord ont été étudiés en détail par la bathymétrie, le magnétisme, la sismique et la sismologie (DUBOIS, DUGAS, LAPOUILLE, LOUAT) et un schéma type a été établi. Ce travail a conduit à donner une interprétation tectonique à leur formation : failles transcurrentes dans les parties incurvées des arcs, puis création de cellules de convection dans l'asthénosphère au-dessus du plan de Benioff. La colonne montante des cellules provoque une tectonique de tension au niveau des fossés qui se forment le long des failles préexistantes et la matière ascendante est à l'origine des intrusions responsables des anomalies magnétiques.

2 – ETUDE DE LA ZONE DE SUBDUCTION DES NOUVELLES HEBRIDES

Le réseau sismologique ORSTOM (6 stations aux Nouvelles Hébrides, 3 en Nouvelle Calédonie et aux Iles Loyauté), a permis la mise sur pied d'un programme commun ORSTOM-Université CORNELL (USA) sur les Nouvelles Hébrides et les Tonga. Ces recherches ont permis de préciser la géométrie des zones de subduction et de déterminer certains paramètres des milieux profonds : vitesses des ondes P et S dans l'écorce et le manteau supérieur, atténuation. Les résultats de ces travaux ont été présentés dans 4 articles (BARAZANGI, ISACKS, OLIVER pour CORNELL ; DUBOIS, PASCAL pour l'ORSTOM).

Dans une deuxième phase, la géométrie détaillée de la zone de subduction a été définie par G. PASCAL, qui a appliqué la méthode J.H.D. (joint hypocenter determination). Cette méthode qui permet une grande précision relative dans la détermination des foyers, a montré que la zone sismique était d'une part mince (inférieure à 20 km) et d'autre part, discontinue. Il semble qu'il y ait plusieurs éléments de lithosphère plongeante faisant avec l'horizontale des angles différents, un maximum de sismicité apparaissant le long des ruptures de cette plaque plongeante.

3 – NEOTECTONIQUE

Les principaux résultats obtenus sont les suivants :

L'interprétation du soulèvement quaternaire des atolls fossiles des Loyauté et de l'extrême Sud de la Nouvelle Calédonie par la flexure de la lithosphère est en bon accord avec les observations topographiques et, à première vue, géologiques. En effet, l'ajustement des altitudes des récifs barrières fossiles se fait bien sur un modèle de bombement pour lequel les paramètres de la lithosphère sont acceptables (paramètre de rigidité en flexion = 140 km). D'un point de vue dynamique la lente surrection des atolls au fur et à mesure qu'ils s'approchent de la zone de subduction (à la vitesse du déplacement relatif des plaques Indienne et Pacifique) doit se vérifier avec l'âge de ces formations. Si l'on peut dire qu'il y a une bonne concordance entre l'âge approximatif donné aux récifs de Maré (CHEVADIER) et l'âge probable de leur émergence d'après la vitesse connue du déplacement de la plaque Indienne et la forme du bombement, l'état actuel des techniques de datation des coraux ne permet pas d'aller plus loin dans cette voie.

Sismologie

DUBOIS J., LARUE B., PASCAL G. and REICHENFELD C. — Seismology and structure of the New Hebrides in the Western Pacific : Island arcs marginal seas, *Geochemistry*, P. COLEMAN Ed. University of Western Australia Press, 1973.

PASCAL G., Contribution à l'étude de la sismicité des Nouvelles Hébrides, Thèse UPMC 1974.

Programme ORSTOM-CORNELL

BARAZANGI M., ISACKS B., OLIVER J., DUBOIS J. and PASCAL G. — Descent of lithosphere beneath New Hebrides, Tonga, Fiji and New Zealand, Evidence for detached Slab, *Nature* 242, 98, 1973.

DUBOIS J., PASCAL G., BARAZANGI M., ISACKS B. and OLIVER J. — Seismic velocity anomalies beneath the New Hebrides Island arc : Evidence for a detached Slab in the upper Mantle, *J. Geophys. Res.* 78, 6998, 1973.

BARAZANGI M., ISACKS B., DUBOIS J. and PASCAL G. — Seismic wave attenuation in the upper mantle beneath the southwest Pacific, *Tectonophysics*, 1, 1974.

Néotectonique

LAUNAY J. et RECY J. — Variations relatives du niveau de la mer et néotectonique en Nouvelle Calédonie, au Pléistocène et à l'Holocène, *Rec. de Géograph. Phys. et de Géol. Dyn.*, XIV, 1, 47, 1972.

DUBOIS J., LAUNAY J. and RECY J. — Some new evidences on lithospheric bulges close to Island arcs, in press, 1974.

Géologie - Géophysique en mer

DUVOIS J. (Part I), RAVENNE C., AUBERTIN F., LOUIS J., GUILLAUME R., LAUNAY J., MONTARDERT L. (part II). The margins near New Caledonia, in press 1974.

DANEIL J., HAWKINS L., RECY J., DUGAS F. and WHITELEY B. — Structure and History of Loyalty Basin (S.W. Pacific), in press, 1974.

LAPOUILLE A., HAWKINS L., JOHNSON D. and LARUE B. — Marine magnetic Investigation in Melanesia, in press 1974.

DUBOIS J., DUGAS R., LAPOUILLE A., LOVAT R. — Fossés d'effondrement en arrière de l'arc des Nouvelles Hébrides. Mécanismes proposés, *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.* 1974.

II – GEODYNAMIQUE DE LA REGION PACIFIQUE EST ET ZONE DES CARAIBES

A – ANDES CENTRALES (PEROU, BOLIVIE) ET ZONE DE PASSAGE AUX ANDES SEPTENTRIONALES

Depuis 1960, un groupe de géologues et géomorphologues travaillant sous l'égide de l'ORSTOM (Mission Géologique au Pérou et en Bolivie), du CNRS et l'Institut Français d'Études Andines a entrepris et en grande partie mené à bien, les travaux suivants :

- Etude de transversales de la chaîne des Andes.
- Etude de la déformation récente au long d'une partie de ces transversales et dans certains secteurs plus particulièrement favorables (Cordillère Blanche, Bassin de Huancayo, Sud Péruvien de la côte au lac Titicaca, Altiplano Bolivien).
- Etude pétrologique et géochimique du volcanisme cénozoïque du Pérou.
- Depuis 1974, étude du passage des Andes "andésitiques" péruviennes aux Andes "ophiolitiques" équatoriennes.

1 – Coupes transversales à la chaîne des Andes

Trois transversales complètes du Pacifique à la plaine amazonienne ont été étudiées au Pérou :

- entre 9 et 11° S : coupe Rio Fortaleza – Cordillère de Huayhuash Huanuco – Tingo Maria
- entre 11 et 12° S : coupe Lima – La Oroya-Tarma-La Merced-Rio Ucayali
- entre 13 et 17° S : coupe Mollendo-Arequipa-Lac Titicaca-Rio Tambopata.

Trois coupes partielles, de la Cordillère Occidentale ou de l'Altiplano à la dépression Chaco-Beni, ont été étudiées en Bolivie :

- entre 15 et 17° S : coupe Altiplano-La Paz-Puerot Linares
- entre 17 et 18° S : coupe Altiplano-Cochabamba-Chapare
- entre 21 et 22° S : coupe Volcan Ollague-Tarija-Villamontes

Pour la chaîne andine on a pu préciser :

- dans l'évolution pré-tectonogénique, les types de sédimentation et leur répartition dans les divers bassins.
- dans l'évolution tectonogénique, la chronologie des phases et le style de la déformation pour chacune d'elles.

A la lumière des résultats obtenus et de nombre de données provenant d'équipes locales ou étrangères (anglaises, allemandes et américaines), la chaîne des Andes au niveau du Pérou et de la Bolivie apparaît construite en bordure d'un craton mais encore intégralement sur croûte sialique, sans participation de matériel d'origine océanique. La présence d'arcs volcaniques ou plutoniques sub-parallèles à la fosse océanique Pérou-Chili semble être une constante de l'évolution andine pré-tectonogénique et tectogénique. On note aussi le parallélisme fréquent avec la fosse des axes de subsidence des bassins et plus tard de directions de plissement.

Ces données peuvent assez bien s'intégrer dans un schéma évolutif basé sur la tectonique des plaques, mais assez fondamentalement différent de ceux imaginés par DEWEY et BIRD par exemple. On est amené à admettre en particulier que la subduction de la plaque océanique du Pacifique Est sous le bord W de la plaque américaine est une constante depuis le Trias au moins, ce qui oblige à imaginer des variations importantes dans ce processus pour qu'il puisse provoquer successivement volcanisme et subsidence, puis compression.

AUDEBAUD E., CAPDEVILA R., DALMAYRAC B., DEBELMAS J., LAUBACHER G., LEFEVREC., MAROCCO R., MARTINEZ C., MATTAUER M., MEGARD F., PAREDES J., TOMASI P. — Les traits géologiques essentiels des Andes Centrales (Pérou-Bolivie) *Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn.* XV 73, 1973.

AUDEBAUD E., LAUBACHER G., MAROCCO R. — 1974-75 coupe à travers les Andes du Sud du Pérou : du Pacifique au bouclier brésilien. *Geol. Rund.* (à paraître).

BOTELLO R., MARTINEZ C., SUBIETA T., TOMASI P. — La carte tectonique de Bolivie. Maquette à l'échelle de 1/5000000. *Cah. ORSTOM, Géologie*, IV (2), p. 149-152, 1 carte H.T., 1972.

DALMAYRAC B. — Coupe générale des Andes péruviennes (entre 9° S et 11° S). *Bull. Inst. Fr. Et. Andines* II, (1), p. 1-15, 1973.

MARTINEZ C., SUBIETA T., TOMASI P., KUSSMAUL S., 1973, Histoire structurale de l'Altiplano Bolivien. Com. 2^e Congr. Latino amer. Geol. Caracas (sous press).

MEGARD F., 1973, Etude Géologique d'une transversale des Andes au Niveau du Pérou Central. Thèse U.S.T.L. Montpellier.

2 — Evolution récente de la chaîne : déformation récente et volcanisme

L'existence de déformations dans les sédiments et/ou les volcanites du Tertiaire supérieur et du Quaternaire a été démontrée dans le Sud du Pérou, sur l'Altiplano Bolivien, dans le Pérou Central. Les discordances ont été cartographiées et parfois datées ; en Bolivie en particulier, la détermination des vertébrés fossiles a corroboré les résultats radiométriques d'Evernden (1966) et a permis de caler les phases de déformation en compression les plus récentes, qui se placent dans le Pliocène et vers la base du Pleistocène, ainsi que les surfaces d'érosion correspondantes.

Parallèlement, les premiers résultats de l'étude pétrologique et géochimique du volcanisme du Sud du Pérou montrent une zonation des laves quaternaires parallèlement à la fosse océanique actuelle, zonation qui dans ses grandes lignes est en accord avec les modèles de Dickinson pour les arcs insulaires.

Toutes ces recherches ont apporté des résultats souvent très précis soit sur la chronologie (Bolivie), soit sur le style et les caractéristiques de la déformation (Pérou Central), soit encore sur le volcanisme d'une grande région donnée. Cependant elles ne permettent pas de répondre clairement aux grandes questions que l'on se pose sur le processus et la chronologie de la formation du volume montagneux andin. D'autre part, la relation entre les caractères régionaux de la sismicité intermédiaire qui serait liée à une zone de Benioff et la tectonique récente restent problématiques.

Dans ce domaine, il semble cependant que la division des Andes Centrales en deux secteurs de part et d'autre de la déflexion d'Abancay, vers 13° S, soit un trait fondamental que l'on retrouve dans les caractéristiques de la sismicité, de la déformation récente et enfin du volcanisme néotertiaire et quaternaire. Il est clair qu'il s'agit là de phénomènes liés les uns aux autres que seules des équipes pluridisciplinaires stables pourront attaquer fructueusement dans le futur, maintenant qu'est passée la phase d'"exploration".

DALMAYRAC B. — Un exemple de tectonique vivante : les failles subactuelles du pied de la Cordillère Blanche (Pérou). *Cah. ORSTOM, sér. Géologie*, VI (1), p. 19-27, 1974.

HOFFSTETTER R., MARTINEZ C., TOMASI P. — Nouveaux gisements de Mammifères néogènes dans les couches rouges de l'Altiplano Bolivien. *C.R.A.C.Sc.*, 275 D, 739, 1974.

LEFEVRE C. — Les caractères magmatiques du volcanisme plio-quaternaire des Andes dans le Sud du Pérou. *Contr. Mineral. and Petrol.*, 41, 259, 1973.

MARTINEZ C., SUBIETA T., TOMASI P., KUSSMAUL S. — Histoire structurale de l'altiplano Bolivien. Com. 2^e Cong. Latinoamer. Geol., Caracas (sous presse), 1973.

B – CARAIBES

L'activité dans la région des Caraïbes (s.lat.) s'est exercée essentiellement dans trois régions

1. Les Petites Antilles Françaises ;
2. Les Grandes Antilles (Cuba, Haiti) ;
3. Le Mexique

De nombreuses communications sur les résultats obtenus ont été présentées à la VII^e Conférence "Géologie des Caraïbes" qui s'est tenue à Pointe à Pitre en 1974.

1 – Les Petites Antilles Françaises

Le B.R.G.M. a pris en charge une révision des cartes géologiques de la Guadeloupe et de la Martinique, en coopération avec le Service des Mines des Antilles Françaises.

Ces travaux ont été menés à la Guadeloupe, en particulier, par B. MERVOYER pour la Basse-Terre et par S. COTTEZ pour la Grande Terre, et à la Martinique par D. WESTERCAMP.

Ils ont permis de mettre en évidence, à la Martinique :

a) la présence de l'arc externe (ou oriental) dans la région orientale de l'île, alors qu'il était supposé antérieurement ne pas dépasser vers le sud Marie-Galante. L'âge oligocène et miocène des séries volcano-sédimentaires dans cette région a pu être précisé, grâce à l'étude de la microfaune et à des déterminations d'âge radiométrique,

b) l'évolution, au cours du temps, des roches volcaniques, des types tholéitiques à des types calco-alcalins plus acides.

On a pu montrer que dans la Grande Terre de la Guadeloupe, la série sédimentaire est plio-quadernaire et donc a débuté plus tard qu'il n'était admis (Miocène) jusqu'à présent.

On a pu préciser la répartition géographique et l'âge radiométrique des formations volcaniques plio-pléistocènes de la Basse Terre et de la partie occidentale de la Martinique et montrer que dans l'arc interne (ou occidental) également l'évolution géochimique des roches volcaniques s'est réalisée depuis les types tholéitiques jusqu'aux types calco-alcalins. M. PELLETIER a réalisé, d'autre part, une étude des andésites du SE martiniquais et des zéolites qui s'y trouvent.

Du point de vue de la géologie appliquée, il y a lieu de noter les études menées par le B.R.G.M. et l'E.U.R.A.F.R.E.P. concernant les possibilités de l'utilisation de l'énergie géothermique, en particulier à Bouillante (Basse Terre de la Guadeloupe). Elles permettent d'espérer une utilisation industrielle de cette énergie.

Des études de géologie générale et de géologie appliquée (Porphyry coppers) menées par la S.M.M.P. (Pénaroy – M. SOLOMIAC) ont permis d'améliorer la carte géologique de St-Barthélémy et de la partie française de St-Martin, et en particulier, de mieux préciser l'âge et les relations stratigraphiques des formations volcano-sédimentaires rencontrées dans ces îles.

Un prochain bulletin du B.R.G.M. sera consacré à l'état actuel des connaissances concernant les Petites Antilles françaises.

La sismicité de l'arc des Petites Antilles a été redéfinie avec plus de précision grâce à l'implantation d'un réseau sismologique à télémessure par l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) à la Guadeloupe et à la Martinique. Le taux de subduction semble varier le long de l'arc.

La structure sous l'arc a été également précisée grâce à l'observation des anomalies des temps de propagation pour des séismes lointains et une participation en 1972 à une

campagne de sismologie expérimentale. Un profil effectué le long de l'axe Guadeloupe – Martinique a montré que l'épaisseur des couches superficielles était plus grande que sous la mer des Antilles, sans que le Moho puisse être mis en évidence.

La surveillance volcanologique des deux îles a été développée par l'IPGP par la mise en place de balises (CEA) automatiques pour le prélèvement de gaz et les mesures thermiques différentielles.

Une campagne de mesures thermiques en surface et à moyenne profondeur à la Soufrière (Guadeloupe) a permis de préciser la forme de l'anomalie thermique superficielle où la nappe phréatique doit jouer un rôle important.

Une activité sismique au voisinage immédiat de la Soufrière a été observée (profondeurs inférieures à 3 km).

ANONYME. – Livret-guide d'excursions dans les Antilles Françaises (*B.R.G.M.*, 205 p), 1974.

BELLON H., PELLETIER B., WESTERCAMP D. – Données géochronométriques relatives au volcanisme martiniquais. *C.R.Acad. Sci.* (à paraître), 1974.

DEMIANS D'ARCHIMBAUD J., SURCIN J. – Recherches géothermiques en Guadeloupe. *Revue Géogr. Phys. Géol. dynam.*, XIV, 211, 1972.

DOREL J., ESCHENBRENNER S., FEUILLARD M. – Vitesses sismiques et anomalies de propagation sous l'arc des Petites Antilles. *C.R.Acad. Sc. Paris* 273, 302, 1971.

DOREL J., ESCHENBRENNER S., FEUILLARD M. – Contribution à l'étude sismique de l'arc des Petites Antilles. *Ann. Géophys.*, 27, 295, 1971.

DOREL J., ESCHENBRENNER S., FEUILLARD M. – Les volcans actifs de la Guadeloupe et de la Martinique, Petites Antilles. *Bull. Volcan.* Tome XXXVI, 2, 359, 1972.

DOREL J., ESCHENBRENNER S., FEUILLARD M. – Profils sismiques dans les Petites Antilles. *Ann. Géophys.*, 30, 117, 1974.

PELLETIER B. – Les andésites du SE martiniquais. Thèse Univ. Orléans.

WESTERCAMP D. – Contribution à l'étude du volcanisme en Martinique. Thèse Univ. Paris-Sud, 1972.

2 – Les Grandes Antilles

a) Cuba

Les recherches françaises menées essentiellement par A. BOITEAU ont permis de préciser les caractéristiques et la chronologie du métamorphisme de la sierra de Purial (Est de la province d'Orient) et d'établir des comparaisons à l'échelon régional.

b) République d'Haiti

En vue de l'établissement d'une carte des gîtes minéraux de la république d'Haiti, le Gouvernement de ce pays avait sollicité l'aide de la France. Une équipe de l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de Prospection Minière, sous la direction de J.S. SAMAMA, a entrepris les travaux géologiques, à cet effet.

La carte qu'il a dressée a été publiée en 1973 à l'échelle de 1/350 000 sur le fond géologique de J. BUTTERLIN (1960).

Par ailleurs, l'équipe de Nancy prépare une étude d'ensemble du Crétacé du nord et du Centre d'Haiti (CHEILLETZ & LEWIS)

3 – Le Mexique

Dans le cadre d'une convention entre l'Université Nationale Autonome du Mexique, le département de Géologie structurale (U.P.M. Curie) et le laboratoire de Géologie et de Micropaléontologie de l'Amérique Latine (Ecole Normale Supérieure de St-Cloud), une équipe dirigée par J. AUBOUIN a entrepris une étude, d'une part, du Mésozoïque de la Sierra Madre Occidentale (BONNEAU et RANGIN) et d'autre part, celui de la Sierra Madre Orientale (TARDY).

Un certain nombre de points importants ont été acquis concernant les cycles orogéniques post-paléozoïques du nord du Mexique :

1) La migration de l'orogénèse des zones internes vers les zones externes marquée par l'âge de plus en plus jeune des flyschs dans la même direction (Crétacé moy. à Eocène).

2) l'orientation dominante W-E des axes structuraux mésozoïques, oblique par rapport à celle des structures néotectoniques NNW-SSE à N-S. Elle a amené M. TARDY à supposer que ces axes structuraux se prolongent dans les Grandes Antilles à Cuba.

3) l'étude de la région Montperrey-Parras-Salttillo a permis à TARDY de mettre en évidence des mouvements tangentiels importants qui se marquent par des charriages vers le NNE des formations crétacées de la zone de Parras sur celles de la zone de Oahuila.

Enfin une étude sismo-tectonique de l'isthme de Campeche (région Oaxaca-Chiapas) est en cours (MOTA, UPVII).

BOITEAU A., & al. – Le complexe ophiolitique du Purial (Oriente, Cuba) et son métamorphisme de haute pression : problèmes de datation et de corrélation. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 275, D, 895, 1972.

BOITEAU A., MICHARD A. & SALIOT P. – Métamorphisme de haute pression dans le complexe ophiolitique du Purial (Oriente, Cuba) *C.R. Acad. Sc. Paris.*, 274, D, 2137, 1972.

ANONYME. – Carte Géologique d'Haïti. *Sciences de la Terre*, T. XVIII, n° 4, 1973.

BONNEAU M. – Données nouvelles sur les séries crétacées de la côte pacifique du Mexique. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, t. XIV, 55, 1973.

BUTTERLIN J. – Regards sur l'origine et l'évolution des unités structurales de la région des Caraïbes. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, t. XIV, 46, 1973.

TARDY M. – Stratigraphie et tectonique de la Sierra Madre Oriental au niveau du secteur transversal de Parras (Etat de Coahuila, Mexique). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, t. XIV, 66, 1973.

TARDY M. – Les phases tectoniques du secteur transverse de Parras, Sierra Madre Orientale (Mexique). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, t. XV, 362, 1973.

Une campagne de sismique réflexion a été effectuée par l'IFP et le CEPM dans les Caraïbes. Elle a permis de préciser la structure superficielle des différents éléments structuraux constituant l'arc des Antilles : ride de Barbade et bassin de Tobago à l'Est, bassin de Grenade, ride d'Aves et bassin du Vénézuéla à l'Ouest.

Dans ce dernier, on a montré en particulier que les basaltes Crétacé supérieur atteints par les forages du Glomar Challenger sont des coulées et ne constituent donc pas le socle océanique comme cela avait été supposé initialement. De fortes épaisseurs de sédiments existent en effet au-dessous.

III – GEODYNAMIQUE DE LA CEINTURE ALPES-HIMALAYA

C'est dans ce domaine qu'a été concentré l'effort principal en matière de Géodynamique dans les dernières années, grâce à un soutien important de l'Institut National d'Astronomie et de Géophysique (C.N.R.S.) par l'A.T.P. "Géodynamique de la Méditerranée occidentale et de ses abords".

A – ZONE AÇORES – GIBRALTAR – ALBORAN

1 – Sismicité et structure

La zone étudiée est la partie de la frontière entre les plaques Eurasie et Afrique qui débute à l'Ouest au point triple des Açores en domaine océanique et se poursuit vers l'Est jusqu'au contact des domaines continentaux de la péninsule ibérique et du Maroc. L'effort a porté sur l'étude de la sismicité (détermination des épacentres, mécanisme au foyer) et plus récemment sur la structure de la croûte et de la lithosphère. En collaboration avec divers organismes, de nombreuses stations sismologiques (20) fonctionnent maintenant dans la zone maghrébine : outre les stations classiques, ont été mises en place des stations à enregistrement magnétique à déroulement rapide, des équipements à longue période.

Une carte préliminaire de la sismicité de cette région a été dressée (HATZFELD et al, LEGSP, I.P.G.P.). L'étude a montré :

a) qu'il s'agit essentiellement d'évènements de magnitude faible qui sont donc difficiles à étudier ;

b) que, si la localisation des épacentres est relativement précise (à moins de 10 km près), par contre, la profondeur des foyers est difficilement déterminable ;

c) que, si la limite entre les plaques est relativement claire dans l'Atlantique et en Algérie, il n'en est pas de même au Maroc et en Espagne où la sismicité est largement dispersée. Dans cette dernière zone cependant, il semble que la sismicité se localise sur de nombreux accidents grossièrement NE-SW, dont certains sont pourtant réputés anciens ; par contre, l'activité sismique de la "faille sud-Atlasique" est négligeable, même au voisinage d'Agadir ;

d) que l'étude des mécanismes au foyer ne pourra être abordée que par des méthodes statistiques, en raison de la faible magnitude des chocs.

Dans le domaine océanique plusieurs campagnes ont été consacrées à la région Açores-Gibraltar (certaines en coopération avec le Portugal) dans les zones profondes d'une part : campagnes Nestlante I, Gibraco, Albatante, Tripod (C.O.B.) ; sur les marges ibériques d'autre part : campagnes Lusitanie et Hespérides (G. BOILLOT). Les données recueillies sont bathymétriques, sismiques (réflexion et réfraction), magnétiques, gravimétriques, sédimentologiques, stratigraphiques, pétrologiques et géochimiques. Les résultats publiés actuellement portent sur l'évolution des marges ibériques (voir VII-B) et la structure de la zone à l'Ouest de Gibraltar.

Une campagne de profils sismiques a été réalisée par le Laboratoire d'Etude géophysique des structures profondes (I.P.G.P.) en coopération avec des équipes espagnoles, allemandes et marocaines en 1974.

Deux profils Nord-Sud par 3° Ouest (de Melilla vers le Nord) et 5° Ouest (entre les massifs de Ronda et Beni Bouchera), ainsi qu'un profil de l'île d'Alboran en direction de Tétouan ont été enregistrés en Espagne, au Maroc et sur Alboran.

Les enregistrements effectués aux deux extrémités du profil 5° Ouest montrent la présence au Sud de l'Espagne et au Nord du Maroc de marges continentales délimitant une croûte amincie sous la Mer d'Alboran par rapport aux marges.

Une telle croûte amincie est également bien limitée au Nord sur le profil 3° Ouest mais elle semble se prolonger au Sud sous le Maroc émergé, le passage des vitesses caractéristiques de la croûte aux vitesses de l'ordre de 8 km/s du manteau supérieur se faisant probablement par une zone de transition d'épaisseur variable le long du profil.

Cette symétrie par rapport à l'axe de la mer d'Alboran au niveau du méridien 5° Ouest et l'absence de symétrie sur 3° Ouest se retrouvent dans les anomalies gravimétriques.

La profondeur de la limite inférieure des terrains attribuables à la croûte est de l'ordre de 16 à 20 km dans la zone de croûte amincie ; les variations de nature du Moho (discontinuité de vitesse ou zone de transition) paraissent probables.

L'épaisseur de cette croûte qui paraît faible par rapport à une croûte continentale est par contre significativement plus grande que celle d'une croûte océanique typique.

L'exploitation de tirs de mine de Khouribga en réfraction sismique se poursuit en coopération entre le LEGSP (IPGP) et le service Géophysique de la Faculté des Sciences de Rabat. Par ailleurs, l'étude des ondes de surface semble montrer qu'il n'y a pas de différence marquée dans la structure de la lithosphère au Sud et au Nord de la ligne Açores-Gibraltar.

BONNIN J., JOLIVET J.L. et AUZENDE J.M., 1975. — Structure en nappe à l'Ouest de Gibraltar. *C.R.A.S.*, 280 D, 559,

PURDY G.M. et al, 1975. — Goringe ridge and the crustal structure west of Gibraltar (in press)

2 — Levé aéromagnétique de la mer d'Alboran

Des cartes d'anomalies magnétiques étaient déjà disponibles pour la France continentale, le Golfe de Gascogne, la Méditerranée occidentale Nord-Est et Sud-Est, la Corse. Le levé aéromagnétique du bassin occidental Sud-Ouest, y compris la mer d'Alboran (16 000 km de profils) a été réalisé pendant l'été 1973 (INAG). Une fois rassemblés, ces levés constitueront un ensemble de qualité tout à fait exceptionnelle.

Une première interprétation des données recueillies a déjà été proposée par le LEGSP (IPG). Les deux bassins de la mer d'Alboran apparaissent magnétiquement différents. Le bassin oriental est probablement de nature océanique (bien qu'il n'y ait pas d'anomalies du type "Vine et Matthew") : il est marqué par des accidents NNW-SSE et bordé par des anomalies superposées sans doute aux cicatrices de l'ouverture. Le bassin occidental apparaît plus complexe, mais aussi de nature océanique, au moins dans sa partie la plus profonde ; là encore, les accidents NNW-SSE sont bien marqués. La ride d'Alboran qui sépare les deux bassins paraît être de nature continentale dans sa partie méridionale. Il reste bien sûr à préciser ces interprétations à la lumière des autres données géophysiques collectées dans cette région.

L'examen attentif des écarts observés entre les valeurs magnétiques sur les lignes et les traverses (aux points de croisement) a permis de mettre en évidence une importante anomalie de conductivité électrique sous le bassin oriental d'Alboran. Cette anomalie semble se poursuivre au Maroc et pourrait marquer cette frontière majeure entre les éléments lithosphériques.

Une campagne complémentaire se déroule en 1975.

LE BORGNE E., GALDEANO A., LE MOUËL J.L. — Le levé aéromagnétique de la mer d'Alboran. *Publ. IPGP*, 31 p., 1974.

3 – Néotectonique de l'arc de Gibraltar

A partir de 1972 des recherches de Néotectonique ont été entreprises de façon systématique sur l'arc de Gibraltar. Pour les années 1973-74, la coordination de ces recherches ont été assurées par : M. GIGOUT (Université d'Orléans) pour les études du Quaternaire marin des rives atlantiques et méditerranéennes, C. MONTENAT (Igal, Paris) pour les études stratigraphiques sur le Néogène tant en Espagne qu'au Maroc, J.P. RAMPNOUX (Centre Universitaire de Savoie ; Chambéry) pour la néotectonique du Rif Maroc, C. BOUSQUET (Université de Montpellier) pour la Néotectonique des Cordillères Bétiques (Espagne).

L'étude néotectonique de l'arc de Gibraltar apporte deux types de résultats : d'une part, un réseau de décrochements, dans les cordillères bétiques, témoigne d'une compression quaternaire ; d'autre part, les lignes de rivages et les terrasses marines (Oudjien, 80 000 ans et Tyrrhénien, 300 000 ans) sont déformées au Maroc et en Espagne symétriquement par rapport à un parallèle passant par le détroit de Gibraltar. L'étude du Quaternaire (Orléans, Chambéry) a montré une surrection de la région du détroit de Gibraltar de 15 à 20 m depuis 90 000 ans environ alors que les rivages atlantiques sont restés stables depuis cette époque et que les rivages de la mer d'Alboran étaient peu soulevés. Ces mouvements verticaux sont certainement de grande ampleur puisque certains niveaux (d'un Quaternaire marin plus ancien) se trouvent à 100 m d'altitude.

4 – Géochimie

Le volcanisme des Açores étudié par le Laboratoire de Géochimie (IPGP) montre peu de variations géochimiques d'Est en Ouest ; dans la même direction, les variations d'âge ne sont pas claires. Par contre, la chaîne volcanique se poursuit tout le long de la ligne Açores-Gibraltar, jusqu'au Portugal où le volcanisme est évidemment ancien et présente des affinités calco-alcalines très nettes (analyses et datations en cours à l'IPGP et au COB).

Dans l'arc de Gibraltar, il semble bien que, au Nord et au Sud de la mer d'Alboran, le volcanisme indique une paire de zones de subduction plongeant vers chacun des continents.

DELARUE C. et BROUSSE R. – Volcanisme miocène en subduction au Maroc à l'extrémité orientale de l'arc de Gibraltar. *C.R.A.S. Paris*, 279 D, 971, 1974.

B – MEDITERRANEE OCCIDENTALE. BASSIN PROVENÇAL ET MARGES

1 – Structure sismologique

L'enregistrement en Corse de profils de tirs en mer (organisés en octobre 1974 par le LEGSP (IPGP) en liaison avec P. GIESE, Berlin et C. MORELLI, Trieste) permet de montrer qu'au niveau du Moho la marge ouest de l'île correspond à un passage très rapide et proche de la côte de la croûte continentale de la Corse hercynienne à la croûte amincie du Bassin Provençal. Une comparaison avec la marge orientale ainsi qu'une comparaison entre les parties hercynienne et alpine de l'île pourront être tentées.

Des données obtenues tant pour les régions situées entre Majorque et la Catalogne (profil de tirs Anna 1972) qu'au Nord-Est de Minorque montrent que le prolongement en mer d'une structure de type continental est plus important au nord des Baléares qu'à l'ouest de la Corse (profil de tirs de 350 km de long dans le Bassin Provençal ; septembre 1974).

La profondeur de Moho trouvée précédemment par les profils tirés et enregistrés en mer est confirmée par l'enregistrement à terre de nouveaux profils de tirs en mer comme correspondant à une croûte amincie par rapport à la croûte continentale.

Immédiatement sous Moho, une vitesse des ondes P égale ou légèrement inférieure à 8,0 km/s, cohérente avec des observations antérieures, est trouvée sur le profil Minorque-Corse. Par contre, la région entre Majorque et la Catalogne se distingue par une valeur

anormalement faible, de l'ordre de 7,3 km/s sous un Moho à une profondeur voisine de celle du Bassin Provençal.

Des indices pouvant être interprétés comme étant causés par une certaine forme de stratification dans la lithosphère inférieure existent sur les enregistrements du profil Minorque-Corse effectués en Corse où le rapport signal sur bruit est le meilleur. La vitesse apparente des premières arrivées jusqu'à 320 km de distance ne dépasse pas 8,2 km/s mais il semble possible de corrélérer à partir de 230 km une phase secondaire avec une vitesse apparente supérieure à 8,5 km/s.

GOBERT B., HIRN A. and STEINMETZ L. — "Shots of profil II recorded on land ; north of the Pyrenees". In "Results of the Anna cruise". *Bull. Centre Rech. Pau SNPA* 6, p. 433-444, 1972.

RECO M. — Contribution à l'étude de la zone de transition entre la structure continentale et la structure océanique de la croûte terrestre entre Toulon et Gênes. Thèse Univ. Paris VI, 1974.

2 – Levé gravimétrique en Corse

En 1973-1974, 590 stations gravimétriques ont été occupées (CGGM) couvrant la moitié Nord de l'île à l'exclusion du Cap Corse.

Les principales structures gravimétriques mises en évidence :

- une forte anomalie positionnée en bordure du Golfe de Porto ;
- une anomalie (isostatique) positive (60 mgal) de grande longueur d'onde associée à la zone complexe du Monte-Cinto et sans doute due à une intrusion profonde du manteau à la faveur d'une distension permienne ;
- une étroite bande de minimum relatif sur la moitié Nord du contact Corse alpine-Corse hercynienne.
- des anomalies positives sur la Corse alpine apparemment liées au massif de gabbros et de roches vertes, qui ne semblent pas être enracinés ;
- une anomalie positive à la base du Cap Corse que l'on peut interpréter de deux manières différentes : soit comme le prolongement de l'anomalie du Cinto et alors les socles de la Corse alpine et de la Corse hercynienne sont solidaires ; soit comme une anomalie due à un corps dense à la base de la nappe de schistes lustrés et alors les deux socles peuvent être indépendants ;
- de très fortes anomalies négatives, sur les plaines côtières orientales.

3 – Paléomagnétisme de la Corse et de la Sardaigne

Les recherches effectuées par le Laboratoire de Paléomagnétisme (IPGS), les laboratoires de Géologie dynamique (Marseille) et de Géodynamique (Villefranche) avaient pour but :

- a) de préciser la paléorientation au Permien de la Corse et de la Sardaigne et, dans la mesure du possible, de tenter de déterminer l'emplacement occupé par ces deux îles relativement à l'Europe.
- b) en utilisant l'existence de formations volcaniques tertiaires en Sardaigne, obtenir des indications sur la paléorientation de l'île à l'Oligo-Miocène.

En ce qui concerne la rotation de la Corse on a montré à partir d'ignimbrites du Monte Cinto (Permien) que la différence des déclinaisons avec l'Europe stable était de l'ordre de 30°.

Pour la Sardaigne cette différence atteindrait 60° pour les ignimbrites de Gallura.

La question d'une rotation éventuelle de la Sardaigne au Tertiaire n'est pas résolue.

M. WESTPHAL. — Etude paléomagnétique de quelques formations permienues et triasiques dans les Alpes Occidentales (France). *Tectonophysics*, 17, 323, 1973.

M. WESTPHAL, C. BARDON, A. BOSSERT, R. HAMZEH. — A computer fit of Corsica and Sardinia against southern France, *Earth and Planet. Sc. Lett.* 18, 137, 1973.

C. COULON, A. DEMANT, C. BORDIER. — Contribution du paléomagnétisme à l'étude des séries volcaniques cénozoïques et quaternaires de Sardaigne Nord-Occidentale. Le problème de la dérive de Sardaigne. *Tectonophysics* 22, 59, 1974.

4 — Cartographie magnétique

Le levé aéromagnétique de la partie Sud du bassin algéro-provençal a été effectué à l'altitude de 600 m par l'INAG en 1971 dans les mêmes conditions que celui du Golfe de Gascogne en 1969. (Le levé de la partie Nord avait été réalisé en 1966 pour le CNRS à une altitude de 3000 m). Celui de la mer d'Alboran a été réalisé en 1973 (voir III — A — 2).

Les qualités de ces levés (précision, homogénéité) ont permis de dresser une carte générale des anomalies magnétiques pour l'ensemble de la Méditerranée occidentale (LEGSP ; IPGP), après le prolongement vers le bas des données du levé de 1966. Cette carte montre des anomalies du type Vine et Matthews bien définies malgré leur faible intensité et rompues par des zones de fractures. L'étude de l'ensemble des résultats a conduit à proposer des schémas cinématiques complexes pour l'ouverture du bassin Algéro-provençal.

LE MOUËL J.L., LE BORGNE E., LE PICHON X. — Aeromagnetic survey of South-Western Europe, *Earth and Planetary Science Letters* 12, 287, 1971.

LE MOUËL J.L., BAYER R., La cartographie magnétique de la partie Sud du Bassin Algéro-Provençal, C.R.A.S. 274, 1291, 1972.

LE MOUËL J., LE BORGNE E. — Observations magnétiques. Le levé aéromagnétique de la Méditerranée occidentale ; partie Sud. *Annales de l'IPG de Paris*, 1972.

LE MOUËL J., GALDEANO A., LE PICHON X. — Remanent magnetization vector direction and the statistical properties of magnetic anomalies. *Geophysical Journal of the Royal Astr. Society*, 30, 353, 1972.

BAYER R. — Anomalies magnétiques et évolution tectonique de la Méditerranée occidentale, Thèse de spécialité — Paris VI, 1974.

GALDEANO A., COURTILLOT V., LE BORGNE E., LE MOUËL J.L., ROSSIGNOL J.C. — An aeromagnetic survey of the S.W. of the Western Mediterranean. Description and tectonic implication, *Earth and Planet. Sc. Let.* 23, 323, 1974.

LE MOUËL J., LE BORGNE E. — A conductivity anomaly in the Western Mediterranean. *G.J.R.A.S.*, 1975.

5 — Géologie structurale

Une carte générale de la Méditerranée et des chaînes périméditerranéennes (I.F.P. — C.N.E.X.O. — I.N.A.G.) a été établie qui présente une interprétation structurale des régions périméditerranéennes et indique les principaux bassins tertiaires (notamment messiniens).

Plusieurs tentatives d'une interprétation de la Méditerranée en termes de tectonique globale ont été faites : elles ont toutes en commun de considérer les bassins océaniques actuels comme des structures jeunes, en tout cas post-alpines.

BIJU-DUVAL B. — Carte géologique et structurale des bassins tertiaires du domaine Méditerranéen : commentaires, *Rev. Inst. Fr. Petr.* 29, 607, 1974.

DEWEY J.F., PITMAN W.C. III, RYAN W.B.C. et BONNIN J. — Plate tectonics and the evolution of the Alpine system, *Geol. Soc. Am. Bull.* 84, 3137, 1975.

AUZENDE J.M., OLIVET J.L. et BONNIN J. — Une structure compressive au Nord de l'Algérie ? *Deep Sea Res.* 19, 149, 1972.

LE PICHON X., PAUTOT G., AUZENDE J.M. et OLIVET J.L. — La Méditerranée occidentale depuis l'Oligocène : Schéma d'évolution, *Earth Planet Sci. Letters* 13, 145, 1971.

LE PICHON X., PAUTOT G. et WEILL J.P. — Opening of the Alboran Sea, *Nature Phys. Sci.* 236, 83, 1972.

AUZENDE J.M., BONNIN J. et OLIVET J.L., The origin of the Western Mediterranean Basin, *J.L. Geol. Soc. Lond.* 129, 607, 1973.

OLIVET J.L., AUZENDE J.M., et BONNIN J. — Structure et évolution tectonique du bassin d'Alboran, *Bull. Soc. Géol. Fr.* XV, 108, 1973.

AUZENDE J.M., OLIVET J.L., et BONNIN J. — Le détroit sardano-tunisien et la zone de traction nord-tunisienne, *Tectonophysics* 21, 1974.

6 — Néotectonique

En ce qui concerne la nature des déformations en Méditerranée occidentale, les résultats les plus nets (Igal, Paris et Montpellier) ont été obtenus en Espagne où on a pu distinguer :

- une compression importante à la limite Serravalien-tortonien qui se traduit par des chevauchements,
- une distension au Miocène supérieur-Pliocène ancien associée au volcanisme important,
- la formation de vastes bombements E-W avec les dénivellations atteignant 1000 m au cours du Miocène terminal-Quaternaire,
- une tectonique cassante en compression au cours du Quaternaire.

La compression prévue par les modèles géophysiques se traduit bien par des déformations quaternaires en compression (failles inverses et décrochantes). En particulier, de grandes failles décrochantes *senestres*, d'âge plio-quaternaire, de direction NE-SW affectent la région d'Alicante et se prolongent probablement en mer du Nord des Baléares. Cette zone de failles actives est jalonnée de séismes.

Enfin les rejeux d'âge Miocène supérieur et Pliocène de la faille du Guadalquivir ont été mis en évidence.

C – ALPES OCCIDENTALES

1 – Géologie structurale

Une mosaïque de photographies prise par le satellite ERTS-1 a été construite (1/1000 000) (I.F.P.) ; quelques régions tests seront étudiées en détail (Languedoc ; Provence ; domaine égéen ; domaine dinarique ; courbure de Gibraltar) ; l'avantage de ce type de document est que la sélection des structures significatives à une échelle donnée est objective, ce qui n'est pas le cas lorsque le point de départ est un levé de terrain.

Avant d'observer l'évolution alpine proprement dite du domaine d'étude, une reconstruction d'une partie de la chaîne hercynienne a été tentée : ceci place des contraintes importantes sur la position des différents blocs avant la dislocation pré-alpine : on a pu ainsi préciser la position de l'Ibérie et du bloc corso-sarde par rapport à l'Europe. L'accident sud-atlasique a fait l'objet d'une étude particulière de laquelle il ressort que le décrochement (d'ailleurs important) est d'âge tardi-hercynien et qu'il est sans doute possible de le retrouver du côté américain dans les Appalaches. Les Alpes elles-mêmes ont été tectonisées en plusieurs étapes : une première phase est d'âge crétacé et donne des structures d'axe E-W ; une seconde phase Eocène supérieur – Oligocène donne des plis de directions variables et est responsable de la schistosité générale : une phase ultérieure produit des chevauchements vers l'Est ou vers l'Ouest suivant les cas. L'ensemble des phases est le résultat du jeu complexe d'une mosaïque de blocs subissant parfois des rotations et séparés par des zones étroites où la déformation est importante ; la région dans son ensemble a subi une contraction N-S.

Enfin, la marge continentale ibérique a été étudiée sur le côté atlantique ; les résultats essentiels sont, d'une part, la mise en évidence de l'importance structurale sur la marge des grands accidents (tardihercyniens ?) qui ont joué en décrochement à un moment de leur histoire ; et, d'autre part, la prolongation des structures émergées sur le plateau continental (notamment des différentes zones des Cordillères bétiques) (voir plus haut).

2 – Sédimentologie

Les formations pélagiques condensées à nodules polymétalliques (sédiments peu ou pas terrigènes, à taux de sédimentation très faible, à encroûtements et/ou nodules polymétalliques) ont permis une étude comparative originale entre dépôts anciens (zone briançonnaise, Sicile) et sédiments actuels (Pacifique central). La difficulté due à l'influence du métamorphisme alpin en zone briançonnaise n'existe pas en Sicile. Il y a des ressemblances entre ces différents sédiments : lacunes de sédimentation, condensation extrême de certaines séries,

présence de nodules polymétalliques très semblables. Mais il existe des différences marquées : les composantes détritiques sont très différentes et donnent une indication sur la proximité des sources ; l'influence du volcanisme, évidente au Pacifique, n'est pas claire en Briançonnais ; la profondeur de dépôt n'est pas encore déterminée en Briançonnais ; faible d'après certains caractères (écologie des organismes fossiles), profondeur de compensation du calcaire . . .), plus grande d'après d'autres éléments (prédominance des radiolaires ; rareté du plancton calcaire . . .).

Les radiolarites et les complexes sédimentaires analogues sont considérés comme les premiers sédiments à déposer sur la croûte océanique (influence du volcanisme sur la teneur en silice du milieu) et constitueraient donc un très bon indice paléogéographique. Ces sédiments ont été étudiés dans le sillon lombard, dans la zone du Pinde et accessoirement dans le Péloponèse, en Turquie, dans le Rif Marocain ; des échantillons recueillis en domaine océanique (DSDP) ont aussi été examinés. Il apparaît en fait que les radiolarites sont de types très variés et correspondent à des zones de sédimentation très diverses ; elles sont paradoxalement caractéristiques d'une absence de sédimentation carbonatée et/ou détritique. La phase siliceuse semble n'être constituée que de quartz ; les interlits pélitiques contiennent des minéraux à cachet "volcanique". Dans les radiolarites massives, Fe prédomine (après Si) sur Al. Le rapport Co/Ni est constant dans les radiolarites massives et dans les interlits et est voisin du rapport observé dans la partie supérieure des séries ophiolitiques. Enfin, il reste à expliquer l'énorme accumulation des sédiments radiolaritiques à certaines époques (en particulier au Jurassique supérieur), c'est notamment le problème de leur rapport avec un volcanisme sous-marin.

Les sédiments détritiques, particulièrement les flyschs, sont étudiés surtout du point de vue sédimentologique. L'étude est engagée sur la série numidienne du Rif marocain ; une première étape sera la détermination de l'âge des zircons, ce qui permettra peut-être de fixer leur origine (précambrienne et saharienne ; ou hercynienne et européenne). Un détail intéressant est que les "tubotomaculum" de la base du Numidien semblent s'apparenter aux nodules polymétalliques des grands-fonds (paléobathymétrie des dépôts ?)

3 – Néotectonique

Algérie

Sur l'Algérie des travaux sont actuellement en cours dans divers laboratoires, sous la direction scientifique de :

– R. GUIRAUD (université d'Abidjan) sur les formations post-nappes de la région de Médéa, sur la géomorphologie et la néotectonique de la région d'Alger et du Nord Constantinois.

– A. CAIRE sur le rhéguisme des Aurès.

Peu de résultats ont été jusqu'ici publiés mais on peut noter la mise en évidence de déformations importantes d'âge fini-pliocène dans le Nord Constantinois (sans que leur nature compressive ou extensive soit précisée) ; les déformations quaternaires y seraient faibles (GUIRAUD).

Tunisie

Les études de tectonique récente ont été menées depuis fort longtemps en Tunisie ; sous la direction de G. CASTANY (B.R.G.M.), R. COQUE (Lab. de Géographie de Poitiers) et A. JAUZEIN (Lab. de Géologie de l'E.N.S.) ont fait en 1965 une excellente mise au point des plissements quaternaires de Tunisie et en ont établi une carte néotectonique au 1/1 000 000^e.

Des travaux récents (1972) ont également porté sur les déformations post-villafranchiennes de Tunisie qui résulteraient d'un glissement général de la couverture vers la

Méditerranée occidentale en cours d'effondrement (BUROLLET, C.F.P. ; LADJMI et BIELY, Service Géol. de Tunisie). Les plissements sont pour ces auteurs la conséquence d'une déformation en extension.

L'arc Calabro-Sicilien

Un travail récent (1971) a été consacré à la Néotectonique de la Calabre et de l'arc Calabro-Sicilien (BOUSQUET, Lab. Géol. Structurale Montpellier). BOUSQUET y a montré l'existence d'une néotectonique en distension qu'il a mise en relation avec l'expansion de la mer tyrrhénienne et la subduction de l'arc calabro-sicilien. Une nouvelle équipe se met en place en Sicile (MASCLE ; Lab. Géol. Structurale Paris VI) ; elle se propose d'étudier les déformations récentes et leurs liaisons avec les zones sismiques et le volcanisme.

Arc égéen

Ces travaux sont entrepris en Grèce depuis 1971 sous la direction de J. MERCIER (Géol. Dyn. Orsay) avec la collaboration de divers laboratoires. Un groupe de sismicité historique se développe en coopération avec TCHALENKO (Imperial College).

Les résultats obtenus portent sur :

a) La nature et la chronologie des déformations récentes sur l'Arc.

— L'individualisation de l'arc égéen externe se produit au Pliocène inférieur ; depuis cette époque l'arc est resté en compression avec une activité marquée au Pliocène inférieur et au Quaternaire (post-Calabrien) ;

— le domaine de la mer Egée qui occupe la position d'une mer marginale par rapport à l'arc a eu une histoire plus complexe : ce domaine subit une extension marquée au Pliocène et en particulier au Pliocène supérieur mais il est soumis à une compression à la limite Plio-pliocène et il émerge. L'extension, marquée de nos jours par une sismicité importante, a repris au Quaternaire moyen-inférieur.

b) La détermination des directions principales des contraintes responsables des déformations de surface.

En faisant un certain nombre d'hypothèses simplificatrices (indéformabilité du matériel contenu entre les plans de fractures...) on peut à partir du mouvement reconnu sur une population de failles déterminer les directions principales des contraintes responsables des déformations néotectoniques. Ceci a été réalisé sur un certain nombre de sites.

R. CABY. — Les plis transversaux dans les Alpes occidentales : implications pour la genèse de la chaîne alpine, *Bull. Soc. Géol. Fr.* (7) p. 624-634.

F. ARTHAUD, P. MATTE. — Les décrochements tardi-hercyniens du Sud Ouest de l'Europe. Géométrie et essai de reconstitution des conditions de la déformation, *Tectonophysics*, 25, 139, 1975.

P. MATTE, R. CAPDEVILA. — La structure de la chaîne hercynienne dans l'Est de la péninsule ibérique, *C.R.A.S.*, 276 D, 2867, 1973.

J.P. BARD et al. — Geotectonic model for the Iberian variscan orogen, *Nature Phys. Sc.* 241, 50, 1973.

H. MALUSKI, M. MATTAUER, P. MATTE. — Sur la présence de décrochements alpins en Corse, *C.R.A.S.*, 276 D, 709, 1973.

M. MATTAUER. — Une nouvelle hypothèse sur la position de la plaque Corso-Sarde avant rotation, in "Palogeografia del Terzanio sardo nell'ambito mediterraneo occidentale" Cagliarati (sous presse)

J.L. MERCIER, B. BOUSQUET, N. DELIBASSIS, I. DRAKOPOULOS, B. KERAUDREN, F. LEMELLE, D. SOREL. — Déformations en compression dans le Quaternaire des rivages ioniens (Céphalonie ; Grèce). Données néotectoniques et sismiques, *C.R.A.S. Paris*, 275 D, 2307, 1972.

L. BLANC-VERNET, C. GUERNET, B. KERAUDREN et J. SAUVAGE. — Sur l'âge des formations levantines et des couches marines superposées dans l'île de Kos (Dodécannèse, Grèce), *C.R.A.S. Paris*, 825, 1972.

O. PEGORARO. — Application de la microtectonique à une étude de néotectonique le golfe Maliaque (Grèce centrale), Thèse U.S.T.L. Montpellier, 1972.

J.L. MERCIER et P. VERGELY. — Comparison between deformation deduced from the analysis of recent faults and from focal mechanisms of earthquakes (an example, the Paphos Region, Cyprus). *Tectonophysics* 19, 315, 1973.

J.L. MERCIER, P.Y. PECHOUX, O. PEGORARO, H. PHILIP. — Déformations mio-pliocènes et quaternaires en extension et en compression sur les rivages du Golfe Maliaque et du Canal d'Atalanti (Egée Grèce). *C.R.A.S. Paris*, 276 D, 1813, 1973.

Ph. MASSON, J.L. MERCIER, J.H. BRUNN. — Essai d'interprétation structurale de la courbure d'Isparta (Turquie) d'après l'examen des images MSS prises par le satellite ERST-1., *B.S.G.F.* sous presse, 1975.

H. PHILIP. — Etude néotectonique des rivages égéens en Locrie et Eubée nord — occidentale (Grèce), U.S.T.L. Montpellier, 1974.

L. FAUGERES et P. VERGELY. — Existence de déformations en compression d'âge quaternaire ancien (Villafranchien supérieur) dans le massif du Vourinos (Macédoine occidentale, Grèce), *C.R.A.S. Paris*, 278 D, 1313, 1974.

E. CAREY et B. BRUNIER. — Analyse théorique et numérique d'un modèle mécanique élémentaire appliqué à l'étude d'une population de failles, *C.R.A.S. Paris*, 279 D, 891, 1974.

LE BLANC-VERNET, H. CHAMLEY, B. KERAUDREN, J. SAUVAGE. — A propos de la limite plio-pléistocène dans les séquences marines de l'île de Rhodes, *C.R.A.S. Paris*, 280 D, 541, 1975.

J.J. DUFAURE, M. H. KADJAR, B. KERAUDREN, J.L. MERCIER, J. SAUVAGE, M. SEBRIER. — Le néotectonique ; ses méthodes, ses buts ; Un exemple l'Arc égéen (Méditerranée orientale), *Bulletin du B.R.G.M.*, sous presse, 1975.

M. SEBRIER, J.J. DUFAURE, M.H. KADJAR, B. KERAUDAN, J.L. MERCIER, J. SAUVAGE. — Néotectonique polyphasée dans la région du golfe de Corinthe et du Nord Péloponnèse, *C.R.S. Soc. Géol. Fr.*, sous presse, 1975.

D — GEOCHIMIE, PETROLOGIE, VOLCANOLOGIE

Des études sur les ophiolites, les ultrabasites alpines et le volcanisme post-orogénique du Massif Central ont été engagées depuis plusieurs années. Dans le domaine, les efforts soutenus par l'INAG ont eu d'une manière générale pour but d'élucider les rapports entre pétrologie-géochimie et géodynamique. Deux thèmes principaux ont été abordés : les associations ultrabasiques et basiques (ophiolites), ces dernières considérées dans leurs rapports avec la croûte océanique, la répartition et l'évolution du volcanisme de la ligne Açores-Gibraltar et du volcanisme périméditerranéen. Les travaux relatifs à la ligne Açores-Gibraltar — Alboran ont été décrits plus haut.

La découverte de complexes de type ophiolitique en Méditerranée occidentale (Afrique du Nord) conduit à abandonner l'idée de deux domaines juxtaposés, mais différents ; l'un à l'Est, la province ophiolitique ; l'autre à l'Ouest, où n'apparaîtraient que des complexes ultramafiques de haute température. L'apparementement supposé entre complexe ophiolitiques et croûte océanique a été fortement confirmé grâce à l'étude pétrologique et structurale des séries ophiolitiques de Turquie et de Corse. Par ailleurs, un modèle de formation de la croûte-lithosphère océanique, fondé sur la géochimie, montre que l'on peut obtenir des complexes ophiolitiques par des processus mis en jeu sur les rides médio-océaniques. Les différents massifs ultrabasiques étudiés montrent une diversité dans la mise en place ; les uns ont une origine assez peu profonde (en particulier quand ils contiennent des gabbros), les autres ont au contraire une origine profonde (péridotites à grenats). La présence éventuelle d'une rétro-morphose en spinelles indique une mise en place particulièrement lente. L'aspect mécanique de la montée des péridotites haute température a conduit à la mise en évidence des mécanismes de déformation du manteau. Enfin, un modèle de manteau est en cours d'élaboration à partir des données géochimiques recueillies sur les complexes de haute température ; ces mêmes données conduisent par ailleurs à une comparaison entre ces complexes et les séries ophiolitiques et permettent de proposer un mode de mise en place pour les complexes ultrabasiques, avec une certaine fusion partielle.

Dans le domaine de la volcanologie, une synthèse chronomagmatologique du volcanisme autour du bassin occidental de la Méditerranée est en préparation ; elle nécessite la collecte d'un grand nombre de données et quelques études ponctuelles ont été entreprises pour compléter le tableau, en particulier pour les datations. Une étude intensive en pétrologie et géochimie a montré que la relation habituellement admise entre nature du volcanisme et zone de subduction, était fortement perturbée dans l'arc italien ; il apparaît nécessaire de faire appel à une très forte contamination par des fluides d'origine crustale pour expliquer cette anomalie.

Il apparaît clairement maintenant que les volcanismes tholéiitique et calco-alcalin dérivent d'un même magma parental : ils diffèrent par le degré de fusion partielle du magma originel. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette différence de comportement, sans qu'il soit possible actuellement de choisir l'une ou l'autre : la fusion partielle a pu intervenir à des profondeurs différentes (grande pour les séries calco-alcalines très faible pour les tholéiites (rides médio-océaniques), ou alors le degré de fusion partielle dépend de la vitesse ascensionnelle du magma parental (rapide pour les séries tholéiitiques ; lente pour le volcanisme calco-alcalin).

Les équipes de C.J. ALLEGRE (Paris VII) et G. ROCCI (Nancy I) ont fait porter leurs efforts sur la Corse, les Alpes occidentales et les chaînes périméditerranéennes.

Constitution et origine

ALLEGRE C.J., MONTIGNY R., BOTTINGA Y. — Cortège ophiolitique et cortège océanique, Géochimie comparée et mode de genèse. *Bull. Soc. Géol. Fr.* 15, 461, 1973.

ANTOINE P., LOUBET M., VATIN-PERIGNON. — Hypothèses nouvelles sur l'origine et la signification des "ophiolites" en domaine permique externe Savoie, Valais. *Géol. Alpine* 49, 21, 1973.

BEBIEN J. — Géochimie des roches volcaniques océaniques : comparaison des volcanismes actuel et ophiolitiques. *C.R.A.S. Paris*, 3111, 1973.

BEBIEN J., OHNENSTETTER D., OHNENSTETTER M., PAUPY A., ROCCI C. — The role of hypabyssal magmatic rocks in our understanding of ophiolite models, *Pétrologie* n° 1 (sous presse), 1975.

JUTEAU T. — Les ophiolites des Nappes d'Antalya (Taurides occidentales, Turquie). *Pétrologie* d'un fragment de l'ancienne croûte océanique téthysienne, Thèse Sciences de la Terre, mémoire n° 32, 1974.

LA PIERRE H. — Les formations sédimentaires et éruptives des nappes de Mamonia et leurs relations avec le massif de Troodos (Chypre), Thèse Université de Nancy I, 1972.

MESORIAN H., JUTEAU T., LAPIERRE H., NICOLAS A., PARROT J.-F., RICOU L.-E., ROCCI G., et ROLLET M. — Idées actuelles sur la constitution, l'origine et l'évolution des assemblages ophiolitiques mésogènes, *Bull. Soc. Géol. France* XV, 478, 1973.

MONTIGNY R., BOUGAULT H., BOTTINGA Y. and ALLEGRE C.J. — Trace element geochemistry and genesis of the Pindos ophiolite, *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 37, 2135, 1973.

NICOLAS A., JACKSON E.D. — Répartition en deux provinces des péridotites des chaînes alpines longeant la Méditerranée. Implications géotectoniques. *Schweiz-Mineral Petrol.* 52, 479, 1972.

OHNENSTETTER M., OHNENSTETTER D., ROCCI G. — Essai de reconstitution du puzzle ophiolitique corse. *C.R.A.S. Paris*, 280, 395, 1975.

ROCCI G., OHNENSTETTER D., OHNENSTETTER M. — Dualité des ophiolites téthysiennes. *Pétrologie*, (sous presse), 1975.

Métamorphisme des séries ophiolitiques ; relation avec la géodynamique alpine

BOCQUET J. — Etudes minéralogiques et pétrologiques sur les métamorphismes d'âge alpin dans les Alpes Françaises, Thèse Grenoble, 1974.

BOCQUET J. — Blue amphibole of Western Alps ; chemistry and physical characters, *Schweiz. Mineral. Petrol. Mitt.*, 54, 425, 1974.

BOCQUET J., DELALOYE M., HUNZIKER J., KRÜMMENACHER D. — K-Ar and Rb Sr dating of blue amphiboles ; micas associated minerals from the Western Alps, *Contr. Mineral. Petrol.* 47, 7, 1974.

CARON J.M., Rapport entre diverses "générations" de lawsonite et les déformations dans les schistes lustrés dans les Alpes cottiennes septentrionales (France et Italie), *Bull. Soc. Géol. Fr.* 16, 255, 1974.

SALLOT P. — Les principales zones de métamorphismes dans les Alpes françaises. Répartition et signification, *C.R.A.S. Paris* 276, 3081, 1973.

VELDE B., KIENAST J.R. — Zonéographie du métamorphisme de la zone de Sésia Lanzo (Alpes piémontaises). Etude des omphacites et grenats de micaschistes éclogitiques à la microsonde électronique, *C.R.A.S. Paris*, 276, 1801, 1973.

Les équipes A. NICOLAS (Nantes), KORNPROBST (Clermont-Ferrand), CONQUERE (Muséum d'histoire naturelle) ont fait avancer le problème de l'origine des ultrabasiques et de leur déformation plastique au cours de leur remontée depuis le manteau supérieur.

Pétrologie des associations ultrabasiques

ANTHONIOZ P.M., VIANA CORREA A. — Inclusions fluides dans la chromite. Cas des chromites podiformes d'âge précambrien en Portugal du Nord-Est. *C.R.A.S. Paris* 278, 399, 1974.

BOUDIER A. — Minéraux serpentiniteux extraits de péridotites serpentinisées des Alpes Occidentales, *Contr. Mineral. Petrol* 33, 331, 1971.

BOUDIER F., NICOLAS A. — Fusion partielle gabbroïque dans la lherzolite de Lanzo (Alpes piémontaises), *Schweiz Mineral. Petrol. Mitt.* 52, 39, 1972.

CONQUERE F. — L'origine des lehrzolitites et roches associées de l'Etang de Lherz (Ariège, France), *C.R.A.S. Paris*, 277, 1589, 1973.

DAROT M. — Méthodes d'analyse structurale et cinématique. Application à l'étude du massif ultrabasique de la Sierra Bermeja. Thèse, Nantes, 1973.

KORNPROBST J. — Contribution à l'étude pétrographique de la zone interne du Rif, Thèse, Paris, 1973.

NICOLAS A., BOUCHEZ J.L., BOUDIER F. — Interprétations cinématiques des déformations plastiques dans le massif de lherzolites de Lanzo (Alpes piémontaises). Comparaison avec d'autres massifs, *Tectonophysics* 14, 143, 1972.

NICOLAS A., BOUCHEZ J.L., BOUDIER F., MERCIER J.C. — Textures, structures and fabrics due to solid flow in some European lherzolites. *Tectonophysics* 12, 55, 1971.

NICOLAS A., BOUDIER F., BOULLIER A.M. — Mechanisms of flow in naturally and experimentally deformed peridotites. *Amer. Journ. Sc. T.* 273, 853, 1973.

NICOLAS A. — Mise en place des péridotites de Lanzo (Alpes piémontaises). Relation avec tectonique et métamorphose alpins. Conséquences géodynamiques. *Schweiz Mineral. Petrogr. Mitt.* 54, 449, 1974.

NICOLAS A., BOUDIER F. — Kinematic interpretation of folds in alpine type peridotites. *Tectonophysics*, 25, 233, 1974.

Les études sur le volcanisme en relation avec la géodynamique ont porté sur deux thèmes principaux. L'un concerne essentiellement les spilites triasiques alpines : équipe de N. VATIN-PERIGNON (Grenoble), l'autre les laves récentes de l'arc éolien et les régions voisines, ainsi que l'arc de Gibraltar au sens large : équipes de R. BROUSSE (Orsay), de M. GIROD (Lyon), S. GUEIRARD (Marseille), de C. DUPUY (Montpellier)

Spilites

AUMAITRE R., BUFFET G. — Minéralogie, pétrographie et géochimie des laves spilitiques et des filons basiques associés au massif des Ecrins-Pelvoux (Alpes françaises occidentales), Thèse, Grenoble, 1974.

VATIN-PERIGNON N., JUTEAU T., LEFORT P. — Les filons du Massif du Pelvoux (Alpes Occidentales). *Géol. Alpine* 48, 207, 1972.

VATIN-PERIGNON N., SHAW D.M. — Comportement du Li et d'autres éléments en traces dans quelques coulées triasiques de l'Aiguille de Morges (Alpes françaises méridionales). Une contribution au problème de l'origine des roches spilitiques, *Géol. Alpine* 50, 153, 1972.

Volcanisme périméditerranéen

ALBAREDE F., BOTTINGA Y. — Kinetic disequilibrium in trace element partitioning between phenocryst and host lava. *Geoch. Cosmoch. Acta* 36, 141, 1972.

BRISSET F., CHEME J.J., VELLUTINI P., VINCENT P.M. — Le "cauldron" de Scandola, nouvelle structure volcanique de Corse, *C.R.A.S.* 279, 1067, 1974.

DELARUE C., BROUSSE R. — Volcanisme miocène en subduction au Maroc à l'extrémité orientale de l'arc de Gibraltar, *C.R.A.S.*, 279, 971, 1974.

DEMANT A., COULON C. — Sur les laves à affinités calco-alcalines au sein d'un volcanisme alcalin plio-quaternaire de la Sardaigne nord occidentale, *C.R.A.S.* 276, 3073, 1973.

DUPUY C., COULON C. — Li, Rb, Ba dans les plagioclases de la suite andésitique du Logudoro et Bosano (Sardaigne Nord occidentale), *C.R.A.S.* 277, 1593, 1973.

DUPUY C., SHAW D., FRATTA M. — Le thallium dans les roches calco-alcalines de Toscane (Italie), *C.R.A.S. Paris*, 276, 1941, 1973.

GIROD M., LEFEVRE C. — A propos des andésites des Açores, *Contr. Mineral. Petrog.* 35, 159, 1972.

KIEFFER G. — Un type important d'éruptions de l'Etna (Sicile) : les effusions latérales lentes, *C.R.A.S. Paris* 277, 1849, 1973.

LEBLANC M. — Le grand dyke de dolérite de l'Anti-Atlas et le magmatisme jurassique du Sud Marocain, *C.R.A.S. Paris*, 276, 2943, 1973.

TANGUY J.C. — Une coulée de trachyte dans l'Etna récent, *C.R.A.S.* 277, 2605, 1973.

TANGUY J.C. — Sur la lave de la récente éruption de l'Etna (30-1 au 29-3 1974), *C.R.A.S. Paris*, 279, 1697, 1974.

VELLUTINI P. — Mise en évidence de deux cycles magmatiques dans le complexe volcanique du Cinto (Corse du Nord-Ouest), *C.R.A.S.*, 276, 913, 1973.

E — OUVERTURE DE L'OCEAN ATLANTIQUE ET DU GOLFE DE GASCogne

Les recherches entreprises par le Laboratoire de Paléomagnétisme (IPGS) et le Laboratoire de Géomagnétisme (UPMC) avaient pour but :

1) de préciser les positions occupées au Permien et au Trias par le continent africain "stable" (craton au sud de la faille sud-atlasique).

2) d'étudier la possibilité de mouvements relatifs de la zone du Maroc au nord de la faille sud-atlasique : au Permien et au Trias d'une part, au Jurassique et au Crétacé d'autre part.

Pour le Permien on obtient des inclinaisons très faibles montrant que le Maroc devait alors être dans la zone équatoriale. Pour le Trias et le Crétacé on a obtenu une série de résultats qui conduisent à une série de problèmes nouveaux.

On peut admettre que le pôle virtuel géomagnétique (PVG) moyen correspondant à l'Amérique du Nord au Trias est bien déterminé (65° N, 97° E). Dans la reconstruction de Bullard on obtiendrait pour le Maroc des latitudes de l'ordre de 18 à 23° N compatibles avec les résultats obtenus : 17° N pour l'Atlas Central et la Meseta (IPGS) et 20 - 23° par d'autres équipes. Mais on sait que l'on obtient à cette époque des valeurs beaucoup plus faibles pour la péninsule ibérique (10° N pour Madrid), et l'Europe de l'Ouest. Ces divergences impliquent une série de mesures complémentaires en cours actuellement. Des divergences comparables sont constatées avec les résultats d'Afrique Australe au Trias et au Crétacé inférieur. Leur confirmation entraînerait des conséquences importantes soit sur les déplacements du Maroc par rapport au craton africain, soit sur la prédominance de la composante dipolaire du champ.

L'importance de la faille sud-atlasique a été soulignée par MATTAUER (LGSM).

HAMZEH R., WESTPHAL M. — Etudes paléomagnétiques de formations volcaniques tertiaires et quaternaires du Maroc Oriental, *Earth and Planetary Sc. Lett.*, 20, 28, 1973.

BARDON C., BOSSERT A., HAMZEH R., et WESTPHAL M. — Etude paléomagnétique de formations du Trias et du Jurassique du Maroc et du Sahara, *C.R. Acad. Sc.* 276 E, 1973.

BARDON C., BOSSERT A., HAMZEH R., ROLLEY J.P. et WESTPHAL M. — Etude paléomagnétique de formations volcaniques du crétacé inférieur dans l'Atlas et du Benni Mellal (Maroc). *C.R. Acad. Sc.*, 277 D, 1973.

MICHARD A., WESTPHAL M., BOSSERT A. et HAMSEH R. — Tectonique de blocs dans le socle atlaso-mésétien du Maroc ; une nouvelle interprétation des données géologiques et paléomagnétiques. *Earth and Planet. Sc. Lett.*, 1974.

HAMZEH R. — Sur l'étude paléomagnétique de formations triasiques et liasiques du Maroc et ses implications pour l'ouverture de l'Atlantique, Thèse 3^e cycle, Strasbourg, 1973.

MATTAUER M., PROUST F., TAPPONIER P. — Major strike-slip fault of late Hercynian age in Morocco. *Nature*, 237, 160, 1972.

L'orientation de la péninsule ibérique au Permien et au Trias relativement à l'Europe stable différerait de 35° environ de l'orientation actuelle ; mais la concordance était rétablie il y a 80 Ma. L'étude des anomalies magnétiques du Golfe permet de fixer entre 110 et 150 Ma la période où est intervenue cette rotation. Rappelons qu'une série d'études concernant l'ouverture du Golfe a fait l'objet d'une importante publication : "Histoire structurale du Golfe de Gascogne", Technip., Paris, 1971, 2 vol.

CHOUKROUNE P., SEGURET M et GALDEANO A. — Caractéristiques et évolution structurale des Pyrénées : un modèle de relations entre zone orogénique et mouvement des plaques. *Bull. Soc. Géolog.* XV, 600, 1973.

F — CHAÎNE ASIATIQUE (ALPES — HIMALAYA)

1 — Iran

Les travaux effectués en Iran par des chercheurs français (USMG, IGAL) en liaison avec le Geological Survey et l'Université de Téhéran portent principalement sur le volcanisme tertiaire et quaternaire et le métamorphisme en rapport avec l'accident du Zagros (massifs du Sahand, Myanch, Sabalan, désert du Lout).

2 — Afghanistan

Le CNRS a établi une mission permanente dans ce pays. En accord avec le gouvernement afghan les recherches sont centrées sur le méridien de Kaboul du Nord de l'Hindou Koush au désert du Radjastan, et portent principalement sur :

- a) l'étude stratigraphique des formations carbonifères, permienues et triasiques en liaison avec l'ouverture de la Tethys,
- b) la haute chaîne de l'Hindou Koush et ses rapports avec le Koh-e-Baba,
- c) Les bassins cénozoïques du nord : Bamyan, Yakoalang,
- d) le volcanisme récent associé à des déformations miocènes (Yakoalang) ou plioquaternaire (Dacht-e-Nawar),
- e) les failles récentes actives ; principalement la faille d'Arghandeh et ses annexes.

Une mise au point bibliographique se trouve dans le fascicule 4 vol. 14. (1972) de la Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique. Les principales publications ultérieures sont les suivantes :

BORDET P., LANG J. — Sur le volcanisme du bassin cénozoïque de Yakoalano (Afghanistan central), *Rev. Géogr. phys. Géol. Dyn.*, 16, 351, 1974.

BORDET P., BOUYX E., (1975). — Données nouvelles sur le volcanoplutonisme tertiaire d'Afghanistan central : le massif du Gulestan (Hindou Koush) *C.R. Somm S.G.F.*, sous presse.

LANG J. — Un modèle de sédimentation molassique continentale en climat semi-aride : bassin intramontagneux cénozoïque de l'Afghanistan central. Thèse UPMC, 1975.

de LAPPARENT A.F. — Relations paléogéographiques de quelques microfaunes crétacées et paléocènes d'Afghanistan. Livre jubilaire A. Desio — Milan, 1972.

de LAPPARENT A.F., PHILIP J., MARIE P., DUFAURE Ph. — La montagne de Parandaz et les transgressions crétacées en Afghanistan central. *B.S.G.F.*, (7), 16, 311, 1974.

LYS M., MARIN Ph. — Sur la présence de foraminifères du Trias supérieur (Norien) dans la série dolomitique d'Afghanistan Central. *C.R.A.S. Paris*, 277, 873, 1973.

LYS M., BOUYX E., de LAPPARENT A.F. — Une coupe du Permien supérieur dans les hauts de Bulola (Hindou Kouch occidental Afghanistan), *Ann. Soc. Géol. Nord.*, 93, 219.

MERIAUX E. — Note pétrographique sur un charbon gondwanien d'Afghanistan Central. *Ann. Soc. Géol. Nord.*, sous presse, 1973.

NGYEN HUU VAN, LANG J., ELBEZ G., LALOU Cl., LUCAS G. — Existence d'un déséquilibre élevé entre les isotopes de l'uranium. Influence sur la datation des travertins de Bamian (Afghanistan Central) par la méthode $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ *C.R.A.S. Paris*, 276, 2233, 1973.

PIAS J. — Signification de la présence de pollens de chénosporiacés dans les croûtes et encroûtements calcaires du Quaternaire récent d'Afghanistan. *C.R.A.S. Paris*, 276, 2509, 1973.

PIAS J. — Pédogénèses et accumulations calcaires successives en Afghanistan au cours des quarante derniers millénaires. *C.R.A.S. Paris*, 278, 2625, 1974.

TERMIER G., TERMIER H., MARIN Ph., DESMARET R., de LAPPARENT A.F. — Données nouvelles sur la transgression glacio-eustatique permocarbonifère (Gzhelien-Sakmarien) en Afghanistan central. *C.R.A.S. Paris*, 276, 943, 1973.

TERMIER H., TERMIER G., DESPARMET R., MONTENAT Ch. — Les ammonoïdes du Permien (Kubergandien) de Tezak (Afghanistan Central). *C.R.A.S. Paris*, 92, 105, 1972.

TERMIER G., TERMIER H., de LAPPARENT A.F., MARIN Ph. — Monographie du Permo-carbonifère du Wardak (Afghanistan Central), Doc. Lab. Geol. Fac. Sc. Lyon, H.S. 2, 149 p., 38 Pl., 1974.

3 — Népal

Les travaux poursuivis au Népal par l'équipe française (RCP 253) ont surtout pour but un essai d'interprétation structurale de la chaîne himalayenne. Ces travaux ont porté principalement sur la transversale de Kali Gandaki :

1) Etude de la série stratigraphique de la zone tibétaine et de sa semelle de terrains cristallophylliens. Cette série n'affleure que dans le Népal central et est généralement peu accessible. Les recherches ont été poursuivies à la fois sur le plan de la paléontologie et de la microstructure. (J.P. BASSOULET, M. COLCHEN).

2) Zone de la grande faille centrale (M.C.T.) : recherches pétrographiques et structurales. Celles-ci ont conduit à l'élaboration d'un modèle structural applicable à l'Himalaya en général (P. LE FORT, A. PECHER).

Par ailleurs, M. BRUNEL reprend pour la région située à l'Est de Katmandou l'interprétation en grandes nappes de charriage.

3) Dans le moyen pays népalais, on a découvert des plantes fossiles dans une série attribuable à la couverture stratigraphique de la série de Kunsha. Cette découverte est susceptible de fournir une base nouvelle à l'interprétation géologique de cette partie de la chaîne (M. MASCLE, A. PECHER). Les "gneiss" du moyen pays ont été interprétés comme une série volcano-sédimentaire (A. PECHER).

4) Népal occidental. Une carte géologique au 1/500 000 du Népal occidental, établie par J.M. REMY et synthétisant ses observations, sera prochainement éditée par le C.N.R.S.

BORDET P., COLCHEN M., LE FORT P. — Some features of the Annapurna Range, Nepal, Himalaya. *Himalaya Geology*, 2, 537, 1972.

BORDET P. — On the position of the Himalayan main central thrust within Nepal Himalaya, N.G.R.I. Sem. Geodyn. Himal. Reg., p. 148-55 (Hyderabad), 1973.

BORDET P., COLCHEN M., LE FORT P. — Recherches géologiques dans l'Himalaya du Népal, région de Nyi-Shang. Ed. CNRS Paris, sous presse, 1975.

BRUNEL M. — La nappe du Mahabarat — Himalaya du Népal Central, *C.R.A.S., Paris*, 280, 551, 1975.

COLCHEN M. — On paleogeographic and structural evolution of the tibetan area of the nepalese Himalaya. *Himalayan Geology* 6, sous presse, 1974.

LE FORT P. — La chaîne himalayenne et la dérive des continents, *Rev. Geogr. Phys. Géol. Dyn.*, 13, 5, 1972.

LE FORT P. — The anatexitic himalayan leucogranite with emphases on the Manasen tourmaline granite, *Recent Research in Geol.*, 11, sous presse (Delhi), 1974.

LE FORT P. — Les leucogranites à tourmaline de l'Himalaya sur l'exemple du granite du Manaslu (Népal Central). *Bull. Soc. Geol. France*, 15, 555, 1974.

LE FORT P. — Himalayan. The collided Range. *Journ. Geol.*, sous-presse, 1975.

LE FORT P., PECHER A. — Les gneiss ocellés du moyen pays nepal : un ensemble volcano-sédimentaire acide d'âge paléozoïque ou plus ancien en Himalaya. *C.R.A.S. Paris*, 278, 3283, 1974.

REMY J.M. — Résultats de l'étude géologique de l'Ouest du Népal (Himalaya). Analyse structurale et présentation d'une carte géologique. *C.R.A.S. Paris*, 275, 2595, 1972.

REMY J.M. — La formation de Salvane dans l'Ouest du Népal, *C.R.A.S. Paris*, 276, 1653, 1973.

REMY J.M. — Etude géologique et pétrographique de la nappe de Népal dans la région de Dailek Jumla Ouest du Népal. *C.R.A.S. Paris*, 277, 821, 1974.

REMY J.M. — Geology of West Nepal, *Geol. Surv. India*, Calcutta, p. 99-100, 1974.

REMY J.M. — Le métamorphisme et ses divers types dans l'Ouest du Népal (Himalaya), *C.R.A.S. Paris*, 279, 461, 1974.

IV – GEODYNAMIQUE DES RIFTS CONTINENTAUX ET OCEANIQUES

A – RIFTS CONTINENTAUX EN FRANCE

a) Structures

Depuis 1970 plusieurs profils de sismique réflexion et réfraction, formant un réseau, ont été levés pour l'acquisition de données nouvelles sur la structure de la croûte sous le système de dépressions tertiaires de l'Est et du Centre de la France. (LEGSP, IPGP ; IPGS : opération Grands profils sismiques INAG).

La caractéristique essentielle de la Limagne, du Sud du Fossé Rhénan et du Sud de la vallée du Rhône à l'Ouest d'Arles, est la faible profondeur de 24 km trouvée pour le Moho.

La couverture sédimentaire étant importante, ceci correspond à un amincissement de 25 à 45 % de la croûte non sédimentaire sous ces graben par rapport à l'épaisseur de 30 à 32 km caractérisant les massifs hercyniens voisins.

L'existence d'au moins un réflecteur intracrustal est bien établie. Une différence notable de sa profondeur sous le graben et sous les flancs peut exister.

Les arguments en faveur de l'existence d'une ou plusieurs couches à faible vitesse dans la croûte, reposant sur l'interprétation de données trop peu nombreuses dans le Fossé Rhénan ou la région entre le Rhône et les Alpes, sont maintenant très affaiblis.

En dehors de ces caractères communs des différences existent cependant. Ainsi les réflecteurs intracrustaux, qui sont assimilables à des discontinuités de vitesses dans la Vallée du Rhône, peuvent être interprétés comme des zones de transition à fort gradient de vitesse dans le Fossé Rhénan.

Le Moho lui-même, limitant vers le bas les roches où la vitesse des ondes P est inférieure à 7 km/s, est considéré comme une zone de transition de quelque 5 km d'épaisseur sous le Fossé Rhénan : la vitesse de 8,0 km/s caractérisant un manteau supérieur normal est atteinte à la base de cette zone. Par contre sous la Limagne et la Chaîne des Puys, des roches de vitesse 7,4 à 7,8 km/s semblent occuper une épaisseur de plusieurs dizaines de kilomètres sous la croûte.

S'il est général que la croûte sous les graben soit plus mince que celle qui a été conservée dans les autres parties de la chaîne hercynienne, les différences dans la structure fine de la croûte et du manteau supérieur peuvent avoir une relation avec des différences d'âge ou d'importance des phénomènes d'extension ou de position géographique par rapport à d'autres phénomènes tectoniques majeurs.

L'étude de la croûte dans ces régions est une étape indispensable mais qui apparaît insuffisante pour la compréhension complète des phénomènes. Dans aucun cas l'épaisseur de la croûte, les vitesses dans la croûte et la vitesse immédiatement sous Moho ne permettent d'expliquer d'une façon suffisante les anomalies du champ de pesanteur dont une partie doit donc être attribuée à des différences de masses dans le manteau. Dans le cas du Massif Central et de la Limagne un essai d'explication de ces anomalies a été tenté en faisant appel à la variation de profondeur d'interfaces dans la lithosphère inférieure et même de l'interface lithosphère-asthénosphère.

Rhinegraben Research Group for Explosion Seismology : "The 1972 Seismic Refraction Experiment in the Rhinegraben - First Results" in "Approaches to taphrogenesis" ed. Illies and Fuchs ; I.U.G.G. Scientific Report n° 8, p. 122-137, 1974.

EDEL J.B., FUCHS K., GELBKE C. and PRODEHL C. - "Deep Structure of the Southern Rhinegraben area from Seismic Refraction Investigations". *Zeitsch. f. Geoph.* 41, (sous presse), 1975.

HIRN A. and PERRIER G. - "Deep Seismic Sounding in the Limagne Graben" in "Approaches to Taphrogenesis", ed. Illies and Fuchs. I.U.G.G. Scientific Report n° 8, p. 330-340, 1974.

PERRIER G. et RUEGG J.C. - "Structure profonde du massif Central français". *Ann. Géophys.*, 29, 435, 1973.

SAPIN M. and HIRN A. - "Results of Explosion Seismology in the Southern Rhône Valley". *Ann. Géophys.* 30, 181, 1974.

EDEL J.B. - 1975. Structure de la croûte terrestre sous le fossé rhénan et ses bordures. Thèse U.L.P. Strasbourg.

b) Nivellement

- En 1971, en liaison avec l'Institut de Physique du Globe de Clermont-Ferrand, le service de Nivellement de l'Institut Géographique National a réalisé 4 profils de nivellement de précision dans la Limagne.

Cette même année un autre profil de très haute précision a été exécuté dans la plaine d'Alsace sur une longueur de 64 km ; en 1972, un deuxième profil d'une longueur de 50 km partant de Münster aboutit au pont de Neufbrisach.

Tous les profils ont été exécutés avec de grandes précautions opératoires, au moyen de niveau Ni004, la précision obtenue correspond à une erreur probable kilométrique de 0,4 mm.

B - RIFTS OCEANIQUES

L'effort a porté d'une part sur les dorsales de l'Océan Indien Austral et la zone de l'Afar, d'autre part sur la dorsale médioatlantique.

1 - Océan Indien

a) Synthèse de travaux effectués dans l'Océan Indien entre 1967 et 1974

Une synthèse générale pour l'Océan Indien Occidental a été préparée à partir de l'ensemble des données géophysiques et géologiques recueillies par le laboratoire de géophysique marine de l'IPGP (R. SCHLICH, 1974). Ce travail présente une analyse critique des données recueillies depuis 1960 sur les plateaux et rides aséismiques, les dorsales actives et les bassins océaniques associés et la structure des bassins de Crozet, de Madagascar et des Mascareignes. Il retrace les principaux événements qui ont marqué l'histoire géologique de ces bassins depuis le Crétacé supérieur en utilisant les forages profonds du Glomar Challenger dans l'Océan Indien Occidental. La confrontation des résultats géophysiques et géologiques conduit à définir pour le Crétacé supérieur et le Paléogène, une nouvelle échelle chronologique des inversions du champ magnétique terrestre.

b) Forages profonds du Glomar Challenger dans l'Océan Indien Occidental (R. SCHLICH, J. WOLEJSZO et J. SEGOUFIN, IPGP)

Les données géophysiques et géologiques recueillies au cours de la 25^e campagne ont été entièrement exploitées et interprétées et ont été publiées dans le Vol. 25 des "Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project" (mai 1974). La contribution française représente au moins 50 % de ce volume.

SCHLICH R. - Structure et âge de l'Océan Indien Occidental (Thèse UPMC), 1974.

SCHLICH R., FONDEUR C. - Anomalies magnétiques crétacées dans le bassin des Mascareignes, *C.R.A.S.*, 278, 541, 1974.

SCHLICH R. et PATRIAT Ph. - Anomalies magnétiques de la branche Est de la dorsale médio-indienne entre les îles Amsterdam et Kerguelen. *C.R.A.S.* 272, 773, 1971.

Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, vol. 25, 1974 – (SCHLICH, SIMPSON et VALLIER : Introduction – SCHLICH et al. : Sites 239, 240, etc. 249 ; – WOLEJSZO, SCHLICH et SEGOUFIN ; Paleomagnetic studies of basalt from D.S.D.P. Leg 25 ; SCHLICH, Sea floor spreading history and deep sea drilling results in the Madagascar and Mascarene Basins, Western Indian Ocean ; SCHLICH, SIMPSON et VALLIER ; Regional aspect of Deep Sea Drilling in the western Indian Ocean, Leg 25, D.S.D.P. ; SCHLICH ; Bathymetric, magnetic and seismic reflection data, D.S.D.P., Leg 25 ; Appendix 1).

2 – Afar

La dépression Afar, au carrefour de trois systèmes de cassures crustales (Golfe d'Aden, Mer Rouge et Fossés Africains) est une des régions les plus favorables à l'étude des différents stades de l'évolution d'un rift et des mécanismes qui accompagnent sa formation.

Depuis 1967, différentes études géologiques, tectoniques et pétrologiques, menées notamment dans le cadre de la RCP 180 du C.N.R.S., ont permis l'élaboration d'un schéma explicatif cohérent de la structure superficielle de l'Afar et de ses relations avec les systèmes tectoniques voisins.

Après la phase initiale d'exploration géologique de l'Afar, terminée en 1972 et qui s'est concrétisée par la publication de deux cartes géologiques : celle du nord (1971) et celle du Centre-Sud (1975), les études ont permis de préciser les phases successives de l'évolution géodynamique de cette région au moyen de datations radiométriques. Il apparaît qu'à la suite de son ouverture au Miocène, l'Afar est caractérisé au cours des trois derniers millions d'années par une intense activité basaltique et tectonique.

Les magmas émis au cours de cette période, et en particulier les plus récents, ont été étudiés tant au point de vue minéralogique et pétrologique que du point de vue géochimique et isotopique, en relation avec leur position tectonique. Des structures analogues aux vallées axiales océaniques et aux zones de fracture ont ainsi pu être identifiées.

Une attention particulière a été portée aux problèmes de genèse des magmas basaltiques et de leur fractionnement vers les produits pantelléritiques. En tectonique, le problème de l'expression de surface des vallées axiales et des zones transformantes a été étudié. Les déformations les plus récentes ont pu être mesurées par l'étude des dépôts lacustres et marins.

Depuis 1971, diverses études géophysiques ont été entreprises par l'Institut de Physique du Globe de Paris dans le Territoire Français des Afars et des Issas (TFAI) dans la partie SE de l'Afar :

a) Grands Profils sismiques

Une campagne de sismologie expérimentale réalisée dans le cadre de l'opération Grands Profils Sismiques de l'Institut National d'Astronomie et de Géophysique, en 1971, a permis de montrer que la structure profonde du T.F.A.I. présentait une parenté très nette avec celle des dorsales médio-océaniques :

- la croûte d'épaisseur comprise entre 6 et 10 km, composée de trois couches $V_p = 3.9 \pm 0.1, 4.2 \pm 0.3, 6.3 \pm 0.2$ km/s, est de type océanique.

- le manteau est anormal. La vitesse est comprise entre 6.8 et 7.0 km/s au sommet et augmente ensuite progressivement avec la profondeur jusqu'à 7.1 à 13 km et 7.4 km/s vers 25 km.

- la vitesse des ondes S est anormalement basse et le coefficient de Poisson élevé, notamment dans le manteau, indique la possibilité de fusion partielle à faible profondeur.

- l'interprétation d'ondes tardives de basse fréquence suggère la présence d'une zone d'inversion de vitesse entre 30 et 50 km de profondeur.

b) Réseau de stations sismologiques

Un réseau de 6 stations reliées par voie hertzienne à la station centrale d'Arta a été mis

en place progressivement depuis 1972. Il permet la détermination précise des épices dans le Golfe de Tadjoura et son extension permettra une bonne détermination dans les zones environnantes.

c) Etudes sismo-tectoniques complémentaires

– Bathymétrie du Golfe de Tadjoura et du Ghoubbet avec l'aide de la Marine Nationale (1973-1974).

– Etude de modèles mécaniques (COURTILLOT, TAPPONIER, VARET)

– Etude de microsismicité du Rift Asal-Ghoubbet. Installation d'un réseau de 4 stations temporaires (déc 74-janv. 75) pour l'étude de la microsismicité et la détermination des failles actives.

d) Gravimétrie

Un programme de mesures de pesanteur autour du rift d'Asal a été entrepris en 1973 et 1974 pour une étude détaillée des anomalies de gravité près de la zone active d'expansion.

e) Géodésie

A la demande de l'I.P.G.P., l'Institut Géographique National a implanté début 1973, un réseau de 22 repères géodésiques et effectué 110 km de nivellement de grande précision autour du rift d'Asal. La répétition des mesures à quelques années d'intervalle permettra d'étudier la déformation des différents blocs tectoniques au cours du temps, de préciser la grandeur et la direction des mouvements relatifs d'expansion et d'exhaussement et de les relier au schéma général de la dérive des blocs arabe et africain.

Un levé géologique au 1/100 000 de la moitié sud du T.F.A.I. a été réalisé parallèlement à l'étude hydrogéochimique des sources thermales, dans le cadre des recherches d'énergie géothermique menées depuis 1970 par le B.R.G.M.

Ces études ont notamment apporté un certain nombre d'éléments nouveaux concernant la tectonique et la géochimie des sources du rift Asal-Ghoubbet El Kharab.

a) Tectonique

Le rift est encadré par des coulées basaltiques datant de 1 Ma ; à l'intérieur les marges du rift sont caractérisées par un volcanisme datant de 1 Ma à 30 000 ans. La vallée axiale est constituée par les laves à andésine et des ferro-basaltes (âge inférieur à 5 000 ans) dont l'émission est liée à la tectonique distensive.

Cette tectonique est encore active : la vitesse actuelle d'ouverture du rift serait de 1,5 à 2 cm par an.

Dans la partie axiale, l'étude des formations marines quaternaires a permis de montrer l'existence d'un bombement local d'origine volcano-tectonique se superposant au soulèvement régional. Des considérations pétrologiques ont permis d'établir que ce bombement – qui est à l'origine de la création du bassin endoréique d'Asal – est dû à la montée d'une intrusion magmatique directement liée au manteau supérieur anormal.

b) Géochimie des sources thermales

Le fond du bassin d'Asal (– 154 m) est occupé par un lac de saumure chlorurée sodique (salinité moyenne 340 g/l), alimenté par deux groupes de sources :

1) La contribution la plus importante est formée par les sources de la rive sud-est constituées par de l'eau de mer s'infiltrant par le système de fractures ouvertes affectant la vallée axiale du rift.

2) Les sources thermales situées sur les autres rives sont constituées, en dépit de la salinité élevée, par de l'eau d'origine météorique, qui, au cours de son circuit souterrain, serait portée à des températures élevées (au minimum 150°), et s'enrichirait en sels par lessivage et altération des roches encaissantes.

BARBERI F., BIZOUARD H., and VARET J. — Nature of the clinopyroxenes and iron enrichment in alkalic and transitional basaltic magmas. *Contr. Mineral. Petrol.* 33, 93, 1971.

BARBERI F. et al. — Carte géologique de la dépression des Danakil (Afar septentrional, Ethiopie) C.N.R.S.-C.N.R., au 1/500.000°. Géotechnip, La Celle-Saint-Cloud, 1971.

TAZIEFF H. — Sur la tectonique de l'Afar central. *C.R. Ac. Sc. Paris*, 272, 1055, 1971.

TAZIEFF H., VARET J., BARBERI F., GIGLIA G. — Volcanism of the Afar triangle, and its tectonic and magmatic significance. *Nature*, 235, 144, 1971.

TREUIL M., BILLHOT N., VARET J., et BARBERI F. — Distribution of Nickel, Copper and Zinc in the volcanic series of Erta Ale, Ethiopia, *Contr. Mineral. Petrol.*, 30, 84, 1971.

BARBERI F. et al. — Evolution of the Danakil depression (Afar, Ethiopia) in light of Radiometric age determinations, *J. Geol.*, 80, 720, 1972.

BARBERI F., CHEMINÉE J.L., VARET J. — Long-lived lava lakes of Erta Ale volcano (Danakil depression, Ethiopia). *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 15, 347, 1972.

BARBERI F., VARET J. et al. — Carte géologique de la chaîne de l'Erta Ale (dépression des Danakil, Ethiopie). C.N.R.S. — C.N.R. au 1/100.000°. Geotechnip., La Celle-Saint-Cloud, 1972.

TAZIEFF H., BARBERI F., VARET J. — Volcanism in the Afar triangle, and its tectonic and magmatic significance. *Tectonophysics*, 15, 19, 1972.

TAZIEFF H., CARBONNEL J., LEGUERN F., ZETTWOOG P. — Fluctuation des gaz éruptifs du volcan Erta Ale (Afar, Ethiopie), *C.R. Ac. Sc. Paris*, 274, 1003, 1972.

ZETTWOOG P., CARBONNEL J., LE GUERN F. et TAZIEFF H. — Mesures de transferts d'énergie et de transferts de masse au volcan Erta Ale (Afar, Ethiopie). *C.R. Ac. Sc. Paris*, 274, 1265, 1972.

BARBERI F. et al. — Geology of northern Afar (Ethiopia). *Rev. Géogr. Phys. et Géol. dyn.* 15, 443, 1973.

FAURE H. — Cadre morphotectonique mégamétrique de l'Afar. *Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn.*, Paris, XV, 387, 1973.

FAURE H. HOANG T.C. et LALOU C. — Structure et Géochronologie (230/Th/234U) des récifs coralliens soulevés à l'Ouest du Golfe d'Aden (T.F.A.I.). *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn. Paris*, XV, 393, 1973.

HOANG C.T., FAURE H. et LALOU C. — Les récifs soulevés à l'Ouest du Golf d'Aden (T.F.A.I.) et les hauts niveaux de coraux de la dépression de l'Afar (Ethiopie). Géochronologie et paléoclimatologie interglaciaires. in : Coll. Internat. C.N.R.S. n° 219. "Les méthodes quantitatives d'étude des variations du climat au cours du Pléistocène", p. 103-114, 1973.

MARINELLI G., et VARET J. — Structure et évolution du Sud "Horst danakil" (Ethiopie et T.F.A.I.) *C.R. Ac. Sc. Paris*, 276, 1119, 1973.

TREUIL M. et VARET J. — Critères volcanologiques, pétrologiques et géochimiques de la genèse et de la différenciation des magmas basaltiques : exemple de l'Afar. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 15, 506, 1973.

BARBERI F., BONATTI E., MARINELLI G. and VARET J. — Transverse structures during the split of a continent : data from the Afar rift. *Tectonophysics*, 23, 17, 1974.

BARBERI F. and VARET J. — Afar recent volcanic units and their structural significance, Symposium on the Afar region, (sous presse), 1974.

BARBERI F., FERRARA G., SANTACROCE R., and VARET J. — Structural evolution of the Afar triple junction. Symposium on the Afar region, (sous presse), 1974.

BARBERI F., and VARET J. — Nature of the Afar west : a discussion, Symposium on the Afar region, (sous presse), 1974.

COURTILLOT V., TAPPONNIER P. and VARET J. — Evolution of the surface expression of transform faults. *Tectonophysics*, 24, 317, 1974.

FAURE H. — Coastal deformation and the Afar geodynamic model. In Afar Monograph., Symposium on the Afar Region of Ethiopia and Related rift problems. A. Pilger ed., 1974.

INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL — Implantation d'un réseau géodésique pour la mesure directe de l'expansion d'un rift océanique (1975).

LEPINE J.C., RUEGG J.C. — Premiers enseignements de la crise sismique survenue dans la région de Djibouti. *C.R.A.S.*, 277 D, 33, 1973.

RUEGG J.C. — Main results about the crustal and upper mantle structure of the Djibouti region (T.F.A.I.) Symposium on the Afar region (à paraître), 1974.

RUEGG, J.C. — Structure profonde de la croûte terrestre au moyen de grands profils sismiques. Application à l'étude des zones de distension. S.E. Afar et Massif Central Français. Thèse U.P.M.C., 1974.

TAPPONNIER P. et VARET J. — La zone de Mak'arrasou en Afar ; un équivalent émergé des failles transformantes océaniques, *C.R. Ac. Sc., Paris*, 278, 209, 1974.

TREUIL M. — Trace elements geochemistry of recent volcanic rocks of Afar. Symposium on the Afar region (à paraître), 1974.

BARBERI F., SANTACROCE R. and VARET J. — Silicic peralkaline volcanic rocks of the Afar depression. *Bull. volcanol.* special issue on Peralkaline oversaturated rocks, 1975.

ROUX J. and VARET J. — Alkali feldspar liquid equilibrium relationships in peralkaline oversaturated systems and volcanic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 49, 67, 1975.

BAYER R., COURTILOT V., DAIGNIERES M. et TAPPONNIER R. — Dorsales médio-océaniques : un modèle évolutif de la zone axiale. *C.R.A.S.*, 276 D, 2765, 1973.

BONATTI E., HARRISON C.G.A., STIELTJES L. — Tectonism of axial valleys in spreading centers : data from the Afar rift. *Afar Symposium Monograph*, Bad Bergzabern, 1974.

DELIBRIAS G., MARINELLI G., STIELTJES L. — Spreading rate of the Asal rift ; a geological approach. *Afar Symposium Monograph*, Bad Bergzabern, 1974.

DEMANGE J. DI PAOLA M., STIELTJES L. — Géologie de la région sud-ouest du T.F.A.I. (territoire français des Afars et des Issas) : région Lac Abbe — Lac Asal — Carte géologique à 1/100 000. En cours d'impression.

3 — Dorsale médio-Atlantique

a) *Projet Famous*

Ce programme de coopération franco-américaine porte sur l'étude détaillée d'une partie de la dorsale médio-atlantique, vers 36° 50'N, comprenant le plancher de la vallée centrale et une faille transformante (faille A).

Deux campagnes ont été menées en 1973 et en 1974 comportant des plongées du bathyscaphe "Archimède" et du submersible "Cyana". Elles ont comporté en particulier une exploration visuelle du fond sous-marin et des prélèvements d'échantillons de roche.

L'étude du Rift montre que plusieurs cycles tectoniques et volcaniques peuvent se suivre en liaison intime avec la variation dans le chimisme des laves dans les directions tant parallèle que transverse aux structures principales. Le mode d'extension de la croûte est par dykes et par fissures ouvertes ou émissives dans le plancher et par failles normales dans les murs. La zone tectonique active s'étend jusqu'à une largeur totale d'au moins 8 km alors que la zone volcanique active est limitée de 1 à 3 km. La présence de divers types de roches peut être expliquée par un modèle incorporant un accès épisodique à des chambres magmatiques situées sous la partie axiale du Rift.

L'étude par submersible de la faille transformante a conduit à une révision profonde des idées communément admises sur la géologie et la tectonique des failles transformantes ainsi que sur le mode de mise en place des roches ignées obtenues par dragages.

L'étude pétrologique et géochimique (éléments majeurs et éléments de transition) des échantillons dragués en 1972 pendant la campagne Midlante a permis de distinguer quatre types de basaltes tholéitiques : "basaltes picritiques", "basaltes à olivine", "basaltes à plagioclase" et "basaltes à pyroxène".

Se servant des coefficients de partage des éléments de transition obtenus par analyse des minéraux séparés et d'un modèle de cristallisation fractionnée, il est possible de montrer que "basaltes à plagioclase" et "basaltes à olivine" ne dérivent pas d'un même magma. Suivant ce modèle, les basaltes à pyroxène pourraient être considérés comme un produit de fin de cristallisation à partir d'un magma ayant donné naissance soit à des "basaltes à plagioclase", soit à des "basaltes à olivine".

NEEDHAM H.D. and J. FRANCHETEAU — Some characteristics of the Rift Valley in the Atlantic Ocean near 36° 48' North. *Earth Planet. Sc. Letters*, 22, 29, 1974.

HEKINIAN R., M. CHAIGNEAU and J.L. CHEMINEE — Popping rocks and lava tubes from the Rift Valley at 36° N in the Atlantic Ocean. *Nature*, 245, 371, 1974.

HEIRTZLER J.R. and X. LE PICHON. — Famous : a plate tectonic study of the genesis of the lithosphere plates. *Geology*, 2, 273, 1974.

HEKINIAN R., and M. HOFFERT. — Rate of palagonitization and manganese coating on basaltic rocks from the Rift Valley in the Atlantic ocean near 36° 50'N. *Marine Geol.*, in press.

BOUGAULT H., HEKINIAN R. — Rift valley in the Atlantic Ocean near 36° 50'N: Petrology geochemistry of basaltic rocks. *Earth Planet. Sc. Letters*, 24, 240, 1974.

BELLAICHE G., J.L. CHEMINEE, J. FRANCHETEAU, R. HEKINIAN, X. LE PICHON, H.D. NEEDHAM, R.D. BALLARD. — Rift Valley's Inner Floor : Frist Submersible Study. *Nature*, 250, 558, 1974.

EQUIPE ARCYANA. — Transform fault and Rift Valley geology by bathyscaphe and diving saucer, *Science*, in press.

LE PICHON X. — Bilan scientifique préliminaire de la participation française à l'opération Famous. Colloque de Bordeaux, CNEXO, sous presse.

b) Structure profonde de la région des Açores

Trois profils de tirs ont été enregistrés en 1974 sur des stations installées par le LEGSP (IPGP) sur les îles de Flores, Graciosa, Terceira et Sao Miguel, au voisinage de la dorsale médio-Atlantique au Nord des Açores ; un profil de 400 km de long à partir de Flores vers le Nord à 135 km à l'Ouest de la dorsale, un profil de 220 km à 55 km seulement de celle-ci et un profil transversal entre Graciosa et Flores. Des sismographes au fond de l'Océan (I.O.S., Dr Whitmarsh) ont été utilisés dans cette opération.

On peut conclure à la présence d'une couche de vitesse 6,5 km/s surmontant, vers 5 km sous le fond de la mer, un milieu de vitesse 7,5 au sommet, une vitesse supérieure à 8,0 km/s n'est atteinte que 5 km plus bas.

On peut conclure des observations qu'il existe une zone de forte absorption des ondes P dans la partie axiale de la dorsale médio-atlantique. La largeur au sommet de cette zone, dont les limites latérales sont bien définies, est de l'ordre de 50 km ; elle commence vers 6 km sous le fond de la mer. On peut rapprocher ces observations de celles faites à partir d'ondes S de séismes proches de la dorsale, montrant une zone à faible facteur de qualité Q interprétée comme zone de forte fusion partielle.

On peut penser par contre que, à 135 km de la dorsale, la lithosphère inférieure est déjà suffisamment épaisse et probablement stratifiée pour permettre la propagation vers Flores d'ondes depuis plus de 350-400 km de distance. La comparaison des différents profils confirme une variation rapide de la structure du manteau supérieur avec la distance à la dorsale et donc l'âge.

V – PROPRIETES PHYSIQUES DES MATERIAUX

1. Des transitions polymorphiques ultrarapides (temps de l'ordre de la milliseconde) ont été obtenues (1) sur des halogènes alcalins après traitement thermique convenable ou par hétérogénéité. Le taux de transformation a dépassé 40 % dans le cas de monocristaux. Ces transformations peuvent s'accompagner de saccades.

2. Le laboratoire de Géologie structurale de Nantes a poursuivi ses études de la déformation de roches provenant du manteau : massifs de péridotites, inclusions ramenées par les basaltes et les kimberlites.

L'activité du laboratoire a d'abord porté sur l'étude des échantillons naturels et sur la reproduction expérimentale de leur structure en vue de l'interprétation des mécanismes de la déformation. Contre l'opinion prévalant à l'époque, on a ainsi mis en évidence le rôle primordial de la déformation plastique (glissement et montée des dislocations) dans le fluage des roches du manteau supérieur (2, 3, 4) ; l'écoulement superplastique, dans le manteau supérieur le plus profond échantillonné par des inclusions de kimberlites (200 km), a aussi été signalé pour la première fois, localement (8, 13) ; un nouveau mécanisme de recristallisation est proposé (12).

Un second volet de l'activité concerne l'interprétation en terme de *fluage à grande échelle* des structures des échantillons naturels. Dans le cas de massifs de péridotites engagés dans la chaîne alpine, ces études précisent la cinématique des plaques dont la collision a engendré la chaîne (3, 10, 17) ; dans le cas des inclusions de basaltes et kimberlites, elles éclairent sur la répartition spatiale du fluage dans le manteau (5, 6, 8, 16, 19) avec, dans le cas des inclusions de kimberlites où les conditions P.T. d'équilibre au sein du manteau sont mieux connues, la possibilité de construire des *modèles rhéologiques* relativement précis (9, 11, 18). Le modèle de FROIDEVAUX et SCHUBERT (15) qui est plus général, intègre aussi certaines de ces données.

Grâce à de nouvelles mesures expérimentales, l'interprétation de l'anisotropie sismique océanique en termes de fluage plastique permet de connaître la direction principale du fluage dans le manteau supérieur océanique sous-jacent immédiatement par rapport à la croûte (7).

Enfin, suite à une étude menée aux Etats-Unis avec J.M. MERCIER, GUEGUEN dans ses travaux plus récents (18) montre que les propriétés sismiques particulières de la couche à faible vitesse peuvent être entièrement expliquées par des effets physiques liés à la plasticité sans faire appel à la fusion partielle.

La déformation des roches du manteau supérieur sous ses divers aspects fait l'objet d'une revue détaillée dans un ouvrage qui paraîtra d'ici quelques mois (14).

(1) PEYRONNEAU J., LACAM A. – Mise en évidence de transitions polymorphiques "ultrarapides", induites par la pression, dans les halogénures alcalins, *C.R.A.S.*, 280 B, 357-359, 1975.

(2) NICOLAS A., BOUCHEZ J.L., BOUDIER F., J.C. MERCIER – Textures, structures and fabrics due to solid state flow in some european lherzolites, *Tectonophysics*, 12, 55, 1971.

(3) NICOLAS A., BOUCHEZ J.L. et BOUDIER F. – Interprétation cinématique des déformations plastiques dans le massif de lherzolites de Lanzo (Alpes piémontaises) – comparaison avec d'autres massifs, *Tectonophysics*, 14, 143, 1972.

(4) NICOLAS A., BOUDIER F. et BOULLIER A.M. – Mechanisms of flow in naturally and experimentally deformed peridotites, *American Journal of Science*, 273, 853, 1973.

(5) MERCIER J.C., NICOLAS A. – Textures and fabrics of upper mantle peridotites as illustrated by basalt xenoliths. *Journal of Petrology*, in press.

- (6) BOULLIER A.M. et NICOLAS A. – Fabric analysis of the ultra-basic nodules from Thaba Putsoa and Mothae. In “Kimberlites of the Northern Lesotho Province”, Cape and Transvaal Printers Ltd, p. 57-66, 1973.
- (7) PESELNICK, NICOLAS A. and STEVENSON P.R. – Velocity Anisotropy in a mantle peridotite from the Ivrea Zone : application to upper mantle anisotropy. *Jour. Geophys. Research*, 79, 8, 1175, 1974.
- (8) BOULLIER A.M. et NICOLAS A. – Classification of textures and fabrics of South African peridotite xenoliths from Kimberlite. I^o International Conference Proceeding Pergamon Press, in press.
- (9) GREEN H.W. and GUEGUEN Y. – Kimberlite Pipes. : origin by diapiric upwelling in the upper Mantle. *Nature*, 249, 617, 1974.
- (10) NICOLAS A. and BOUDIER F. – Kinematic interpretation of folding in alpine-type peridotites and in plastically deformed rocks in analogous situations. *Tectono-physics*, in press.
- (11) NIXON P.G., BOYD F.R. and BOULLIER A.M. – The evidence of kimberlite and its inclusions on the constitution of the outer part of the earth. In “Kimberlites of the Northern Lesotho Province”, Cape and Transvaal Printers Ltd, p. 312-318, 1973.
- (12) POIRIER J.P. and NICOLAS A. – Deformation-induced recrystallisation by progressive misorientation of subgrain-boundaries, with special reference to mantle peridotites. Note soumise au *Jour. Of Geology*.
- (13) GUEGUEN Y. and BOULLIER A.M. – Evidence of superplasticity in mantle peridotites. NATO advanced Institute Proceedings – *Petrophysics*. Newcastle, April 1974, in press.
- (14) NICOLAS A. and POIRIER J.P. – Crystalline plasticity and flow in metamorphic rocks, J. Wiley and Sons Ltd. – Interscience – London, editeurs, textbook, in press.
- (15) FROIDEVAUX Cl. et SCHUBERT G. – Plate motion and structure of the continental asthenosphere ; a realistic model of the upper mantle, in press.
- (16) MERCIER J.C. – Structure des péridotites en enclave dans quelques basaltes d'Europe et d'Hawai: regards sur la constitution du manteau supérieur. Thèse 3^e cycle, NANTES, 1972.
- (17) DAROT M. – Méthodes d'analyse structurale et cinématique : application à l'étude du massif ultra-basique de la Sierra Bermeja (Andalousie – Espagne). Thèse 3^e Cycle, NANTES, 1973.
- (18) GUEGUEN Y. – Modèles géophysiques du manteau supérieur et interprétation de la couche à faible vitesse. Thèse 3^e Cycle, NANTES, 1974.
- (19) BOULLIER A.M. – Structure des péridotites en enclaves dans les kimberlites d'Afrique du Sud. Thèse 3^e Cycle, Nantes, 1975.

VI – PROCESSUS INTERNES ET CHAMPS PHYSIQUES

A – ETUDE DE LA LITHOSPHERE

1 – Modèles et structure

Les campagnes de grands profils sismiques menées en coopération internationale avec le soutien de l'INAG depuis 1971 ont montré que la lithosphère continentale présente une structure stratifiée (LEGSP, IPG). Vu la complexité de l'évolution des continents il est difficile de relier structure et genèse. Il n'en est pas de même en milieu océanique où l'on dispose de quelques modèles de genèse :

ALLEGRE et BOTTINGA (LGC, IPGP) ont ainsi calculé à partir d'un modèle de tectonique des plaques différents modèles d'évolution thermique de la croûte océanique à partir de la crête en tenant compte d'aspects pétrologiques et des effets de fusion partielle et de chaleur latente.

BOTTINGA a établi un modèle dynamique de la génération de plaques lithosphériques. Le gradient géothermique peut ainsi être calculé à diverses distances du centre dispersif. La lithosphère océanique devrait présenter non seulement une zonation minéralogique latérale, mais aussi une variation verticale de composition chimique.

Une première étude a permis de transposer les expériences continentales en milieu océanique en utilisant les îles océaniques pour enregistrer les tirs effectués par un bateau.

On dispose maintenant d'un ensemble de données sismiques qui révèlent une structure sous Moho dans la région des Canaries : les travaux de Bosshard et Mac Farlane sur la croûte des Canaries, des résultats de sismique réflexion d'Atlantis II (1973) et du C.O.B. (1974) et des tirs de gros canons à air du C.O.B. (AVEDIK et RENARD) enregistrés sur les îles permettent d'estimer une partie des corrections de couches superficielles qu'il est nécessaire d'apporter aux observations profondes obtenues par l'enregistrement à Madère, Porto Santo, la Palma et Hierro d'un profil de plus de 400 km de long de tirs entre ces îles, effectué en 1973 par le L.E.G.S.P. (I.P.G.P.).

Les principaux faits d'observation qui se dégagent alors de ces données obtenues à grande distance sont, sur les enregistrements de la Palma et de Hierro entre 200 et 300 km de distance, des vitesses apparentes de 8,7 km/s avec dans les deux cas un maximum d'amplitude vers 220 km.

Dans une interprétation à couches horizontales, si on admet une vitesse moyenne de 8,0 km/s sous Moho situé à 12 km de profondeur, on trouve à partir des observations de la Palma que cette couche à 8,0 aurait 21 km d'épaisseur et qu'elle surmonterait un milieu de vitesse 8,7 km/s. Compte tenu des observations de Hierro et de Madère où une vitesse de 8,6 est observée entre 300 et 400 km de distance, on peut admettre la réalité de ce milieu à vitesse élevée sur une étendue de 200 km de la Palma vers le Nord. Seule l'hypothèse d'une couche d'olivine anisotrope semble capable de rendre compte d'une telle vitesse à cette profondeur.

En 1974, une campagne analogue a été menée dans la région des Açores (voir IV. B 3b).

2 – Rhéologie et mouvements

L. LLIBOUTRY (USMG) a poursuivi des recherches sur la dynamique de la tectonique globale.

De même qu'on peut étudier des modèles rhéologiques de l'asthénosphère à partir des données des soulèvements post-glaciaires, on peut chercher à définir les propriétés rhéologiques de la lithosphère à partir de la flexure qu'on observe sous la charge des îles Hawaiï, ou devant une fosse. En utilisant un modèle d'écoulement transitoire (corps pseudo-élastique) LLIBOUTRY obtient une épaisseur raisonnable pour la plaque lithosphérique.

On peut comparer les puissances nécessaires pour le mouvement des plaques lithosphériques à celles de différents mécanismes possibles dans la Terre (différenciation de la croûte, du noyau, radioactivité...). L'étude des modèles simples à couches visqueuses met en évidence la possibilité d'un glissement des plaques sur un large bourrelet sous les dorsales.

Le mouvement des plaques lithosphériques par rapport à un manteau inférieur rigide peut être évalué en considérant que la vitesse en un point quelconque d'une plaque est une combinaison linéaire des effets d'inclinaison de la surface d'égale pression, des surfaces d'égale densité et de la contrainte de cisaillement horizontale. Les résultats obtenus sont compatibles avec ceux déduits de la migration du volcanisme de Hawaiï et d'autres chaînes.

Ces idées sont présentées dans un article de synthèse (LLIBOUTRY 1975).

BOTTINGA C. — Thermal aspects of sea floor spreading and the nature of the suboceanic lithosphere. *Tectonophysics*, 21, 15, 1974.

BOTTINGA Y., ALLEGRE C. — Thermal aspects of sea floor spreading and the nature of the oceanic crust. *Tectonophysics*, 28, 1, 1973.

BOTTINGA Y., HIRN A., STEINMETZ L. — Implications de l'existence d'un canal à moindre vitesse sous Moho (à paraître).

HIRN A., STEINMETZ L., KIND R., FUCHS K. — Long Range Profiles in Western Europe. — II Fine structure of the lower lithosphere in France (Southern Bretagne). *Zeitsch. für Geophysik*, 363, 1973.

STEINMETZ L., HIRN A. — Sub-Moho stratification from an oceanic long-range profile. *Trans. Amer. Geoph. Union*, 55, 360, 1974.

STEINMETZ L., HIRN A., PERRIER G. — Reflexions sismiques à la base de l'asthénosphère. *Ann. de Géophys.* 30, 173, 1974.

LLIBOUTRY L. — Rheological properties of the asthenosphere from Fennoscandian data. *J.G.R.*, 76, 1433, 1971.

LLIBOUTRY L. — Rheological properties of lithosphere. *Tectonophysics*, 13, 1974.

LLIBOUTRY L. — The driving mechanism, its source of energy, and its evolution studied with a three-layer model. *J.G.R.* 77, 3759, 1972.

LLIBOUTRY L. — Plate movement relative to rigid lower mantle. *Nature*, 250, 298, 1974.

LLIBOUTRY L. — Isostasie, propriétés rhéologiques du manteau supérieur. Ch. 17 in "Traité de Géophysique interne", J. COULOMB, G. JOBERT éd. Masson 1973. Courants de convection et dynamique des plaques, Ch. 41 in "Traité de Géophysique interne", Tome II, J. COULOMB, G. JOBERT éd. Masson 1975.

B — CHAMPS PHYSIQUES

1 — Flux de chaleur

La reprise des mesures du flux de chaleur en France permettra de combler une lacune regrettable. Les efforts (IPGP, IPGCF) portent principalement sur le Massif Central où une remontée de l'asthénosphère est possible. Des méthodes géochimiques sont utilisées pour déterminer la température des roches où ont circulé les eaux thermales.

2 — Effets gravitationnels et rotationnels

On a essayé, dans les dernières années, de déterminer le nombre de Love k à partir des perturbations des trajectoires de satellites artificiels dues aux marées luni-solaires. Le déphasage entre la perturbation observée et le potentiel perturbateur calculé pour une Terre parfaitement élastique, pourrait permettre d'obtenir une information sur le facteur de qualité élastique de la Terre à des fréquences plus basses que celles des ondes sismiques.

On a pu montrer (GRGS, IPGP) que les marées océaniques doivent être absolument prises en considération dans cette étude. Quoique la précision de leur détermination soit

actuellement insuffisante, on obtient avec des modèles approchés un facteur Q de l'ordre de 60 pour le manteau. Des valeurs analogues sont obtenues par l'étude de leur influence sur l'accélération de la Lune.

Le couplage manteau-noyau a été souvent mis en cause pour expliquer les variations lentes observées dans la rotation de la Terre. LAMBECK (IPGP) et CAZENAVE (GRGS) ont montré que les fluctuations de la rotation étaient largement dues aux vents zonaux qui pourraient aussi jouer un rôle dans les variations à longue période.

LAMBECK K., CAZENAVE A., BALMINO G. — Solid Earth and Ocean tides estimated from satellite orbit analyses. *Rev. Geophys. Space. Phys.* 12, 421, 1974.

LAMBECK J. — Effects of tidal dissipation in the oceans on the moon's orbit and the Earth's rotation. *J.G.R.*, Sous presse, 1975.

LAMBECK K., CAZENAVE A. — The Earth's rotation and atmospheric circulation.

I. Seasonal variations, *Geoph. J.R.A.S.*, 32, 79, 1973.

II. The Continuum, *Geoph. J.R.A.S.*, 38, 49, 1974.

VII – MOUVEMENTS EPIROGENIQUES

L'objectif du groupe de travail n° 7 sur les mouvements épirogéniques est de "développer une compréhension des processus terrestres qui sont la cause de l'épeirogénèse (mouvements verticaux d'extension régionale), et le but majeur des études est d'obtenir des informations détaillées sur la durée, la longueur d'onde, l'amplitude et les vitesses des mouvements épirogéniques". Une classification pratique du travail a été définie en fonction de l'échelle des temps (10^2 à 10^9 ans) :

- A – Mouvements verticaux récents (10^2 ans)
- B – Mouvements verticaux quaternaires (10^6 ans)
- C – Mouvements verticaux tertiaires ($7 \cdot 10^7$ ans)
- D – Mouvements verticaux mésozoïques et paléozoïques ($6 \cdot 10^8$ ans).

Dans cette optique un certain nombre d'équipes françaises ont apporté des résultats nouveaux. Souvent ces résultats apparaissent à l'occasion de travaux variés non spécialisés et la liste bibliographique est pour cette raison très incomplète. Les principaux faits qui peuvent être signalés peuvent s'intégrer dans les quatre divisions temporelles proposées.

A – MOUVEMENTS VERTICAUX RECENTS (échelle 10^2 ans)

L'Institut Géographique National a repris de 1962 à 1969 la totalité du réseau de nivellement de précision du 1^{er} ordre. A la réunion de Berne consacrée à la "Mise en évidence d'un mouvement de surrection des massifs cristallins alpins" la Direction de la Géodésie de l'IGN a présenté trois profils obtenus par comparaison des dénivelées anciennes LALLEMAND et des dénivelées nouvelles IGN.

On a constaté qu'un profil au Sud de la chaîne du Jura ne décèle aucune anomalie ; par contre les deux autres profils (Grenoble – Saint-Jean de Maurienne – Fréjus et Veynes – Embrun – Montgenèvre) présentent des discordances systématiques s'accordant avec une hypothèse de soulèvement du massif cristallin alpin de l'ordre du millimètre par an. Cette hypothèse est confirmée également par les résultats suisses et autrichiens.

D'autre part un réseau géodésique de précision a été implanté en travers de l'axe du rift actif de l'Afar, en TFAI, (IV. B. 2), et divers travaux ont été effectués en France (IV. A. b).

B – MOUVEMENTS VERTICAUX QUATERNAIRES (échelle 10^3 à 10^7)

Les principaux travaux apportant des résultats quantitatifs dans ce domaine sont largement répartis dans le monde.

La Méditerranée occidentale et la Méditerranée orientale donnent des exemples de mouvements verticaux importants au cours du Cénozoïque supérieur. Les chiffres maximums obtenus dans l'Appenin Calabro-Lucanien, dans l'arc Egéen, au Liban, sont de l'ordre de 2 mm/an de taux moyen depuis le Pliocène. Des valeurs inférieures à 1 mm/an sont données au cours du Pléistocène et la déformation des lignes de rivages de 80 000 (Oudjien)

et 300 000 environ (Tyrrhénien) montre un soulèvement des côtes en direction de Gibraltar de l'ordre de 0,3 mm/an.

La vitesse de subsidence de la plaine de Venise au Pléistocène supérieur et à l'Holocène a varié entre 5 mm/an et 1 mm/an.

En ce qui concerne le bassin méditerranéen lui-même, les carottages profonds en mer mettent en évidence l'importance des mouvements verticaux ponto-plio-quatérnaires qui déforment de plusieurs milliers de mètres les évaporites du Messinien (vitesse moyenne de l'ordre du mm/an).

De nombreuses informations quantitatives ou semi-quantitatives sont données par l'étude des déformations des hautes surfaces en Himalaya, dans la chaîne des Andes (+ 2 mm/an), dans les Pyrénées et ailleurs.

Dans d'autres régions, les résultats portent également sur les déformations des lignes de rivages datées de 120 000, 100 000 ou 80 000 ans B.P. ; dans le Pacifique Sud-Ouest elles ont mis en évidence un bombement de la plaque lithosphérique avant son prolongement; en Afar elles indiquent des vitesses de mouvements verticaux qui atteignent 1 ou 2 mm/an.

La surface des océans étant prise comme la matérialisation de la surface du géoïde à chaque instant la comparaison des courbes de variations du niveau de la mer à l'Holocène (et notamment la position de celle-ci à 5 000 et 3 000 ans B.P.) pour des régions variées du monde met également en évidence des mouvements verticaux différentiels. Entre différents points des côtes de la France, de l'Afrique de l'Ouest, du Brésil, de la Nouvelle Calédonie, des îles du Pacifique, etc., les différences relatives indiquent encore des taux de l'ordre du mm/an ou d'une fraction de mm/an.

Enfin le soulèvement isostatique de la Fennoscandie a fait l'objet de nouveaux calculs permettant de préciser les propriétés rhéologiques de l'asthénosphère et la migration de la flexure.

C – MOUVEMENTS VERTICAUX TERTIAIRES (échelle $10^7 - 10^8$)

Dans les régions déjà citées, notamment autour du bassin méditerranéen et dans les Alpes, une partie des résultats concerne des valeurs de mouvements verticaux au cours du Tertiaire. Il faut ajouter des travaux synthétiques sur les Dinarides, la Crête, les Baléares l'Algérie, la Tunisie, qui soulignent le rôle des mouvements verticaux au Tertiaire, des bombements à grands rayons de courbure, et parfois l'ampleur du renversement des reliefs qui peut atteindre 3 000 m au Pliocène inférieur.

En Afrique de l'Est le soulèvement du bouclier éthiopien depuis le Miocène a été de l'ordre de 1/10 mm/an en moyenne.

D – MOUVEMENTS VERTICAUX MESOZOIQUES ET PALEOZOIQUES ($10^8 - 10^9$ ans)

L'étude synthétique de grands bassins sédimentaires et des zones soulevées qui les séparent actuellement ont apporté des chiffres de mouvements épigéniques des plateformes et des cratons.

La paléographie des bassins paléozoïques du Sahara montre ainsi le rôle des mouvements verticaux dans la sédimentation et la part jouée par les réajustements isostatiques dus à la fusion des calottes glaciaires du Proterozoïque et de l'Ordovicien. A l'échelle de temps de 10^8 ans le sens de ces mouvements peut s'inverser.

Au cours du Mésozoïque la plateforme saharienne est restée au voisinage de la cote zéro : les cartes des épaisseurs sont directement interprétables en cartes de subsidence. Au sud du bombement du Hoggar le bassin a subi un léger basculement mis en relation avec le déplacement de la plaque africaine par rapport à un relief du manteau.

Les cartes du socle du bassin de Paris et celles des isobathes du toit de l'Albien montrent des mouvements verticaux (qui peuvent se chiffrer en moyenne en centièmes de mm/an).

Dans les bassins côtiers de l'Atlantique, les vitesses d'effondrement des marges du graben initial au Mésozoïque sont comparables à celles du rift Cénozoïque de l'Afar.

Il semble qu'une fois éliminé l'effet de recul que provoque la durée des phénomènes géologiques, les vitesses maximales des mouvements verticaux épigénétiques restent dans les mêmes ordres de grandeur compris entre (10 ; 1 ; 0,1 mm/an) tant pour les mouvements positifs que pour les mouvements négatifs. En revanche les gradients peuvent varier dans des limites beaucoup plus importantes suivant le type tectonique régional.

D'autre part les conséquences des mouvements verticaux ont fait l'objet d'un examen sous l'angle mécanique : ils pourraient fournir l'énergie nécessaire au glissement des plaques lithosphériques sur l'asthénosphère.

BARRIERE J., BOUSQUET J.C. et TONI Cl. — Données nouvelles sur la néotectonique des Costières du Gard. *C.R. Ac. Sc., Paris*, 277 D, 285, 1973.

BEAUCHAMP J., LEMOIGNE Y. — Présence d'un bassin de subsidence en Ethiopie centrale et essai de reconstitution paléogéographique de l'Ethiopie durant le Jurassique. *Bull. S.G.F.*, (sous presse), 1974.

BELLAICHE G. — Prélèvement par 2 000 m de profondeur d'un réflecteur acoustique d'âge pliocène inférieur à faciès peu profond (canyon des Stoechaodes, Méditerranée nord-occidentale). Nouvelles données sur le creusement des canyons sous-marins et l'amplitude des mouvements verticaux pecto-plio-quadernaires. *C.R.Ac.Sc. Paris*, 275 D, 321, 1972.

BEUF S., BIJU DUVAL B., CHARPAL D. (de), ROGNON P., GARIEL O., et BENNACEF A. — Les grès du Paléozoïque inférieur au Sahara, Sédimentation et discontinuités. Evolution structurale d'un craton. *Inst. Franç. du Pétrole. "Science et Technique du Pétrole"*, n° 18, 457 p., 1971.

BURROUILH R. — Stratigraphie, sédimentologie et tectonique de l'île de Minorque et du Nord-Est de Majorque (Baléares). Thèse, Univ. Paris VI, 1973.

BOUSQUET J.C. — La tectonique récente de l'Apennin calabro-lucanien dans son cadre géologique et géophysique. *Geologica Romana*, vol. XII, p. 1-104, 1972 et Thèse 1972.

BOUSQUET J.C. et MONTENANT C. — Présence de décrochements nord-est sud-ouest plio-quadernaires, dans les cordillères bétiques orientales (Espagne). Extension et signification générale. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 278 D, 2617, 1974.

BUROLLET P.F. — Remarques géodynamiques sur le nord-est de la Tunisie. *C.R. Som. S.G.F.*, 8, 411, 1972.

BUROLLET P.F., BYRAMJEE R.S. — Réflexions sur la tectonique globale. Exemples africains et méditerranéens, Notes et mémoires, *Comp. Fr. Pétroles*, 11, 71, 1974.

BUSSON G. — Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. *Mém. Mus. Nat. d'hist. nat., Paris*, sér. C, t. XXVI, 441 p., 1972.

CHABBERT C. — Geodetic measurements made by Institut Géographique National France in the Afar depression, *East Africa. Tectonophysics*, Sympos. on recent crustal movements, Zürich, (sous-pression), 1974.

DALMAYRAC B. — Un exemple de tectonique vivante : les failles subactuelles du pied de la Cordillère blanche (Pérou) *Cah. O.R.S.T.O.M.*, Sér. Géol. VI, n° 1, p. 19-27, 1974.

FAURE H. — Vertical movements and horizontal translation of the lithosphere. in : Implications of Continental Drift to the Earth Sciences, D.H. Tarling and S.K. Runcorn, Ed., vol. 2, p. 731-733, 1972.

FAURE H. — Cadre morphotectonique mégamétrique de l'Afar. *Rev. Géogr. Phys. et Géol. dy.* XV, 387, 1973.

FAURE H. — Cénozoïc arabo-nubian geodynamic model applied to Mesozoïc Atlantic opening. 2nd Conf. African Geology. Addis-Abeba, 1973.

FAURE H. — Coastal deformation and the Afar geodynamic model. in "Symp. on the Afar Region of Ethiopia and Related Rift problems", 1974.

FAURE H. — Mouvements récents de la croûte terrestre le long des côtes de la Mer Rouge et du Golfe d'Aden en Afar (Ethiopie et T.F.A.I.) in : *Tectonophysics. Inter. Symp. Recent Crustal Movements*, 1974 Zürich (sous presse).

FAURE H., HEBBRARD L. — Shorelines fluctuations in Senegal and Mauritania during Holocene time (Variations des lignes de rivage du Sénégal et en Mauritanie au cours de l'Holocène) IX Congr. INQUA, Quaternary Shorelines Commission 4, 1973.

FAURE H., HOANG C.T. et LALOU C. — Structure et géochronologie $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ des récifs coralliens soulevés à l'Ouest du Golfe d'Aden (T.F.A.I.) *Rev. Géogr. Phys. et Géol. dyn.* XV, 393, 1973.

FONTES J.Ch., BORTOLAMI G. — Subsidence of the Venice area during the past 40 000 yr. *Nature*, 244, 339, 1973.

GOTTIS M. — Morphologie et déformations mio-plio-quadernaires des Pyrénées. *C.R.Acad. Sc. Paris*, 275, 1199, 1972.

- GUIRAUD R. — Evolution post-triasique de l'avant pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du Bassin du Hodna et des régions voisines. Thèse doct. d'Et., 1973.
- KERAUDREN B. — Les formations quaternaires marines de la Grèce. Ext. Bull. du Mus. d'Anthrop. préhist. *Monaco*, n° 18, 282, 1972.
- LAPPARENT A.F. (de). — Sur les très hautes surfaces des montagnes afghanes. Essai géomorphologique et stratigraphique. *Géol. alpine*, 47, 59, 1971.
- LAUNAY J. et RECY J. — Variations relatives du niveau de la mer, néotectonique en Nouvelle Calédonie au Pléistocène supérieur et à l'Holocène. *Rev. Géogr. Phys. et Géol. dyn.*, 14, 47, 1972.
- LEMOIGNE Y. et BEAUCHAMP J. — Présence d'un bassin de subsidence en Ethiopie centrale et essai de reconstitution paléogéographique de l'Ethiopie durant le Jurassique. *Bull. S.G.F.* (sous presse), 1974.
- LEVALLOIS J.J. — Sur la mise en évidence d'un mouvement de surrection des massifs cristallins alpins. *Bull. Géod.* 105, 299, 1972.
- LLIBOUTRY L. — Rheological properties of the asthenosphere from Fennoscandian data. *J. Geophys. Res.*, 76, 1443, 1971.
- LLIBOUTRY L. — The driving mechanism, its source of energy and its évolution studied with a three layer model. *Jour. Geophys. Res.* 77, 3759, 1972.
- PAUTOT G., RENARD V., DANIEL J., DUPONT J. — Morphology, limits, origin and age of salt layer along South Atlantic african margin. *Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 57, 1658, 1973.
- PERRODON A. — Réflexions sur la comparaison de quelques vitesses de phénomènes géologiques. *C.R.S.G.F.*, fasc. 2, 50, 1972.
- PETIT J.P., BOUSQUET J.C. et MATTEI J. — Glissement synsédimentaire et troncature basale de glocs hehtangiens du bord sud du Causse du Larzac, entre Arboras et Salces (Languedoc). *C.R. Acad. Sc., Paris*, 277 D, 1113, 1973.
- SANLAVILLE P. — Sur le Tyrrhénien libanais. *Quaternaria, Roma*, XV, 239, 1971.
- SHOEFFLER J. — Etude structurale des formations molassiques du Piedmont nord des Pyrénées. *Rev. Inst. Fr. Pétrole*, 515, 1973.
- TROMPETTE R. — Le Précambrien supérieur et le Paléozoïque inférieur de l'Adrar de Mauritanie (bordure occidentale du bassin de Taoudeni, Afrique de l'Ouest). Un exemple de sédimentation de craton, étude stratigraphique et sédimentologique. *Trav. Lab. Sc. Terre, St-Jérôme, Marseille (B)* n° 7, 1973.
- WEBER C. — Le socle antétriasique sous la partie sud du bassin de Paris d'après les données géophysiques. *Bull. B.R.G.M.*, sect. 2, n° 4, 293, 1973.

VIII – STRUCTURE DES BASSINS OCEANIQUES DES MARGES ET PLATEAUX CONTINENTAUX

A – Plateau continental français

Un travail de synthèse a été présenté par J. SEGOUFIN (IPGP) qui précise les directions structurales au large de Belle Ile et définit la nature des accidents magnétiques reconnus en baie d'Audierne et dans la Manche.

B – Marge ibérique

Au cours de plusieurs campagnes le laboratoire de Géologie marine de Rennes (G. BOILLOT) a étudié la marge continentale de la péninsule ibérique, du nord du cap Peniche à la baie de Cadix. On a pu mettre en lumière le rôle des réactivations au Tertiaire des grands accidents tardi-hercyniens, qui ont rejoué chaque fois que la Péninsule ibérique était soumise à une compression. Le moteur des déformations paraît situé au Nord à l'Eocène (formation de l'orogène pyrénéen et de ses prolongements submergés dans le golfe de Gascogne), et au Sud dans la deuxième partie du Cénozoïque (rapprochement de l'Afrique et de l'Europe).

C – Marge continentale de l'Afrique

J. GOSLIN (IPGP) a présenté les résultats de recherches entreprises au C.O.B. sur la terminaison orientale de la dorsale de Walvis.

P. PATRIAT (IPGP) prépare une synthèse des données et résultats obtenus dans plusieurs campagnes (Guinée, Bénin, Walda) en Atlantique oriental. La marge continentale qui borde le craton ouest-africain dans le Golfe de Guinée septentrional peut être divisée en trois régions principales : la marge continentale du Libéria, celle de Côte d'Ivoire et celle du delta du Niger. Ces différentes régions correspondent à des compartiments limités par le prolongement des grandes zones de fractures de l'Atlantique Equatorial. La distribution des sédiments montre que la géologie a été contrôlée par l'effet de barrage de ces zones de fracture et que l'histoire de cette marge est celle de l'ouverture de l'Atlantique Sud.

BOILLOT G., CRESSARD A. et LEPETRE J.P. – Rôle des mouvements oligocènes sur le plateau continental nord-espagnol entre 3° 30' et 5° de longitude Ouest. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 274 D, 27, 1972.

BOILLOT G., DUPEUBLE P.A. et HENNEQUIN I. – Le plateau continental basque : stratigraphie, structure et relations avec le canyon de Capbreton. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 274 D, 1147, 1972.

BOILLOT G. et al. – Géologie du plateau continental portugais au Nord du Cap Carvoeiro. La série stratigraphique. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 274 D, 2748, 1972.

BOILLOT G. et MUSELLEC P. – Géologie du plateau continental portugais au Nord du Cap Carvoeiro. Structure au Nord et au Sud du canyon de Nazaré. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 274 D, 2852, 1972.

BOILLOT G. et al. – La zone Nord-pyrénéenne, ses prolongements sur la marge continentale nord-espagnole et sa signification structurale. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 277 D, 2629, 1973.

BOILLOT G. et al. – Carte géologique du plateau continental nord-espagnol entre le canyon de Cap-breton et le canyon d'Aviles. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), 15, 3-4, p. 366-391, 1973.

BOILLOT G., DUPEUBLE P.A. et MUSELLEC P. – Carte Géologique du plateau continental portugais entre 39° 50' et 41° 50' de latitude Nord. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 277 D, 25, 1973.

CAPDEVILA R., LAMBOY M. et LEPRETRE J.P. – 1974 – Découverte de granulites, de charnockites et de syénites néphéliniques dans la partie occidentale de la marge continentale nord-espagnole. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 278 D, 17, 1974.

BOILLOT G., DUPEUBLE P.A. et MOUGENOT D. – Géologie du plateau continental portugais entre le Cap Carvoeiro et le Cap de Sines. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 278 D, 1974.

SEGOUFIN J. – Structure du plateau continental armoricain, *Phil. Trans. Roy. Soc. London* (sous presse).

LIMOND W.Q., GRAY F., GRAU G. et PATRIAT Ph. — Mantle reflections in the Bay of Biscay. *Earth and Planetary Science Letters* 15, 361, 1972.

SEGOUFIN J. — Cartographie magnétique du plateau continental armoricain. Thèse UPMC, 1973.

GOSLIN J. — Etude géophysique de la terminaison orientale de la dorsale de Walvis. Thèse UPMC, 1973.

ARENS G., DELTEIL J.R., JALERY P., DAMOTTE B., MONTADERT L. et PATRIAT Ph., 1971. — The continental margin off the Ivory coast and Ghana, ICSU/SCOR Working Party 31 Symposium Cambridge 1971 : The Geology of the East Atlantic continental Margin ; edited by F.M. DELANY. Institute of Geological Sciences, Report n° 70/16, pp. 61-78.

LIMOND W.Q., GRAY F. and GRAU G., FAIL J.P., MONTADERT L. and PATRIAT Ph. — A seismic study in the bay of Biscay. *Earth and Planetary Science Letters*, 23 357, 1974.

DAMOTTE B., GRAU G., GRAY F., LIMOND W.Q. and PATRIAT Ph. — Utilisation conjointe des méthodes sismique réflexion et réfraction pour la détermination des vitesses, in : Histoire structurale du Golfe de Gascogne. Editions Technip.

IX – RECHERCHES THEORIQUES

L'effort a porté plus particulièrement sur les problèmes inverses (LEGSP). Le problème inverse de la sismologie tridimensionnelle a été résolu de façon approchée dans le cas où les surfaces d'égale vitesse sont à pendage et courbure faible. Un algorithme d'inversion pour les sismogrammes d'ondes réfléchies sous incidence oblique a été construit.

Des problèmes de déconvolution ont été également étudiés. La méthode de Backus Gilbert a été utilisée pour la solution d'une série de problèmes inverses en géomagnétisme et gravimétrie, et pour le prolongement de champs de potentiel.

JOBERT G. – Travel-time equations and energy propagation for an elastic heterogeneous isotropic medium : Correction and approximate inversion. *Bull. Seism. Soc. Am.* 63, 1967, 1973.

SOURIAU M. – Un algorithme d'inversion totale pour les sismogrammes synthétiques de réflexion sous incidence oblique. *C.R.A.S.*, 275, 617, 1972, et Thèse Université Paris VI, 1973.

RUEGG J.C., SOURIAU M. – Theoretical and experimental deconvolution. *Zeitsch. für Geoph.*, 39, 525, 1973.

SOURIAU M. – Inversion numérique de la fonction de transfert des sismographes par filtrage récursif. *C.R.A.S.*, 277 B. 143, 1973.

COURTILLOT V., DUCRUIX J., LE MOUËL J. – Le prolongement d'un champ de potentiel d'un contour quelconque sur un contour horizontal : une application de la méthode de Backus-Gilbert. *Ann. de Géophysique* 361, 1973.

LE MOUËL J., COURTILLOT V. et GALDEANO A. – A simple formalism for the study of transformed aeromagnetic profiles and source location problems. *Journal of Geophysical Research*, 79, 324, 1974.

COURTILLOT V., DUCRUIX J., LE MOUËL J.L. – A solution of some inverse problems in geomagnetism and gravimetry. *Journal Geophysical Research*, 79, 4933, 1974.

DUCRUIX J., LE MOUËL J.L., COURTILLOT V. – Continuation of three dimensional potential fields measured on an uneven surface. *Geophysical Journal Royal Astronomical Society*, 38, 299, 1974.

IMPRIMERIE LOUIS-JEAN

Publications scientifiques et littéraires

TYPO - OFFSET

05002 GAP - Téléphone 51-35-23 •

Dépôt légal 341-1975