



**HAL**  
open science

## Rapport d'activité CRPE pour l'année universitaire 1975-1976

- Centre de Recherches En Physique de L'Environnement Terrestre Et  
Planétaire

► **To cite this version:**

- Centre de Recherches En Physique de L'Environnement Terrestre Et Planétaire. Rapport d'activité  
CRPE pour l'année universitaire 1975-1976. Note Technique CRPE n°33. 1976. hal-02192081

**HAL Id: hal-02192081**

**<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02192081v1>**

Submitted on 23 Jul 2019

**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.

RP 182 (13)

**CENTRE NATIONAL D'ETUDES  
DES TELECOMMUNICATIONS**

**CENTRE NATIONAL DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**CENTRE DE  
RECHERCHES  
EN PHYSIQUE DE  
L'ENVIRONNEMENT  
TERRESTRE  
ET PLANETAIRE**

# CRPE

**NOTE TECHNIQUE  
CRPE /33**



*Rapport d'activité CRPE  
pour l'année universitaire  
1975 - 1976*

15 AVR. 1977

B

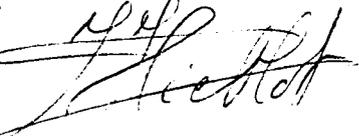
CENTRE DE RECHERCHE EN PHYSIQUE DE  
L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE ET PLANETAIRE

NOTE TECHNIQUE CRPE/33

RAPPORT D'ACTIVITE CRPE  
POUR L'ANNEE UNIVERSITAIRE  
1975-1976

C.R.P.E./E.T.E.  
92131 - ISSY LES MOULINEAUX  
C.R.P.E./P.C.E.  
45045 - ORLEANS CEDEX

Le Directeur



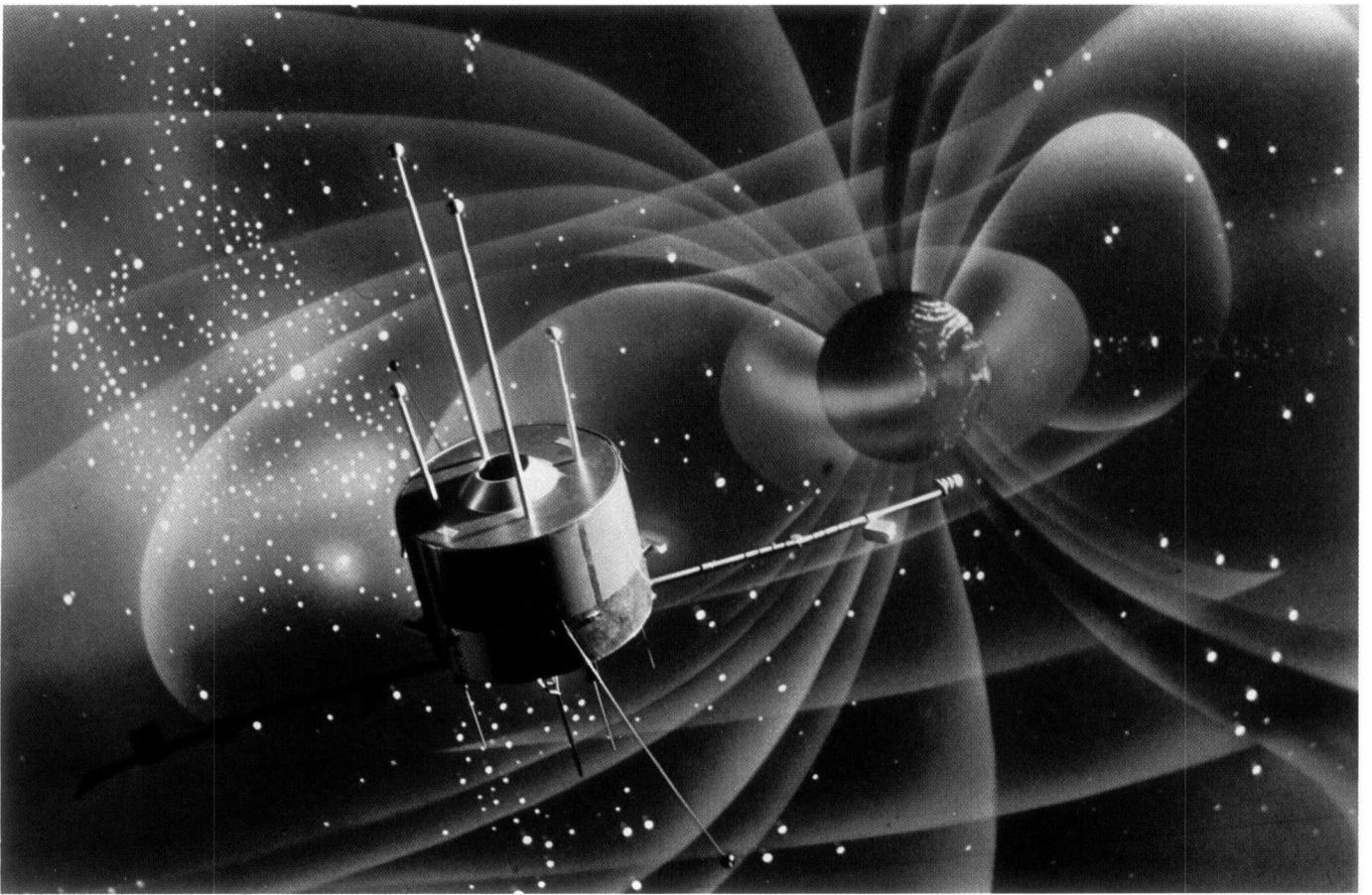
J. HIEBLOT

Le Directeur Adjoint

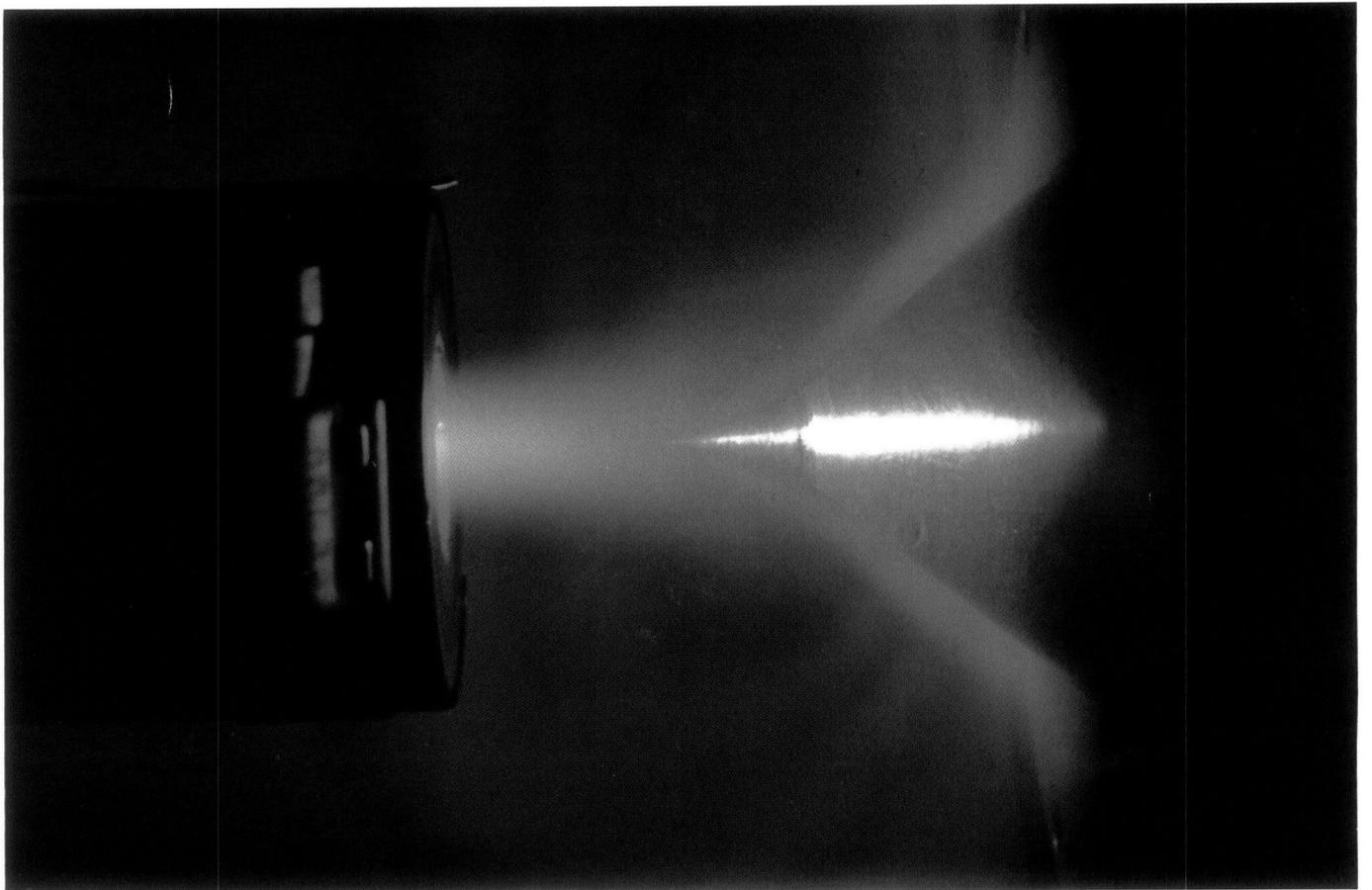


M. PETIT

Décembre 1976



**ETUDE DE LA MAGNETOSPHERE  
A L'AIDE DU SATELLITE GEOS**



**ETUDE DES AGREGATS IONIQUES  
UTILISANT UN ECOULEMENT SUPERSONIQUE**

TABLE DES MATIERES

	PAGES
<u>1. INTRODUCTION</u>	1
<u>2. DEPARTEMENT ETUDES PAR TELEDITECTION DE L'ENVIRONNEMENT</u>	4
<u>2.1. Etude de la convection nuageuse tridimensionnelle par Radar Doppler</u>	5
2.1.1. Soutien extérieur	5
2.1.2. Le projet Ronsard	5
2.1.3. Autres travaux	6
2.1.4. Perspectives	8
<u>2.2. Etude de la couche limite à l'aide du radar acoustique Doppler</u>	11
2.2.1. Soutien extérieur	11
2.2.2. But général de l'étude	11
2.2.3. Résultats scientifiques	12
a) Etude de l'évolution diurne de la hauteur de la couche d'inversion de température	12
b) Etude de l'évolution des profils de vent dans la couche limite	12
c) Etude des cellules convectives	13
d) Etude des ondes atmosphériques de petite échelle	13
e) Etude de la turbulence atmosphérique	13
2.2.4. Résultats techniques	14
<u>2.3. Radar météorologique</u>	15
2.3.1. Sujets d'étude	15
2.3.2. Exploitation et dépouillement	15
2.3.3. Nouveaux équipements	15
2.3.4. Etude de la turbulence à moyenne échelle	16
2.3.5. Etude de la structure des marées	17
2.3.6. Structure des ondes planétaires et de la circulation générale	18

<u>2.4. Sondages par diffusion incohérente de la haute atmosphère</u>	21
2.4.1. Activité technique	21
a) Etalonnage du signal à Mende et à Montpazier	21
b) Elimination des échos "avion" à basse altitude	21
c) Mise en oeuvre de l'observation de la raie de plasma à Nancay et Mende	22
d) Perspectives pour 1977	23
2.4.2. Activité scientifique	23
a) Dynamique et structure de l'atmosphère neutre	23
b) Electrodynamique du plasma ionosphérique	24
c) Etude du gaz d'électrons et de photoélectrons	25
<u>2.5. Projet EISCAT</u>	27
2.5.1. Soutien extérieur	27
2.5.2. But général de l'étude	27
2.5.3. Elaboration du dispositif expérimental	27
2.5.4. Etat d'avancement des réalisations techniques	27
<u>2.6. Résonances des plasmas spatiaux</u>	29
2.6.1. Etude des résonances à la gyrofréquence	29
2.6.2. Etude des résonances aux harmoniques de la gyrofréquence	29
2.6.3. Etude expérimentale des résonances de plasma dans l'ionosphère	30
2.6.4. Etude des résonances à la fréquence de plasma pour un plasma bi-maxwellien	30
2.6.5. Satellite GEOS	30
2.6.6. Satellite ISEE-A	31
2.6.7. Satellite GEOS ARI	32
2.6.7. Divers	32
<u>2.7. Interactions entre ondes et particules</u>	33
2.7.1. Préparation des opérations et du dépouillement de GEOS. Expériences associées	33
2.7.2. Etude des interactions ondes-particules	34

2.7.2.	Etude des interactions ondes-particules	34
a)	Ondes électrostatiques	34
b)	Phénomènes non linéaires	35
c)	Rôle du rapport $n_c/n_h$ dans les interactions du type cyclotronique	35
d)	Rôle de la convection dans les interactions du type cyclotronique	36
e)	Echos de dérive observés à bord du satellite géostationnaire ATS-5	36
2.7.3.	Traitement du signal	37
a)	Fréquence instantanée	37
b)	Accroissement de la résolution dans le plan fréquence-temps	38
c)	Représentation complexe de la polarisation d'un signal	38
d)	Méthode de l'entropie maximale	39
<u>2.8.</u>	<u>Techniques spatiales</u>	41
2.8.1.	Expérience S300 GEOS	41
2.8.2.	Expérience HAM-ISEE.A	42
2.8.3.	ARCAD3	43
2.8.4.	Station mobile de réception de signaux géophysiques d'INAG	43
<u>2.9.</u>	<u>Mini-informatique</u>	45
2.9.1.	Rôle du laboratoire	45
2.9.2.	Réalisation technique	45
a)	Radars Doppler RONSARD	45
b)	Sondeurs acoustiques SODAR	46
c)	S 301	46
2.9.3.	Extension du centre mini-informatique	46

<u>2.10. Centre de dépouillement GEOS</u>	47
2.10.1. Activités générales	47
2.10.2. Opération GEOS	47
a) Organisation générale	47
b) Programmes de télécommandes	48
c) Etalonnage en vol	48
2.10.3. Dépouillement GEOS	49
<u>3. DEPARTEMENT PHYSIQUE-CHIMIE DE L'ENVIRONNEMENT</u>	51
<u>3.1. Physico-chimie des atmosphères</u>	53
3.1.1. Formation des ions agrégats mésosphériques	54
3.1.2. Photofragmentation des ions agrégats mésosphériques	54
3.1.3. Formation des molécules interstellaires complexes	55
3.1.4. Composition des atmosphère de Vénus	56
<u>3.2. Etudes en plasma de laboratoire</u>	57
3.2.1. Amélioration des moyens expérimentaux	57
3.2.2. Etude expérimentale de la propagation des ondes électroniques longitudinales en plasma chaud non collisionnel animé d'une vitesse de dérive	57
3.2.3. Etude théorique de la résolution du problème inverse	58
<u>3.3. Métrologie des plasmas spatiaux</u>	61
3.3.1. Effets de surface dans les sondes électrostatiques	61
3.3.2. Etudes théoriques des sondes électrostatiques	62
3.3.3. Etudes expérimentales des sondes radiofréquences	63
3.3.4. Etudes théoriques des sondes électrodynamiques fonctionnant en radiofréquences	65
3.3.5. Expérience en fusées "Porc Epic"	67
3.3.6. Expérience en fusées "Sustorm-GEOS"	69
3.3.7. Participation au programme GEOS	70

<u>3.4. Détection des phénomènes physiques du plasma polaire</u>	73
3.4.1. Etude du comportement de la sonde quadripolaire en magnétoplasma maxwellien	74
3.4.2. Campagnes IPOCAMP 1 et 2	75
a) Objectifs scientifiques et résultats déjà obtenus	75
b) Préparation technique de la campagne IPOCAMP 2	76
3.4.3. Déroulement du programme ISOPROBE-ARCAD 3	77
3.4.4. Mesures d'impédances propres et mutuelles à bord de GEOS	78
3.4.5. Excitation d'ondes au voisinage de la fréquence hybride basse	79
3.4.6. Participation à l'expérience ARAKS et à l'expérience "magnétosphère argentine"	80
<u>3.5. Etudes théoriques des plasmas</u>	83
3.5.1. Philosophie générale	83
3.5.2. Simulation sur ordinateur de plasmas fortement correllés	85
3.5.3. Ondes électrostatiques en plasma inhomogène	86
3.5.4. Ondes électrostatiques dans un plasma de dérive	87
3.5.5. Recherches de solutions non linéaires du système de Vlasov-Poisson à l'aide de groupes de trans- formations self similaires	89
3.5.6. Méthode algébro-numérique	90
3.5.7. Etude de l'électrojet équatorial	91
Répartition par équipes du personnel ETE	93
Répartition par équipes du personnel PCE	95
FIGURES	97
BIBLIOGRAPHIE	117

## 1. INTRODUCTION

Le "Centre de Recherches en Physique de l'Environnement terrestre et planétaire "(C.R.P.E.)" est un laboratoire commun au C.N.R.S. pour lequel il a un statut de laboratoire propre et au C.N.E.T. pour lequel il est un groupement. Le C.R.P.E. comprend deux départements géographiquement distants de 100 km, l'un en région parisienne, l'autre à Orléans.

Le département "Etudes par Télédétection de l'Environnement "(E.T.E.)" (100 agents) est situé dans les locaux du C.N.E.T. à Issy les Moulineaux. La symbiose avec un organisme d'une haute technicité explique que l'essentiel des recherches effectuées à E.T.E. utilise de gros investissements techniques : il s'agit tout d'abord d'équipements au sol, tels que les stations fixes du sondeur ionosphérique à diffusion incohérente ou les stations mobiles du radar météorologique à effet Doppler, du sodar (radar en ondes acoustiques) pour l'étude de la couche limite planétaire, du radar décimétrique qui utilise les trainées ionisées météoriques comme traceur de la dynamique de la haute mésosphère ; il s'agit également d'équipements embarqués pour l'étude de la magnétosphère à bord des satellites GEOS et ISEE. Les activités scientifiques sont réparties de façon à peu près égale entre trois domaines : la magnétosphère, la haute atmosphère (neutre et ionisée) et l'atmosphère dense (siège des phénomènes météorologiques). Ce dernier thème d'étude ne date que de quelques années, il est actuellement en cours de développement aux dépens des sujets thermosphériques et ionosphériques. L'activité magnétosphérique bat actuellement son plein avec le lancement prévu pour l'année prochaine des satellites GEOS et ISEE qui constituent le coeur de "l'International Magnetospheric Study "(I.M.S.)". Elle devrait évoluer à long terme vers l'étude, d'une part de la magnétosphère des autres planètes, et d'autre part des phénomènes des hautes latitudes dans le cadre du programme européen EISCAT de sondage par diffusion incohérente en Scandinavie du nord. Ce dernier devrait également constituer le prolongement des études ionosphériques actuelles. La répartition par équipes du personnel E.T.E. est fournie page 93.

Le département "Physique et Chimie de l'Environnement" (P.C.E.) (70 agents) est situé à Orléans, dans l'ensemble des laboratoires C.N.R.S. de La Source. Cet entourage a amené le département P.C.E. à conduire certaines activités dont l'intérêt géophysique n'est qu'indirect mais qui s'insèrent harmonieusement dans le contexte intellectuel du campus d'Orléans La Source. On peut classer dans cette catégorie, d'une part les expériences de physico-chimie qui permettent d'étudier, au laboratoire, la cinétique chimique des ions mésosphériques et la formation des molécules inter-stellaires complexes et d'autre part les expériences sur le potentiel de surface des matériaux qui, répondant initialement à la nécessité d'améliorer les mesures de température électronique ionosphérique par sondes de Langmuir, débouchent aujourd'hui sur une contribution à l'étude de la pollution des contacts de relais téléphoniques. Ces activités sont menées en collaboration étroite avec des professeurs de l'Université d'Orléans. Une partie essentielle du programme de P.C.E. a toujours été la mise au point de méthodes de diagnostic des plasmas spatiaux par leur influence sur la propagation d'ondes électromagnétiques, entre deux paires de capteurs en particulier. On perçoit une petite évolution de ce thème pour lequel des études géophysiques, concernant en particulier l'ionosphère des hautes latitudes, se développent aux dépens des études méthodologiques : participation, dans le cadre de l'I.M.S., à des tirs de fusée depuis la base de Kiruna (Suède) ou celle de l'Ile de Heyss (U.R.S.S.), part importante prise dans la réalisation du satellite franco-soviétique ARCAD 3. Enfin, il faut mentionner la présence d'un groupe théorique actif ayant ses propres centres d'intérêt mais dont les conseils sont très précieux pour les autres groupes de P.C.E. ainsi d'ailleurs que pour certains chercheurs d'organismes voisins sur le campus, comme le B.R.G.M. La répartition par équipes du personnel de P.C.E. est fournie page 95.

Le présent document consitute le rapport d'activité du C.R.P.E. pour l'année universitaire 1975-76.

Il comporte deux chapitres, l'un concernant les activités du Département "Etudes par Télédétection de l'Environnement", l'autre celles du Département "Physique et Chimie de l'Environnement". Les activités sont regroupées par thème scientifique. Toutefois, certaines opérations techniques importantes, effectuées au profit de plusieurs équipes scientifiques, sont présentées séparément.

2. DEPARTEMENT

ETUDES PAR TELEDETECTION DE L'ENVIRONNEMENT

(Issy les Moulineaux)

2.1. ETUDE DE LA CONVECTION NUAGEUSE TRIDIMENSIONNELLE PAR  
RADAR DOPPLER

2.1.1. Soutien extérieur

D.G.R.S.T.

A.T.P. I.N.A.G. "Recherche Atmosphérique"

2.1.2. Le Projet Ronsard

Le projet de radars Doppler (221) retenu par le Comité "Recherches Atmosphériques" de la D.G.R.S.T. et financé conjointement par le C.N.E.T. et la D.G.R.S.T. est entré en 1976 dans une phase opérationnelle.

En effet, le premier radar a été réceptionné en février 1976 et il a été mis en station en avril, sur la terrasse des bâtiments de la Météorologie Nationale à Magny-les-Hameaux. Pendant la période d'avril à octobre 1976, de nombreux essais et contrôles techniques ont eu lieu : certains d'entre eux ont conduit à de légères modifications de l'instrument.

Il apparaît d'une façon générale que, après sa période de mise au point, le RONSARD (169) sera complètement apte à rendre aux chercheurs les services qu'ils en espèrent. Pendant les derniers mois, il a d'ailleurs été possible d'utiliser déjà le RONSARD à des opérations scientifiques préliminaires (cf. plus bas).

La mise en station et les essais du radar, ont coïncidé avec un important travail relatif au dépouillement et au traitement des données (217, 218). Les tâches sont réparties entre l'ordinateur central HB 6080 du C.N.E.T. et le centre de calcul Sodar du département E.T.E. (mini-ordinateur HP 2100). Divers problèmes de traitement du signal, de décodage et de présentation graphique ont été traités et maîtrisés.

Ces études constitueront encore, en 1977, une préoccupation majeure pour les chercheurs soucieux d'acquérir la maîtrise et la compréhension de l'instrument. Par ailleurs, une formation sur les mini-ordinateurs MITRA 15 des RONSARD a été acquise par Monsieur GILET (Météorologie Nationale). Elle pourra à présent être mise à profit pour améliorer le logiciel d'acquisition et de prétraitement des données en fonction des enseignements de 1976, et pour mieux faire face aux difficultés que semble encore susciter l'emploi de ce matériel informatique.

Parallèlement à la mise en oeuvre de RONSARD I, on a suivi le développement de RONSARD II, qui lui est pratiquement identique, mais a bénéficié substantiellement des essais sur le terrain. La restitution du 1er radar au constructeur LCT pour l'intégration du système total intervient en novembre 1976.

Enfin il semble qu'il existe une possibilité pour que la capacité d'acquisition des radars soit doublée, dès 1977, par l'observation, simultanément dans 64 portes de distance au lieu de 32, du signal rétrodiffusé par les précipitations (cette éventualité était d'ailleurs prévue dans l'architecture du radar).

### 2.1.3. Autres travaux

Les études scientifiques préliminaires et les travaux techniques ont pour thème commun, malgré leur diversité, la météorologie des zones précipitantes et la perspective de la mise des radars RONSARD au service de la communauté météorologique française.

a) L'intérêt du C.R.P.E. pour l'application du radar aux mesures hydrologiques a été soutenu malgré l'abandon pour des raisons personnelles par A. VIDAL MADJAR du sujet de 3ème Cycle qui lui avait été proposé. D'une part, on a maintenu un intérêt dans l'expérience "Hydromel" qui a pris la suite des expériences préliminaires avec le radar Mélodi, par une contribution en matériel (chaîne d'acquisition numérique et interface), en logiciel (programmes de dépouillement des données Mélodi) et une participation aux travaux de la commission "Hydrologie" du C.S.M. (Conseil Supérieur de la Météorologie).

D'autre part, ces premières expériences ont suggéré la conception d'un organe périphérique qui, associé à un radar, permettait de chiffrer en temps réel la lame d'eau tombée sur un bassin versant. Cet appareil qui a recueilli l'intérêt du Service Central Hydrologique du Ministère de l'Equipement, sera pratiquement achevé en 1976.

b) Le travail entrepris en 1975 par V. KLAUS, ingénieur de la Météorologie Nationale, s'est pleinement développé en ce qui concerne la théorie de la mesure de la granulométrie et des vitesses de chutes de la pluie au moyen d'un spectropluviomètre photoélectrique (Zédomètre). Quelques expériences ont été réalisées en 1975 et V. KLAUS a soutenu en février 1976 une thèse de 3ème Cycle sur l'ensemble de ses travaux (138).

Les premiers résultats, acquis dès 1975 et confirmés en 1976 bien que le zédomètre ne soit pas entièrement terminé, suggèrent des perspectives extrêmement intéressantes sur la physique de la chute de la pluie, et la granulométrie des gouttes d'eau.

c) Le séjour de P. WALDTEUFEL aux U.S.A. en 1974 a été suivi par diverses communications à des colloques en 1975 et 1976 sur l'établissement de corrélations entre la turbulence atmosphérique et la structure du champ de vitesse et sur l'évaluation du rôle de la dissipation turbulente dans le budget d'énergie dans un orage à tornades (219, 220).

d) La mise en oeuvre du RONSARD 1 en 1976 a permis de collecter quelques séries de données météorologiquement intéressantes, malgré les incidents techniques de jeunesse et la sécheresse de cette période. Quelques ensembles de données correspondent à des campagnes, organisées en commun par le C.R.P.E., l'E.E.R.M. et le C.E.P.T.A. (Université de Clermont), l'une en avril-mai (thème : fronts, perturbations dépressionnaires), l'autre en juin-juillet (cellules orageuses). Enfin des données ont été collectées en octobre 1976 sur des passages frontaux. Enfin, quelques observations de juin-juillet ont pu être conduites en coordination avec celles du DC 7 instrumenté du Groupe AMOR (D.R.M.E.).

Les observations de la période avril-juillet constituent la base de divers travaux techniques ou scientifiques. En particulier, une application de la méthodologie radar à la couche limite lors du passage d'un front a été entreprise par G. BREGER en vue d'un Doctorat de 3ème Cycle, sous la responsabilité de M. SAUVAGEOT (Université de Clermont) puis de J. TESTUD.

#### 2.1.4. Perspectives

Les années 1975 et 1976 ont vu un changement considérable dans la présente étude.

C'est ainsi que l'encadrement scientifique au début 1975 (REVAH, WALDTEUFEL) est complètement remplacé fin 1976 (TESTUD, BAROUCH) et que le personnel technique est également beaucoup modifié. Mais on doit surtout noter l'arrivée des RONSARD au plan opérationnel. La responsabilité première de l'équipe, qui était de bien concevoir le projet puis de bien conduire sa réalisation, cède à présent la place à l'exploitation technique et scientifique. Les problèmes, le rythme de travail, les sources de financement, les partenaires seront désormais différents.

2.2. ETUDE DE LA COUCHE LIMITE A L'AIDE DU RADAR ACOUSTIQUE DOPPLER

2.2.1. Soutien extérieur

- A.T.P. C.N.R.S. "Instabilités dans les fluides et les plasmas" (contrat n° 1866)

- Contrat D.R.M.E. n° 741099

- A.T.P. I.N.A.G. "Recherche Atmosphérique"

2.2.2. But général de l'étude

On utilise le sodar Doppler triple du C.N.E.T. (21) pour l'étude de l'évolution de la couche limite atmosphérique et des phénomènes qui y sont associés (11, 12, 13, 14, 98, 121, 122, 195, 196, 197, 223) : les campagnes de mesures faites du C.E.L. en 1974, puis à Chigné en juin 1975 ont fourni des données qui ont permis d'alimenter les cinq études suivantes :

a) Etude de l'évolution diurne de la hauteur de la couche d'inversion de température (entreprise par G. DUBOSCLARD de l'I.O.P.G. de Clermont-Ferrand).

b) Etude de l'évolution des profils de vent dans la couche limite.

c) Etude des cellules convectives.

d) Etude des ondes atmosphériques de petite échelle.

e) Etude de la turbulence atmosphérique.

Ces études sont en fait très imbriquées les unes dans les autres.

### 2.2.3. Résultats Scientifiques

#### a) Etude de l'évolution diurne de la hauteur de la couche d'inversion de température

Bien que cette étude soit entreprise par G. DUBOSCLARD qui appartient à l'I.O.P.G. de Clermont-Ferrand, nous en citons ici les premiers résultats car elle se déroule en collaboration étroite avec nos propres études, elle utilise le même matériel expérimental (dont le sodar double du C.N.E.T. et le sodar simple de l'I.O.P.G.) et sa direction scientifique est assurée par M. AUBRY (15).

G. DUBOSCLARD a pu comparer les vitesses de montée de la couche d'inversion observée lors des campagnes du C.E.L. et de Chigné avec les vitesses prévues par différents modèles simples éventuellement disponibles. Cela lui a permis de montrer que ces modèles sont insuffisants en ce qu'ils négligent le rôle important du profil de vent dans l'épaississement de la couche convective.

#### b) Etude de l'évolution des profils de vent dans la couche limite

La première phase de cette étude (178) s'est achevée par la thèse de 3ème Cycle de Monsieur CHONG. Elle a consisté à qualifier le sodar Doppler comme instrument de mesure des profils de vent en utilisant les mesures simultanées de vent par anémomètres sur mât ou ballon captif, les mesures par ballons pilotes et les dérives Doppler détectées à l'aide du sodar triple. Cette étude a prouvé la capacité du sodar de mesurer en permanence les profils de vent dans les premières centaines de mètres à raison d'une mesure de profil toutes les cinq minutes environ (16, 97).

c) Etude des cellules convectives

Après avoir démontré dans sa thèse de 3ème Cycle la non faisabilité de la mesure des profils de température et d'humidité par le sondage acoustique multi-fréquence P. VAN GRUNDERBEECK, ingénieur de la Météorologie Nationale, a abordé le problème des cellules convectives. Pour cela, il a mis au point un ensemble de visualisation sur console graphique (Versatec) des données sodar. Il a pu ainsi étudier les caractéristiques quantitatives importantes des cellules convectives, en particulier : la vitesse horizontale de transport des thermiques (grâce à une corrélation numérique entre les données des trois sodars) et la variation en fonction de l'altitude du rayon des thermiques et de la vitesse verticale de l'air en leur centre. Il a par ailleurs commencé une modélisation de ces thermiques afin de rechercher le modèle le plus représentatif tant au point de vue cellule convective considérée individuellement que sur le plan statistique (champ convectif).

d) Etude des ondes atmosphériques de petite échelle

L. EYMARD commence un étude systématique sur les ondes "vues" par le sodar, afin de mettre en évidence :

- 1) leurs caractéristiques ondulatoires,
- 2) les termes de transport associés à ces ondes (important pour l'énergétique de la couche limite atmosphérique).

e) Etude de la turbulence atmosphérique

A. WEILL a étudié les relations entre les mesures in situ de turbulence et les mesures sodar.

Les mesures in situ ont permis d'obtenir des évaluations de flux de chaleur et de moment, et en plus de déterminer de façon redondante avec le sodar les taux de dissipation de l'énergie turbulente.

Il s'est avéré que le sodar pouvait être réellement opérationnel dans les mesures de turbulence : taux de dissipation de l'énergie, flux de moments.

Des résultats intéressants ont été obtenus sur le comportement spectral des fluctuations turbulentes en présence de convection, que cette convection soit dynamique ou thermique ; ces résultats sont importants pour l'étude de la diffusion d'ondes acoustiques ou radioélectriques dans l'atmosphère.

#### 2.2.4. Résultats techniques

1976 a vu la réalisation par la Société Thomson du premier prototype de sodar commandé par la Météorologie Nationale. A la suite d'un accord conclu entre cet organisme et le C.N.E.T., ce prototype a été construit à partir de plans fournis par M. CHEZLEMAS qui a joué dans cette affaire un rôle de conseil technique.

Le sodar du C.N.E.T. étant unique en France, il a été prêté pour plusieurs campagnes d'étude de longue durée :

1) deux campagnes d'étude de la couche limite atmosphérique organisées par l'E.D.F. à Feissenheim en collaboration avec la Météorologie Nationale,

2) une étude de pollution atmosphérique à Toulouse dirigée par le Laboratoire de Physique des Aérosols et Echanges Atmosphériques de l'Université Paul SABATIER.

F. BAUDIN a terminé une étude comparative systématique des différents moyens analogiques et digitaux de mesure de la dérive Doppler d'un signal bruité. Après une phase expérimentale, cette étude devrait conduire à proposer un système de mesure des profils de vent par sodar Doppler ne nécessitant pas l'emploi d'un mini-ordinateur.

## 2.3. RADAR METEORIQUE

### 2.3.1. Sujets d'étude

Mesure de la vitesse du vent neutre dans l'atmosphère entre 80 et 110 km d'altitude par détection au sol d'écho météorologique.

Etude de la turbulence et de la propagation des ondes de marée, des ondes de gravité et des ondes planétaires.

Etude de la circulation générale dans la haute atmosphère.

Comparaison de différentes méthodes de mesure du vent dans la haute atmosphère.

### 2.3.2. Exploitation et dépouillement

Au cours de l'année universitaire 1975-1976, 4 campagnes ont été effectuées à Garchy (Nièvre), dont 3 simultanément avec le radar météorologique installé à Monpazier (Dordogne). Les campagnes de longue durée effectuées en octobre-novembre 1975 (35 jours) et janvier 1976 (22 jours) ont été faites dans le cadre du Global Meteor Radar Wind Special Program sous la responsabilité de l'AIGA, et de la campagne d'étude de l'anomalie d'hiver coordonnée par le Pr. OFFERMANN (RFA).

### 2.3.3. Nouveaux équipements

L'effort essentiel a été consacré à la préparation de l'expérience à 2 émetteurs (cf. infra.). Dans ce but, un émetteur à 29,7 MHz a été remis en état.

L'équipement nécessaire à la commutation des deux émetteurs a été mis définitivement au point et essayé en vraie grandeur.

L'interface entre la chaîne de réception et le calculateur qui pilotera cette expérience a été mis en place. L'emplacement où doit être installé le second émetteur a été choisi (Sainte-Sabine) et son équipement a été mis en oeuvre.

#### 2.3.4. Etude de la turbulence à moyenne échelle

Cette étude se fera en utilisant les mesures de vent simultanées en deux points éloignés de 1 à 3 km sur la même traînée. Pour ce faire, on utilisera 2 émetteurs situés en deux points distants de 4 kilomètres et une station de réception. Ces émetteurs fonctionneront alternativement : lorsque la station de réception aura détecté un écho météorique provenant du premier émetteur et en aura déterminé les caractéristiques, cet émetteur sera arrêté tandis que le second émetteur sera mis en marche et permettra d'obtenir les caractéristiques d'un autre écho sur la même traînée.

Ce processus ne peut être commandé que par un calculateur en temps réel permettant la commutation rapide d'un émetteur à l'autre. Les programmes de commande ont été mis au point et une simulation à partir d'échos enregistrés sur bande magnétique a montré qu'on pouvait escompter 700 couples d'échos par jour.

Cette étude permettra d'étudier la turbulence à moyenne échelle et en particulier sa relation avec les autres mouvements présents dans la haute atmosphère. Ceci pourrait permettre de vérifier les théories selon lesquelles la turbulence résulte d'interactions non linéaires entre ces mouvements.

Cette expérience devrait débuter en décembre 1976.

### 2.3.5. Etude de la structure des marées

La variation saisonnière des marées (34, 35, 106, 188) a été déterminée à partir des données obtenues depuis 1970. Pour la marée semi-diurne, on trouve en hiver une onde qui se propage avec une longueur d'onde verticale de l'ordre de 40 km, ce qui correspondrait au mode théorique  $S_2^4$  ou  $S_2^5$ .

En été, on trouve une longueur d'onde très grande associée à une amplitude qui croît très peu en fonction de l'altitude, ce qui pourrait correspondre à un mode  $S_2^2$  qui perdrait de l'énergie. Les régimes d'automne et de printemps peuvent être interprétés comme une superposition des 2 comportements.

Pour la marée diurne, on trouve en général un mouvement de 30 à 40 km de longueur d'onde verticale qui ne correspond à aucun mode théorique connu, sauf en automne où la longueur d'onde verticale est plus faible. Ces déterminations ne reflètent cependant pas la grande variabilité journalière de cette composante qui rend son étude théorique très complexe.

En ce qui concerne l'étude théorique de l'excitation de la marée semi-diurne, on a mis en évidence l'influence de la forme de la couche d'ozone sur les modes excités. Des dernières mesures d'ozone obtenues par satellite on peut ainsi déduire la possibilité que les modes d'ordre élevé soient excités.

Enfin, bien que la variation jour à jour de la marée semi-diurne soit plus faible que celle de la marée diurne, son amplitude présente une modulation pouvant atteindre 100 % de période 4 à 8 jours. Ceci peut s'expliquer soit par une variation de l'excitation, soit par une variation des conditions de propagation, liée à la présence d'ondes de grande période.

La comparaison des données de marée obtenues simultanément à Kiruna et Garchy a montré que ces mouvements sont simultanément stables ou instables. Lorsqu'ils sont stables (cas des expériences d'hiver ou d'été), ils ont à peu près la même amplitude et la même longueur d'onde verticale.

Lorsqu'ils sont instables, les résultats sont différents, ce qui montre qu'on ne peut négliger l'aspect local des mouvements de marée.

### 2.3.6. Structure des ondes planétaires et de la circulation générale

La variation saisonnière de la circulation générale a été étudiée à Garchy et Kiruna (154). Elle a montré beaucoup de similitude entre les 2 stations. Le gradient du vent dominant zonal est positif en hiver et négatif en été, alors qu'il est presque nul aux équinoxes (36). Ceci est comparable aux résultats obtenus à l'étranger aux latitudes moyennes de l'hémisphère Nord et pour les saisons homologues aux latitudes moyennes de l'hémisphère Sud.

Les ondes planétaires (34, 153) mises en évidence à Garchy ont aussi une variation saisonnière très marquée. Le trait le plus caractéristique est l'existence d'une onde de période proche de 2 jours présente systématiquement en été et très souvent en hiver. On trouve en outre des mouvements de période inférieure à 3 jours en été et supérieure à 4 jours durant les autres saisons. Bien qu'aucune relation directe n'ait été mise en évidence, on a pu constater que durant les hivers sans échauffements stratosphériques majeurs, il y avait très peu d'ondes de longue période.

L'analyse de la structure en latitude des ondes de longue période s'est poursuivie sur 2 plans. D'une part, le programme de coopération franco-soviétique a permis de comparer des données sur l'onde de période 2 jours observée simultanément à Garchy, Obninsk et Volgograd (120, 151) ; la polarisation de cette onde est variable d'une station à l'autre, ce qui ne peut s'expliquer par une propagation simple. D'autre part, on constate que l'onde de période 2 jours est présente aussi en été à Kiruna, où elle est en opposition de phase avec celle observée à Garchy, ce qui implique que la structure en latitude comporte un noeud entre 46° N et 68° N.

L'ensemble de ces résultats semble bien indiquer le caractère planétaire de cette onde qui est, d'ailleurs, observée aussi aux U.S.A. et dans l'hémisphère Sud.

## 2.4. SONDAGES PAR DIFFUSION INCOHERENTE DE LA HAUTE ATMOSPHERE

Les activités de l'équipe sont organisées autour d'un gros instrument (23,29) qui utilise la diffusion "incohérente" (22) d'une onde hyperfréquence par l'ionosphère.

### 2.4.1. Activité technique

L'activité technique de l'équipe sondeur s'est exercée dans trois directions :

a) Résoudre les problèmes d'étalonnage du signal de diffusion incohérente reçu à Mende et Monpazier.

b) Mettre au point une procédure d'élimination en temps réel des échos dûs aux avions qui perturbent gravement les spectres obtenus à basse altitude.

c) Mettre en oeuvre l'appareillage d'observation de la raie de plasma à Nançay et à Mende.

#### a) Etalonnage du signal à Mende et à Monpazier

Un tel étalonnage supposait :

- 1) que l'on soit à même d'étalonner le bruit,
- 2) que l'on réduise les fluctuations de gain des amplificateurs paramétriques,
- 3) que l'on connaisse les gains et les lobes des antennes de réception.

Une procédure d'étalonnage du bruit utilisant un tube à bruit commandé par l'ordinateur et intervenant pour chaque problème a été mise au point par VIDAL MADJAR et BERTIN.

Le problème des fluctuations de gain des amplificateurs paramétriques a été résolu en introduisant des joints souples entre les lignes hyperfréquence plongeant dans les amplificateurs et les guides.

La détermination de la position et de la forme des lobes des antennes de Mende et Monpazier a été effectuée à partir de l'observation de radiosources. Après constatation des imperfections des antennes (rendement trop faible, lobe déformé et décentré à Mende), un contrôle par photogrammétrie de la position des réflecteurs secondaires et des sources a été commandé à l'I.G.N.

#### b) Elimination des échos "avion" à basse altitude

Les échos avions sont des échos parasites très intenses, quasi monochromatiques, dont la fréquence glisse dans le temps à une vitesse de 1 kHz en quelques minutes. Si on intègre le signal normalement pendant plusieurs minutes, une part importante du spectre est affectée. La solution provisoire adaptée consiste à traiter les spectres de diffusion en temps réel après pré-intégration sur 10 s. Cette méthode a porté ses fruits : depuis sa mise en place, les spectres basse altitude sont analysables à l'aide du programme de régression sur les spectres théoriques. La solution définitive (en cours de réalisation) mettra en oeuvre les corrélateurs "spectres" dont on exploitera l'excellente résolution spectrale (40 Hz sur 3 kHz).

#### c) Mise en oeuvre de l'observation de la raie de plasma à Nançay et Mende

Le logiciel pour l'exploitation du corrélateur plasma à la station de Mende est quasiment au point.

La partie numérique de l'équipement de Nançay a été modifiée pour pouvoir acquérir simultanément le spectre ionique et la raie de plasma. Par ailleurs la possibilité d'observer simultanément les deux raies de plasma (haute et basse) a été développée grâce à un nouveau montage des batteries de filtres et des oscillateurs variables.

d) Perspectives pour 1977

Des modifications du corrélateur plasma ont été commandées au LETI (constructeur de l'appareil) pour le rendre apte à exploiter les signaux d'un radar fonctionnant en impulsions. On projette en effet de transporter ce corrélateur en 1977 sur le site de Chatanika (Alaska) pour y observer la raie de plasma dans des conditions de zone aurorale.

2.4.2. Activité scientifique

L'activité scientifique de l'équipe sondeur a couvert trois grands secteurs : dynamique et structure de l'atmosphère neutre (24, 28, 56, 93, 125, 126, 155, 156, 157, 171, 187, 203), électrodynamique du plasma ionosphérique (25), étude du gaz d'électrons et de photoélectrons au moyen des observations de raie de plasma.

a) Dynamique et structure de l'atmosphère neutre

Les études menées par P. AMAYENC en collaboration avec D. ALCAYDE (C.E.S.R. Toulouse) sur la circulation générale et la structure globale de la thermosphère supérieure ont trouvé leur aboutissement dans une thèse d'Etat passée le 25 novembre 1975 (2).

L'un des résultats les plus marquants de P. AMAYENC et D. ALCAYDE a été de mettre en évidence l'importance des transports énergétiques horizontaux associés à la circulation générale dans la thermosphère, et leur influence sur la définition de la structure thermique (1, 3).

Une étude conjointe des marées atmosphériques et des champs électriques qui leur sont associé par effet dynamo a été engagée par R. BERNARD et M. BLANC.

F. BERTIN et J. TESTUD (37, 45, 205) ont détecté des ondes de gravité de moyenne échelle à partir des données d'une expérience coordonnant le sondeur à diffusion incohérente et un système de 3 polarimètres séparés de plusieurs centaines de km et mesurant la rotation de phase d'un signal émis par un satellite géostationnaire. Le sondeur fournit la structure verticale et les trois paramètres la structure horizontale.

Le travail de C. TAIEB sur le phénomène de vallée en région F1 a abouti à la conclusion que les processus dynamiques jouaient bien un rôle déterminant dans sa formation (202).

#### b) Electrodynamique du plasma ionosphérique

M. BLANC et P. AMAYENC se sont efforcés de dégager les principaux traits morphologiques des champs électriques observés au-dessus de St. Santin. Ils ont mis en évidence une grande stabilité jour à jour du comportement en période de calme magnétique, et l'apparition d'intenses perturbations de durée typique 1 à 2 heures en période agitée.

M. BLANC travaille à l'interprétation de ces résultats morphologiques (51, 52, 53). Ses préoccupations sont :

1) développer un modèle dynamo global (en collaboration avec P. AMAYENC) pour interpréter les champs électriques de période calme.

2) caractériser les liens entre les perturbations de champ électrique et l'activité magnétosphérique en période agitée et examiner dans quelle mesure les perturbations observées à St. Santin pourraient être la manifestation de la pénétration à moyenne latitude du champ électrique des sous-orages (204).

L'aspect basse latitude de l'électrodynamique globale de l'ionosphère (Electrojet équatorial) lié à l'électrodynamique de moyenne latitude, a été couvert par P. VILA et J.M. FAYNOT (103, 214, 215, 218).

c) Etude du gaz d'électrons et de photoélectrons

D. VIDAL MADJAR a étudié les fluctuations de densité électronique de courte période fournies par les observations de raie de plasma (211, 212, 213). Il en a donné une interprétation en terme de bruit d'ondes de gravité présentes dans le milieu neutre et induisant des fluctuations de densité électronique.

G. LEJEUNE et W. KOFFMANN du CEPHAG ont évalué les flux de photoélectrons à partir de l'intensité de la raie de plasma, et les ont confrontés aux évaluations théoriques fournies par leur modèle G. LEJEUNE et P. BAUER ont montré que le décalage d'ensemble des deux raies de plasma étaient interprétable en terme de courant d'électrons thermiques (26, 27, 54, 55).

## 2.5. PROJET EISCAT

### 2.5.1. Soutien extérieur

Il s'agit d'un projet en collaboration internationale (Allemagne, Grande Bretagne, Norvège, Finlande, Suède). La contribution financière française provient du C.N.R.S. et du C.N.E.T. Une société de droit privé suédois nommée EISCAT est chargée de la gestion de l'opération.

### 2.5.2. But général de l'étude

Mise en place d'un sondeur à diffusion incohérente aux latitudes aurorales. C'est un projet qui poursuit à la fois des objectifs complémentaires aux observations effectuées aux moyennes latitudes, et des objectifs scientifiques nouveaux : structure et dynamique de l'atmosphère et de l'ionosphère aurorales, étude des processus magnétosphériques par l'intermédiaire des coupages ionosphère - magnétosphère.

### 2.5.3. Elaboration du dispositif expérimental

Les chercheurs du C.R.P.E. ont participé à la conception du dispositif expérimental, en particulier dans le cadre du Comité Scientifique Consultatif de la Société EISCAT.

### 2.5.4. Etat d'avancement des réalisations techniques

Un marché a été passé entre la société EISCAT et la société américaine Aydin Energy Systems pour la fourniture d'un émetteur UHF et d'un émetteur VHF.

Un appel d'offres international a été lancé pour la fourniture d'une antenne (émission-réception) UHF et de quatre antennes (réception) UHF.

La rédaction d'un cahier des charges pour l'antenne VHF est en cours. L'étude correspondante met en jeu le concours de MM. BEHE et ZEHREN du département APH.

## 2.6. RESONANCES DES PLASMAS SPATIAUX

Les activités de l'"équipe résonances" se sont partagées cette année entre des études théoriques ou expérimentales des signaux de résonance et la préparation d'expériences en satellite, utilisant ce phénomène comme moyen de diagnostic du plasma magnétosphérique (100, 101, 102, 130).

### 2.6.1. Etude des résonances à la gyrofréquence

(J. BITOUN, H. DE FERAUDY, B. HIGEL)

En combinant des estimations théoriques et les mesures faites lors de l'expérience en fusée EIDI 3 on a cherché dans lequel des deux modes possibles (quasi-perpendiculaire ou quasi-parallèle au champ magnétique) se propagent ces ondes. Les caractéristiques mesurées des échos sont les suivantes : très monochromatiques, l'écart de leur fréquence à la gyrofréquence est très faible (inférieur au pour mille) et plutôt négatif, l'influence de l'orientation de l'antenne par rapport au champ magnétique indique un vecteur d'onde proche de un  $m^{-1}$ . Toutes ces observations plaident en faveur d'une propagation quasi-parallèle : les calculs indiquent une résonance possible dans une direction située à environ  $10^\circ$  du champ magnétique.

### 2.6.2. Etude des résonances aux harmoniques de la

gyrofréquence (J. BITOUN, H. DE FERAUDY, B. HIGEL)

Des comparaisons entre les résultats théoriques obtenus par l'équipe durant les années précédentes et des mesures dans l'ionosphère ont confirmé la validité des calculs (48, 49, 50).

Pour les résonances à  $2f_H$  on a pu comparer à la fois la fréquence des échos reçus et la rapidité de décroissance des signaux en utilisant les mesures faites lors de l'expérience en fusée EIDI.

Pour les résonances aux harmoniques supérieures de la gyrofréquence, on s'est pour l'instant contenté d'étudier la durée des échos résonnants en utilisant les mesures plus grossières du satellite Alouette, analysées par un chercheur américain (R. BENSON).

#### 2.6.3. Etude expérimentale des résonances de plasma dans l'ionosphère (B. HIGEL)

L'étude détaillée des échos à la fréquence de plasma observés lors de l'expérience en fusée EIDI 3 (128, 129), a permis de mettre en évidence des fluctuations de densité du milieu. Ces résultats ont été présentés par B. HIGEL au Symposium sur les expériences actives (130).

#### 2.6.4. Etude des résonances à la fréquence de plasma pour un plasma bi-maxwellien (J. BITOUN, H. DE FERAUDY)

Les calculs destinés à établir une équation de dispersion valable au voisinage de la fréquence de plasma lorsque deux populations, une chaude et une froide, sont en présence, ont été poursuivis.

#### 2.6.5. Satellite GEOS (J. ETCHETO, B. HIGEL)

La préparation de l'expérience S 301 sur le satellite GEOS, qui doit être lancé en avril 1977, s'est poursuivie.

Le rapport d'activité concernant la construction de l'équipement figure au chapitre 2.8.

La préparation du dépouillement au C.N.E.S. et l'installation d'un centre de dépouillement au C.N.E.T. ont été décrits dans le rapport de B. de la Porte des Vaux, l'aspect scientifique de cette activité pour S 301 étant pris en charge par l'équipe résonances (J. ETCHETO).

La préparation du traitement et de la télécommande en temps réel de l'expérience S 301 s'est poursuivie (B. HIGEL) avec l'aide de l'équipe "mini-calculateurs" (J.P. IRLANDE). L'équipe "technique sol" a également participé à cette expérience en réalisant un équipement destiné à tester l'interface entre le calculateur HP 2100 du C.R.P.E. et le calculateur Siemens de l'ESOC (J. BILBILLE, A. DECOURTRAY). Une première intégration de notre calculateur HP 2100 dans la chaîne de traitement ESOC s'est achevée de façon satisfaisante : l'échange de messages entre le calculateur Siemens de l'ESOC et notre HP 2100 se déroule maintenant de façon correcte. Un essai beaucoup plus complet, en présence du satellite, permettant de tester l'ensemble satellite-chaîne ESOC - HP 2100 en boucle fermée (en utilisant la télémétrie et la télécommande) a été effectué en Décembre 1976. Cela nous a permis de vérifier que nos programmes étaient opérationnels dans des conditions proches de la réalité.

2.6.6. Satellite ISEE-A (J. ETCHETO) (lancement prévu Octobre 1977)

La réalisation de cette expérience, faite en collaboration avec le département de radioastronomie spatiale de l'Observatoire de Meudon, sous la responsabilité de C.C. HARVEY, s'est poursuivie. Le premier modèle de vol a été livré en Octobre 1976 (voir le paragraphe 2.8.2. ci-dessous pour plus de détails). L'équipe "technique au sol" a également participé à cette expérience en faisant une étude comparative de plusieurs modèles de préamplificateurs (F. BAUDIN, A. DECOURTRAY).

L'aspect scientifique de l'expérience est suivi par l'équipe résonances du C.R.P.E./E.T.E. et C.C. HARVEY (Meudon).

Une première définition du traitement à faire subir aux données a été fournie au C.N.E.S., avec lequel les discussions se poursuivent actuellement.

L'intégration du modèle de vol du satellite a eu lieu en octobre 1976 au GSFC.

2.6.7. Satellite GEOSARI (J. ETCHETO)

La proposition de lancer le modèle de qualification du satellite GEOS lors du deuxième vol du lanceur Ariane (en 1980) a été acceptée par l'ASE sous le nom de GEOSARI.

2.6.8. Divers

Une proposition d'expérience pour la mission Jupiter Orbiter Probe a été soumise à la N.A.S.A. (J. ETCHETO).

Enfin, plusieurs d'entre nous ont enseigné, régulièrement (H. De FERAUDY) ou occasionnellement (J. BITOUN, J. ETCHETO).

## 2.7. INTERACTIONS ENTRE ONDES ET PARTICULES

L'activité du groupe a été centrée autour de trois pôles : préparation des opérations et du dépouillement de l'expérience S. 300 sur le satellite GEOS, étude scientifique des interactions entre ondes et particules dans la magnétosphère, mise au point de nouvelles méthodes d'analyse spectrale de signaux.

### 2.7.1. Préparation des opérations et du dépouillement de GEOS - Expériences associées

Les modes opératoires du satellite pour l'expérience S. 300 ont été définis. Ils sont organisés autour de "Programmes Scientifiques" conduisant chacun à une série d'ordres de télécommande bien spécifiés.

Les principes de la sélection automatique des données de GEOS ont été établis en liaison avec le C.N.E.S. Pour chaque programme scientifique, un traitement complexe des "données comprimées" (dérivées en temps réel du signal de télémessure) permet d'attribuer une "note" destinée à sélectionner les meilleures "données à haute cadence" (issues directement de la télémessure). Seules les données sélectionnées (environ 15 % des données acquises) seront conservées, les autres étant effacées après un délai de 3 mois pour permettre l'enregistrement de nouvelles données.

La définition du traitement ultérieur des données sélectionnées est en cours d'élaboration pour les ondes naturelles UBF (Mmes PERRAUT, et De VILLEDARY) ou pour les ondes naturelles TBF (Mme CORNILLEAU, M. LOISIER).

Parallèlement, on a mis au point, avec l'aide du Laboratoire de Géophysique Externe de Saint-Maur, les capteurs qui font partie de la station mobile de réception de signaux géophysiques de l'I.N.A.G. (responsables : MME PERRAUT, MM. GABISON et LAURENT).

Cette station sera utilisée au pied de la ligne de force passant par le satellite GEOS. Elle permettra de comparer les signaux reçus au sol et en satellite et l'on en tirera d'utiles informations sur la propagation des ondes radioélectriques UBF et TBF dans la magnétosphère. Une campagne préliminaire est organisée en Norvège pendant les mois de novembre et de décembre 1976.

L'ensemble de ces travaux a donné lieu à la publication de notes exclusivement techniques dont il n'est pas fait mention ici.

### 2.7.2. Etude des interactions ondes-particules

Le travail théorique entrepris les années précédentes a été poursuivi dans plusieurs directions : ondes électrostatiques, phénomènes non-linéaires, rôle du rapport de densité du plasma froid et du plasma chaud, rôle de la convection magnétosphérique. Une étude légèrement différente sur les échos de dérive des électrons de haute énergie détectés à bord du satellite géostationnaire ATS 5 a également été menée à bien.

#### a) Ondes électrostatiques

Un mode de calcul de la stabilité marginale des ondes électrostatiques dans un mélange de plasma chaud et froid a été mis au point. On en a déduit que les ondes les plus amplifiées (par une distribution de particules en "cônes de pertes") le sont dans une gamme de fréquence assez étendue : de 1.3 à 1.8 fois la gyrofréquence électronique  $f_{ce}$  pour le premier mode excité, 2.3 à 2.8  $f_{ce}$  pour le deuxième mode, etc... Les directions préférentielles de normales d'onde sont assez différentes de  $90^\circ$  (ASHOUR-ABDALLA, 4 et 5).

L'étude détaillée du comportement de ces instabilités pour différentes rapports  $n_c/n_h$  ( $n_c$  : densité de plasma froid,  $n_h$  : densité de plasma chaud),  $T_c/T_h$  ( $T_c$  : température du plasma froid,  $T_h$  : température du plasma chaud), A (anisotropie du plasma chaud) et  $\Delta$  (proportion des électrons chauds ayant une distribution en "cône de pertes") a été effectuée (ASHOUR-ABDALLA 6, 7, 8, 9 et 10).

Ces travaux ont pu être menés à bien grâce au concours du Pr. C.F. KENNEL (Université de Californie, Los Angeles) qui a été l'hôte du C.N.E.T. et de l'Ecole Polytechnique pendant une année.

Dans le but de développer ces travaux, Mme ASHOUR-ABDALLA s'est rendue aux Etats-Unis pour une année en mars 1976.

### b) Phénomènes non-linéaires

Le piègeage des particules dans une onde monochromatique d'amplitude finie a été étudié. Cette étude a été appliquée au cas des électrons de moyenne énergie piégés dans une onde radioélectrique naturelle de type "sifflement" ou artificielle (émetteurs TBF de grande puissance). Le dépiégeage des particules en dehors de l'équateur, lié à l'inhomogénéité du milieu, conduit à la création de faisceaux d'électrons susceptibles d'engendrer de nouvelles ondes TBF. On explique ainsi le mécanisme de certaines émissions déclenchées observées dans la bande de 1 à 20 kHz (ROUX, 173, 174, 185, 186 ; ROUX et PELLAT, soumis à J. Geophys. Res.).

### c) Rôle du rapport $n_c/n_h$ dans les interactions de type cyclotronique

Qu'il s'agisse de très basses fréquences ( $\sim 1 - 10$  kHz) ou d'ultra-basses fréquences ( $\sim 0.3 - 3$  Hz), les interactions de gyrorésonance dépendent du rapport  $n_c/n_h$ . On a montré qu'il existe une valeur optimale du rapport  $n_c/n_h$  pour obtenir l'amplification maximale (PERRAUT et ROUX, 176).

Les iso-contours du coefficient d'amplification dans un plan énergie des particules géocentriques ont été tracés pour différents modèles de répartition de  $n_c$  et  $n_h$  en fonction de la distance géocentrique (PERRAUT, GENDRIN, ROUX, 175). On a pu établir que le bord interne de la plasmopause n'est pas toujours le lieu d'une amplification privilégiée et par conséquent pas toujours le lieu de précipitation intense de particules (GENDRIN, 112, 113, 114, 115, 116).

d) Rôle de la convection dans les interactions de type cyclotronique

La convection magnétosphérique introduit une modification des caractéristiques du plasma chaud en fonction de la distance géocentrique et de la longitude (ASHOUR-ABDALLA, 81, 82).

La structure des zones interdites pour les électrons et les protons en fonction de l'énergie a été étudiée (ASHOUR-ABDALLA, 83, 84, 85). Des formules analytiques simples ont été trouvées qui permettent d'évaluer le changement d'anisotropie, de densité et d'énergie caractéristique des particules au cours de ce mouvement. On en a déduit les fréquences centrales des émissions cyclotroniques (SOLOMON, 134). La comparaison avec les variations observées du flux des particules ou de leur distribution angulaire s'avère bonne (SOLOMON, 190, 191, 192, 193, 194).

e) Echos de dérive observés à bord du satellite géostationnaire ATS-5

Les données sur les électrons de haute énergie (0.7 - 2,6 MeV) que GENDRIN avait prétraitées lors de son séjour à l'Université de Californie (San Diego) ont été analysées par corrélation et transformée de Fourier. Il a été montré que la période de dérive vérifie bien la loi de variation en fonction de l'énergie. Par méthode de moindres carrés, il a été possible de mettre en évidence les relations qui existent entre la période de dérive (à énergie donnée) et les indices magnétiques  $K_p$  et AE. Une modélisation du champ magnétique dans la cavité magnétosphérique permet de calculer les valeurs théoriques de cette période de dérive. La comparaison entre valeurs théorique et expérimentale a permis d'établir une relation entre  $K_p$  et la distance géocentrique du point subsolaire de la magnétopause et entre l'indice AE et l'intensité du courant dans la couche neutre (CHANTEUR, GENDRIN, PERRAUT, 76) ; CHANTEUR et al., soumis à J. Geophys. Res.

### 2.7.3. Traitement du signal

Les travaux (111) se sont poursuivis dans trois directions différentes : mise au point d'appareils utilisant le concept de fréquence instantanée, mise au point d'une nouvelle méthode d'analyse des signaux non stationnaires utilisant l'information de phase contenue dans la transformée de Fourier, et étude des fondements théoriques de l'algorithme de Burg (méthode de l'entropie maximale).

#### a) Fréquence instantanée

La méthode analogique du calcul de la fréquence instantanée (BERTHOMIER, 38, 39, 40, 41, BERTHOMIER et CORNILLEAU-WEHRLIN, 42, 43, 44) a été adaptée à différents types de signaux naturels.

Un exemplaire fonctionnant dans la gamme 0,2 - 5 Hz a été intégré dans la station mobile de l'I.N.A.G.

Un autre exemplaire, travaillant simultanément dans deux bandes de fréquence, est en fonctionnement au laboratoire. Il est utilisé pour l'analyse de signaux non stationnaires, à la requête de différents Instituts (Laboratoire de Géophysique Externe pour l'analyse des signaux reçus pendant les tirs ARAKS ; Laboratoire de Physique et Chimie de Lyon pour l'étude des systèmes sonar du dauphin et de la chauve-souris ; Laboratoire d'Ethologie des Primates du C.N.R.S. pour l'étude du langage des gibbons). Ce dernier travail a donné lieu à une publication commune (92).

Mention particulière doit être faite de l'application de ce système à l'analyse de la parole : dans le cadre du Contrat de Recherche Interne du C.N.E.T. n° 75.08, on a réalisé un ensemble permettant de visualiser les fréquences centrales des 2 formants bas de chaque voyelle.

b) Accroissement de la résolution dans le plan  
fréquence-temps

L'analyse spectrale des signaux non stationnaires se heurte souvent à la relation d'incertitude  $\Delta f \cdot \Delta t \sim 1$  où  $\Delta f$  est la résolution en fréquence et  $\Delta t$  la résolution en temps.

Un jeune stagiaire japonais, en séjour au département E.T.E., a inventé une méthode (the Modified Mowing Window method ou M.M.W.M.) qui est une modification de la méthode classique d'analyse par une fenêtre glissante. Cette méthode prend en compte l'information de phase contenue dans la transformée de Fourier et concentre l'énergie du signal (initialement étalée dans le rectangle  $\Delta f, \Delta t$ ) au voisinage d'une ligne qui correspond à la variation de la fréquence instantanée en fonction du temps (ou du temps de groupe en fonction de la fréquence). Appliquée à des signaux de fréquence et d'amplitude variables, cette méthode fournit des représentations extrêmement fines dans le plan fréquence-temps (KODERA, 140, 141, 142, 143, 144). Sur les conseils de L.R.O. STOREY on a étudié quantitativement la réponse fournie par cette méthode lorsqu'elle est appliquée à des signaux pour lesquels le produit bande passante durée est faible ; on l'a comparée avec celle fournie par diverses méthodes classiques (KODERA et GENDRIN, soumis à I.E.E.E. Transactions). La figure 1 donne un exemple qui démontre la puissance de cette méthode. On a également montré que, dans le cas de mélange de deux signaux de fréquence variable, M.M.W.M. est capable de restituer la structure originale pour une séparation des deux signaux très proche de la séparation limite (GENDRIN et De VILLEDARY, soumis à J. Geophys. Res.).

c) Représentation complexe de la polarisation d'un  
signal

Les ondes électromagnétiques naturelles sont en général des ondes planes polarisées elliptiquement. M. KODERA a étendu à des signaux à bande large la méthode de décomposition d'un signal elliptique en deux signaux de polarisation circulaire opposée. Il a mis au point une méthode analogique qui recourt à l'utilisation des analyseurs de fréquence instantanée décrits plus haut. Cette

méthode a été appliquée au cas des oscillations UBF enregistrée en deux stations conjuguées et a permis une comparaison extrêmement fine de la polarisation de ces signaux à diverses fréquences (KODERA, 117, KODERA et al., soumis à J. Geophys. Res.).

d) Méthode de l'entropie maximale

Récemment de gros efforts ont été entrepris, tant au plan théorique qu'au plan pratique, pour mesurer avec précision la fréquence d'un signal bruité dont on ne dispose que d'un échantillon de faible durée (quelques oscillations). Certaines de ces méthodes sont liées au calcul d'un estimateur "raisonnable" de la fonction d'autocorrélation pour les écarts pour lesquels elle n'est pas connue ; elles s'appuient sur des techniques de prédiction linéaire qui maximisent l'entropie du signal.

L'une d'entre elles est connue sous le nom d'algorithme de Burg. M. CHANTEUR a étudié en détail ces méthodes. Dans un article de synthèse, il en a étudié les caractéristiques ainsi que les limites de validité. Il a montré analytiquement comment la phase originale du signal et sa durée influent sur le résultat obtenu ; il s'est également attaqué au problème ardu de la détermination de l'ordre optimal du filtre de prédiction. Bien qu'extrêmement puissantes, ces méthodes sont également extrêmement délicates et M. CHANTEUR en a bien démontré les limites (CHANTEUR, 75). La figure 2 donne un exemple de la résolution obtenue par cette méthode sur deux signaux naturels de période voisine de 500 secondes enregistrées pendant une heure.

## 2.8. TECHNIQUES SPATIALES

Les fonctions du groupe "Techniques Spatiales" sont d'étudier, de réaliser et de mettre en oeuvre des équipements pour des expériences embarquées (et éventuellement des expériences "sol" associées).

En 1976, l'activité du groupe a porté sur les expériences suivantes :

- expérience S. 300 GEOS
- expérience HAM I.S.E.E. - A
- expérience ISOPROBE ARCAD 3
- Station Mobile

Ces expériences sont décrites par ailleurs du point de vue scientifique.

### 2.8.1. Expérience S. 300 GEOS

Rappelons que cette expérience (17, 18, 19, 123, 135, 140) sous la responsabilité technique du groupe est une expérience "Ondes" complexe dans laquelle sont impliqués plusieurs laboratoires Européens ;

le C.R.P.E. (Départements E.T.E. et P.C.E.)

le Space Science Department de l'A.S.E.

le Danish Space Research Institute

En 1976, l'essentiel des activités a consisté en l'intégration de l'expérience sur les deux modèles du satellite (modèle de qualification et modèle de vol) et en une série de tests permettant de vérifier le bon fonctionnement de l'expérience (158, 159).

tests EMC (compatibilité électro-magnétique)

vibrations

vide-thermique

tests de simulation pour lesquels a été réalisé une baie permettant de simuler les résonances du plasma et la rotation du satellite et des ondes.

Les résultats sont satisfaisants et le lancement est prévu en avril 1977.

#### 2.8.2. Expérience HAM - I.S.E.E. - A

L'expérience comprend :

- 1 récepteur (gamme 300 Hz - 350 KHz) : préamplificateurs - synthétiseur de fréquence : 256 pas analyseurs balayés en fréquence
- 1 mémoire 16 K bits
- 1 programmeur

Le prototype a été terminé et testé en 1976.

Le modèle de vol n° 1 après tests (vibrations, EMC, vide-thermique) a été livré à la N.A.S.A. fin octobre 1976.

Le modèle de vol n° 2 sera livré en décembre 1976.

Parallèlement un équipement permettant de tester l'expérience a été réalisé.

Le lancement est prévu en octobre 1977.

### 2.8.3. ARCAD 3

La participation du groupe aux expériences ISOPROBE et DYCTION a consisté en 1976 en l'étude et en la réalisation de maquette du matériel suivant :

- préamplificateurs de charge rapide et de faible consommation (exp. DYCTION).
- un convertisseur d'alimentation DC/DC de puissance  $\sim 15$  W rendement  $> 80$  % (exp. ISOPROBE).
- un convertisseur identique dans son principe mais de puissance plus faible ( $\sim 7$  W), sera également fourni pour l'expérience DYCTION.

un synthétiseur de fréquence gamme 0.1 - 10 MHz, 512 pas temps d'accrochage très court (balayage complet en 500 ms) (exp. ISOPROBE).

### 2.8.4. Station mobile de réception de signaux géophysiques de l'I.N.A.G.

Pour cette station construite avec l'aide du L.G.E. à Saint-Maur on a réalisé différents sous-ensembles :

- filtres numériques pour rejeter des raies parasites
- amplificateurs à seuils
- batteries de filtres de bande

Un système d'étalonnage automatique est en cours d'étude.

On a également développé des capteurs EBF et TBF plus sensibles que les capteurs embarqués sur GEOS ou ARAKS mais de même principe (136)

N.B. : Un équipement similaire est également construit pour la station de Kerguelen

## 2.9. MINI-INFORMATIQUE

### 2.9.1. Rôle du laboratoire

Crée en 1973, pour le dépouillement et le traitement des données du Sodar triple, le centre mini-informatique a étendu en 1976 son domaine d'activité aux radars Doppler et à l'expérience GEOS/ S 301.

Un mini-calculateur répond aux besoins de ces études de basse atmosphère, un autre étant affecté aux problèmes de dépouillement en temps réel de l'expérience S 301.

### 2.9.2. Réalisations techniques

#### a) Radars Doppler RONSARD

- Décodage, dépouillement et traitement des données brutes permettant d'obtenir l'édition sur plusieurs supports (imprimante, bandes magnétiques, disque...) des trois paramètres atmosphériques : réflectivité, vitesse, variance.

- Visualisation graphique en deux et trois dimensions de ces paramètres sous les formats classiques des radaristes :

- . PPI (Plane Position Indicator)
- . RHI (Range Height Indicator)
- . VAD ( Velocity Azimuth Display)
- . B. SCAN (un des 3 paramètres en fonction de la distance radiale, du site et du temps).

et selon des techniques différentes : fac simulé (tracé en 3 dimensions avec des grisés), digicodeur (paramètres représentés par un chiffre ou un symbole proportionnel au niveau de gris).

b) Sondeurs acoustiques SODAR

Elaboration d'un programme de calcul en temps réel du vent moyen.

c) S 301

Mise en point de programmes de reconnaissance automatique des résonances plasma, de poursuite de ces résonances au moyen des télécommandes.

Ces réalisations techniques représentent 20 000 lignes de programmation de langage FORTRAN sur des calculateurs HP 2100.

2.9.3. Extension du centre mini-informatique

En vue de faciliter l'accès aux moyens de calcul (2 mini-ordinateurs sous système mono-programmation disque), un projet d'extension du matériel et de changement du logiciel (passage à un système multi-programmation et multi-console) a été décidé. Il devrait être opérationnel au courant de l'année 1977.

## 2.10. CENTRE DE DEPOUILLEMENT GEOS

### 2.10.1. Activités générales

Le rôle de ce groupe peut se diviser en deux activités principales qui seront décrites séparément :

- Préparation de l'exploitation future du satellite GEOS en phase opérationnelle.

- Mise en place au C.N.E.T. d'un centre de traitement des données du satellite.

Son activité en 1976 n'a encore été qu'un travail de préparation, la phase véritablement opérationnelle ne devant démarrer qu'en 1977, après le lancement du satellite. Mais cela n'exclut pas, bien sûr, un certain nombre de réalisations pratiques.

### 2.10.2. Opération GEOS

Le "groupe opérations" créé en 1975 a poursuivi sa tâche dans trois directions :

#### a) Organisation générale

En liaison avec le "Scientific Board" et le "GEOS Data Handling and Organization Committee" de l'ESOC, un certain nombre de problèmes d'organisation ont été examinés et des solutions ébauchées. Il s'agit notamment de gestion de stock de bandes, d'optimisation de sélections des programmes scientifiques, de circulation des nombreuses informations entre l'ESOC, le C.N.E.S., le Groupe Opération et les différents Instituts français et étrangers. Une liste des paramètres utiles à l'exploitation en temps réel du satellite a été définitivement établie.

On a également précisé en détail des opérations quasiment effectuées durant la phase de mise sous tension, de déploiement des bras et de début du fonctionnement normal.

#### b) Programmes de télécommandes

Les expérimentateurs ont défini une trentaine de programmes scientifiques de télécommandes dont certains font appel à des télécommandes automatiques. Le Groupe Operation a aidé à l'élaboration de ces programmes pour les faire cadrer avec les restrictions techniques de l'expérience. Il a ensuite assimilé, discuté et fait modifier le langage créé par l'ESOC pour gérer les télécommandes. Un certain nombre de programmes ont été écrits. Des tests de télécommandes automatiques ont déjà eu lieu à l'ESOC en utilisant le modèle de qualification.

#### c) Etalonnage en vol

Le contenu des séquences d'étalonnage et les méthodes de traitement ont été élaborées avec une aide importante du C.N.E.S.

De nombreuses simulations numériques ont été effectuées pour mieux définir les méthodes dont certaines restent encore à préciser. Toutefois le schéma général des séquences d'étalonnage journalières et hebdomadaires paraît maintenant à peu près au point.

Une campagne d'enregistrement de données simultanées à travers le modèle de qualification a eu lieu à la BAC (Bristol). Les données produites permettront de mettre au point certains programmes de traitement scientifique et de tester les méthodes d'étalonnage.

### 2.10.3. Dépouillement GEOS

En vue de préparer le traitement des données de GEOS, l'ancien centre de dépouillement FR1 a été totalement réaménagé : cloisonnement modifié et installation électrique refaite.

Ce centre de dépouillement GEOS comportera : une zone de dépouillement de micro fiches, un centre mini-calculateur PDP 11 pour tous les traitements non standards et un terminal lourd sur le calculateur du C.N.E.S.

Un lecteur de micro-films a déjà été acheté.

Une enquête minutieuse auprès de plusieurs constructeurs a permis de fixer le choix du terminal sur un équipement Télémécanique autour d'un SOLAR 16 qui a été commandé. Par ailleurs, une enquête auprès des expérimentateurs a permis d'évaluer grossièrement le volume des données à traiter et les types de problèmes auxquels se heurtera le traitement scientifique proprement dit. Quelques programmes commencent à être étudiés en détail.

3. DEPARTEMENT

PHYSIQUE ET CHIMIE DE L'ENVIRONNEMENT

(Orléans)

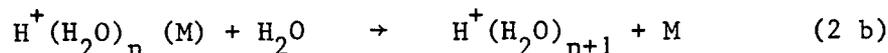
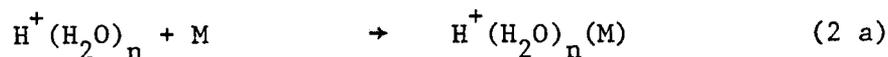
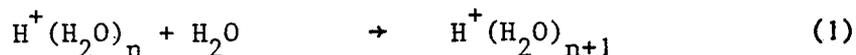
### 3.1. PHYSICO-CHIMIE DES ATMOSPHERES

#### 3.1.1. Formation des ions agrégats mésosphériques

Le but de ces travaux est d'étudier en laboratoire les mécanismes et la cinétique des réactions chimiques (66) qui, dans la mésosphère, transforment les ions primaires  $\text{NO}^+$ ,  $\text{O}_2^+$ , et  $\text{O}_2^-$  en ions observés  $\text{H}^+(\text{H}_2\text{O})_n$  et  $\text{NO}_3^-(\text{H}_2\text{O})_n$ . Le dispositif utilisé est constitué d'un réacteur à écoulement supersonique qui permet de refroidir les gaz jusqu'à des températures mésosphériques. L'analyse est faite par un spectromètre de masse.

Le premier objectif de nos travaux était de réduire les sources d'imprécision dans les données de cinétique chimique déduites des mesures. D'une part, nous avons mis en oeuvre les conditions expérimentales qui donnent un écoulement supersonique homogène : il a été établi que l'écoulement est bien caractérisé lorsqu'on égalise la pression dans la veine d'expériences à la pression statique dans l'écoulement supersonique. D'autre part, nous avons amélioré notre dispositif de séchage, d'humidification et de mélange des gaz ; celui-ci permet maintenant de mesurer d'une manière précise et reproductible des débits d'eau correspondant à des pressions partielles comprises entre 1 p.p.m. et 1 % de  $\text{H}_2\text{O}$  dans le gaz vecteur.

Nous avons obtenu (64) des données cinétiques plus précises pour les 21 réactions :  $\text{H}^+(\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+(\text{H}_2\text{O})_{n+1}$  ( $2 < n < 22$ ) à une température d'environ 120 K. Le coefficient de vitesse  $k_{n,n+1}$  pour  $n$  donné n'est pas constant mais varie en fonction de la pression et de la quantité de  $\text{H}_2\text{O}$  ajoutée. Pour interpréter cette variation il faut invoquer deux mécanismes différents pour la réaction d'agrégation d'une molécule de  $\text{H}_2\text{O}$  par un ion  $\text{H}^+(\text{H}_2\text{O})_n$ . Il semble qu'il y ait compétition entre une hydratation directe de l'ion (réaction 1) et un mécanisme d'hydratation par l'intermédiaire d'une étape d'agrégation d'une molécule du gaz vecteur M (réaction 2 a suivie de 2 b).



Afin de mieux comprendre la cinétique chimique des réactions d'agrégation de  $\text{H}_2\text{O}$  nous étendrons la plage des variations de pression et de la quantité  $\text{H}_2\text{O}$  ajoutée.

L'extension de la gamme de température aidera également à éclaircir le mécanisme des réactions d'agrégation. En effet, notre dispositif actuel nous limite à une température maximale de 120 K. Un nouveau dispositif d'écoulement supersonique, permettant d'opérer à une température comprise entre 100 et 200 K, a été construit et sera mis en service vers la fin de l'année 1976.

### 3.1.2. Photofragmentation des ions agrégats mésosphériques

Il a été montré récemment que les ions agrégats peuvent se photofragmenter sous l'influence de photons du domaine visible. Afin de vérifier la possibilité d'étudier les processus de photofragmentation dans notre réacteur à écoulement supersonique, nous avons introduit plusieurs faisceaux laser dans notre dispositif et observé la disparition de divers ions agrégats à la suite de l'irradiation photonique.

Nous avons utilisé deux types de laser : des lasers continus argon, ion (prêtés par Spectra Physics et Coherent Radiation, respectivement), et un laser pulsé à azote (modèle Sopra, prêté par le Groupe de Recherches sur l'Energétique des Milieux Ionisés, U.E.R. des Sciences Fondamentales et Appliquées de l'Université d'Orléans). Les courtes durées de disponibilité de ces lasers ont seulement permis de mesurer l'influence des raies 514,5 nm (vert) et 448 nm (bleu) des lasers argon ion, et de la raie 337,1 nm du laser à azote sur quelques ions agrégats.

Notre activité a porté surtout sur les ions  $N_2^+$  ( $N_2$ ) et  $NO^+$  ( $NO$ ) connus pour avoir de très grandes sections efficaces de photodissociation, mais nous avons également étudié des ions mésosphériques comme  $NO^+$  ( $H_2O$ ),  $O_2^+$  ( $O_2$ ),  $O_2^+$  ( $H_2O$ ),  $O_2^+$  ( $H_2O$ )<sub>2</sub> et  $H^+$  ( $H_2O$ )<sub>n</sub>. Tous ces ions sont photodissociés par les trois longueurs d'onde utilisées, mais les résultats obtenus sont trop fragmentaires pour en tirer des conclusions géophysiques ou physico-chimiques. Néanmoins, nos essais ont réussi à montrer la faisabilité de cette étude grâce à notre dispositif expérimental, et nous pensons que cette recherche deviendra un axe important de nos futurs travaux.

Ce programme se poursuit en collaboration avec le Laboratoire de Chimie Physique de l'Université d'Oxford, Angleterre.

### 3.1.3. Formations des molécules interstellaires complexes

Le modèle le plus plausible pour la formation des molécules interstellaires repose sur les interactions entre ions et molécules (65). Bien que ces interactions rendent compte de la formation de  $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $HCl$ ,  $HCN$  et peut être de  $CH_2O$ , on ne connaît pas encore les mécanismes qui conduisent à la trentaine d'autres molécules plus complexes qui ont été effectivement observées. Une observation frappante est que presque toutes les molécules présentes dans le milieu interstellaire ont été observées sous leur forme protonée comme les ions qui accompagnent les phénomènes d'oxydation et de combustion. Malheureusement, les mécanismes de formation de ces ions restent obscurs à cause de la complexité des systèmes de combustion.

Le but de nos travaux est d'étudier ces ions dans des conditions plus simples. Le dispositif employé comporte trois sections : d'abord, les gaz d'un système de combustion sont échantillonnés, les gaz neutres sont éliminés par pompage, et le faisceau ionique est analysé par un premier spectromètre de masse afin d'en extraire les ions d'un type choisi ; ensuite, ces ions sont injectés dans un tube à dérive pour y réagir avec un gaz neutre donné ; finalement, les ions injectés dans le tube à dérive et ceux produits par réaction chimique sont analysés par un deuxième spectromètre de masse. Ce dispositif a été réalisé et monté pendant l'année écoulée et doit fonctionner vers la fin de 1976.

Ce programme se poursuit avec la collaboration du Laboratoire de Chimionisation de l'U.E.R. des Sciences Fondamentales et Appliquées de l'Université d'Orléans ainsi que du Centre de Recherches sur la Chimie de la Combustion et des Hautes Températures du C.N.R.S.

#### 3.1.4. Composition de l'atmosphère de Vénus

La connaissance de la composition de l'atmosphère de Vénus et de ses variations spatio-temporelles fournirait des éléments de réponse à un grand nombre de questions scientifiques (63). La spectrométrie de masse est reconnue comme étant la technique d'analyse de l'atmosphère de Vénus qui fournira la plus grande quantité d'information. En coopération avec l'Institut Vernadsky de Chimie Analytique et de Géochimie de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S., nous avons proposé l'embarquement d'un dispositif d'analyse sur une station aérostatique flottante dans l'atmosphère de Vénus. L'équipe soviétique construira la source d'ions, le détecteur d'ions et le système réducteur de pression, tandis que l'équipe française développera le spectromètre de masse analyseur d'ions.

### 3.2. ETUDES SUR DES PLASMAS DE LABORATOIRE

#### 3.2.1. Amélioration des moyens expérimentaux

L'homogénéité du plasma obtenu dans la chambre de simulation (20) a été nettement améliorée grâce à l'adjonction d'une structure magnétique multipolaire de confinement : la variation de la fréquence du plasma est maintenant de l'ordre de 8 % sur 1 m alors qu'elle était auparavant de l'ordre de 100 %.

Les mesures de température électronique faites dans un tel plasma à l'aide d'une sonde électrostatique et d'une sonde électrodynamique ont montré un accord remarquable (quelques pourcents) (R. DEBRIE, Y. ARNAL, J.M. ILLIANO, 86).

#### 3.2.2. Etude expérimentale de la propagation des ondes électroniques longitudinales en plasma chaud non collisionnel animé d'une vitesse de dérive

Cette étude s'insère dans le cadre du contrat de recherche DRME n° 75/1113 qui est le diagnostic des plasmas hors d'équilibre et en particulier le diagnostic du sillage.

Le sillage peut être créé expérimentalement en interposant un objet devant le jet de plasma délivré par la source KAUFMAN. Afin de faire des mesures reproductibles il était important de connaître avec précision la vitesse de dérive du plasma. Cette étude rejoint les préoccupations des équipes de recherche D4P (expérience ARCAD 3, E. MICHEL) et MPS (expérience PORC-EPIC, J. THIEL).

Les diagrammes de dispersion expérimentaux obtenus sont en bon accord avec les diagrammes théoriques calculés par G. MOURGUES : dissymétrie dans les propagations aval et amont, et en particulier, mise en évidence de la propagation d'un mode rétrograde aval pour des fréquences légèrement inférieures à la fréquence plasma. L'exploitation des diagrammes de dispersion expérimentaux donne une vitesse de dérive de l'ordre de 0,1 fois la vitesse thermique des électrons (D. HENRY, J.M. LAFAILLE, G. MOURGUES, 127). Une amélioration des techniques expérimentales (minimisation du gradient de densité en particulier) devrait permettre d'affiner ce résultat.

Par ailleurs le désaccord constaté entre la phase à l'origine théorique et celle mesurée expérimentalement pourrait fournir un moyen supplémentaire pour étudier les effets de gaine.

La mise en évidence du mode rétrograde est intéressante car elle fournit une nouvelle signature particulière du champ, signature liée à une fonction de distribution précise (maxwellienne décalée). Nous avons donc franchi une étape supplémentaire dans la résolution pragmatique du problème inverse.

### 3.2.3. Etude théorique de la résolution du problème inverse

A partir d'expériences de propagation d'ondes électrostatiques dans un plasma homogène, il a été montré que, pour certains types de fonctions de distribution des vitesses des électrons  $f(v)$ , le champ électrique obtenu présentait une signature particulière. On développe cette idée en utilisant le fait que  $f(v)$  est liée à la constante diélectrique du plasma, constante que l'on peut calculer pour toute valeur de longueur d'onde et de fréquence (en variant la fréquence d'excitation) à partir des courbes théoriques du champ (en principe sur tout l'espace) (BARBAUD).

Comme dans la pratique on ne connaît pas le champ électrique ni très près, ni très loin de l'excitation, le problème théorique doit être traité en ne gardant qu'un domaine restreint du champ (la difficulté théorique du problème variant en sens inverse de la longueur de la zone conservée). On étudie parallèlement une autre méthode pour remonter à  $f(v)$ . C'est une méthode passive, de même que celle développée par STOREY et POTTELETTE ; par contre, à la différence de cette dernière, celle-là s'appuie davantage sur l'aspect particules libres du milieu plutôt que sur l'aspect collectif. S'inspirant des travaux préliminaires de M.L. NOYER, on étudie la fonction d'intercorrélation des courants engendrés dans deux dipôles immergés dans le plasma ; cette fonction est reliée à  $f(v)$  par une fonction analytique simple. La simulation numérique de ce problème est en cours.

### 3.3. METROLOGIE DES PLASMAS SPATIAUX

Ce programme, déjà poursuivi depuis cinq ans environ, a pour but d'améliorer les méthodes de captation et d'analyse de données sur les particules thermiques et légèrement supra-thermiques, ainsi que sur les ondes, dans les plasmas spatiaux. Il comporte plusieurs rubriques : études expérimentales (§ 3.3.1.) et théoriques (§ 3.3.2.) de sondes classiques, du type électrostatique ; études expérimentales (§ 3.3.3.) et théoriques (§ 3.3.4.) de sondes nouvelles, de type électrodynamique, c'est à dire fonctionnant en radiofréquence ; études de champs aléatoires d'ondes électrostatiques (§ 3.3.3.) et électromagnétiques (§ 3.3.7.). L'ensemble de ce programme, dont les parties expérimentales ont été effectuées jusqu'à présent en plasmas de laboratoire, débouche en ce moment sur des expériences spatiales en fusées (§ 3.3.5. et § 3.3.6.), ainsi que sur l'analyse de certaines données du satellite GEOS dont nous attendons le lancement au cours du premier semestre 1977.

#### 3.3.1. Effets de surface dans les sondes électrostatiques

Dans le cadre de l'étude de l'influence des variations locales du potentiel de surface d'une sonde électrostatique sur la détermination de la température électronique d'un plasma, deux directions bien distinctes ont été suivies. La première est la recherche d'un matériau "idéal" dont le potentiel de surface soit aussi "uniforme" que possible. Le deuxième est la réalisation et l'étude d'un modèle de sonde dont les variations du potentiel soient artificiellement provoquées et aisément ajustables à la demande. Dans les deux cas, on mesure ponctuellement les variations du potentiel de surface de la sonde avec un Voltmètre Electronique Superficiel et Ponctuel (V.E.S.P.) (170) et on mesure la température électronique du plasma en utilisant le calculateur T 2000 associé au caisson à plasma.

Dans le premier cas, deux matériaux ont été retenus : le carbone vitreux et le rhénium, pour lesquels une étude comparative des propriétés physicochimiques de surface est en cours en collaboration avec le Professeur BARDOLLE de l'Université d'Orléans. Dans le deuxième cas, on a mesuré la température électronique d'un plasma avec des "sondes à peignes" qui permettent de varier aisément l'amplitude et la période des variations du potentiel de surface. Cette dernière étude constitue l'essentiel de la thèse d'Ingénieur-Docteur soutenue par M. BUJOR le 6 octobre 1976 à l'Université d'Orléans (157).

Un autre aspect des effets de surface des sondes électrostatiques est le phénomène d'hystérésis présentée par la caractéristique courant/tension en présence d'une couche de gaz adsorbés sur la surface. Les études en cours ont pour but de préciser les rôles respectifs des molécules neutres et des ions dans ce phénomène et d'identifier le mécanisme qui lui permet de se maintenir pour de très lentes vitesses de balayage de la caractéristique. La comparaison entre carbone vitreux et rhénium d'une part et l'étude du phénomène d'hystérésis d'autre part, constituent l'essentiel de la thèse d'Ingénieur-Docteur de M. PANTEL.

### 3.3.2. Etudes théoriques de sondes électrostatiques

Pendant un mois de l'été 1976, le C.R.P.E. a bénéficié des conseils du Dr. L.W. PARKER, spécialiste américain des méthodes numériques appliquées aux problèmes non linéaires en physique des fluides et des plasmas. Grâce à sa participation, nous avons pu compléter les travaux entrepris auparavant par M. PARROT, et exposés dans sa thèse de 3ème Cycle soutenue en 1975 (172), concernant les caractéristiques d'une sonde cylindrique ou sphérique placée dans un plasma isotrope, dans la limite où le rayon  $R$  de la sonde devient très grand - voire infini - devant la longueur de Debye  $\lambda_D$  dans le plasma.

Le travail effectué cet été a porté en particulier sur la comparaison des résultats obtenus indépendamment, par les deux chercheurs précités, lors de leurs études respectives des sondes sphériques et cylindriques. Les caractéristiques courant/tension de ces deux sondes s'avèrent être les mêmes, aux erreurs de calcul numérique près ; leur caractéristique commune n'est pas celle attribuée classiquement à une sonde de Langmuir plane. La convergence des résultats obtenus pour des valeurs du rapport  $R/\lambda_D$  grandes mais définies, vers celui qui correspond à une valeur infinie, est d'une lenteur surprenante ; il semble que le cas du rapport infini soit en quelque sorte singulier.

L'ensemble de ces travaux font l'objet d'un article en cours de rédaction. Ils ouvrent la voie vers la solution numérique des équations régissant le comportement, dans un plasma isotrope, d'une sonde ayant une surface non-équipotentielle, comme celle décrite au § 3.3.1. ci-dessus.

### 3.3.3. Etudes expérimentales de sondes radiofréquences

La présente année a vu se concrétiser, grâce aux expériences entreprises dans le caisson du C.R.P.E., la réalisation des travaux que nous avons théoriquement décrits dans le précédent rapport.

Rappelons que nos travaux ont trait à la sonde formée de deux dipôles double-sphère séparés par des distances grandes devant la longueur de Debye. Cette sonde a été conçue dans le but de réaliser des mesures fines des paramètres des plasmas spatiaux. Elle peut être utilisée soit dans un mode "actif", soit dans un mode "passif".

Dans le mode actif un dipole est utilisé pour émettre un courant alternatif  $I$  à une fréquence  $f$ , tandis que l'autre dipole est utilisé pour mesurer en circuit ouvert la différence de potentiel  $V$  induite par ce courant. On fait varier la fréquence d'excitation  $f$  et on mesure l'impédance de transfert  $Z(f) = V/I$  en fonction de cette fréquence. La figure 3 représente un exemple caractéristique des résultats obtenus expérimentalement. Ce graphique montre le module et la phase de l'impédance de transfert mesurée entre deux dipôles, dont la longueur individuelle est de 5,5 cm, placés parallèlement à la droite qui joint leur centre. La distance entre les deux dipôles était de 21 cm. Les courbes en traits pleins correspondent à l'expérience, tandis que les courbes en tirets correspondent à la théorie. Les paramètres du plasma déduits des caractéristiques de ces courbes sont les suivants : fréquence plasma  $f_p = 3,2$  MHz, longueur de Debye  $\lambda_D = 6,18$  mm, température électronique  $T_e = 1017$  K. Il est à remarquer que mis à part le creux de la fréquence plasma prédit par la théorie dans le module de l'impédance, il y a un assez bon accord quantitatif entre la théorie et l'expérience. La mesure des fréquences des zéros de la partie réelle de l'impédance de transfert, obtenues lorsque la phase est un multiple entier de  $\pi$ , semble être la manière la plus précise de déterminer la température électronique. Ceci avait été prédit théoriquement (POTTELETTE, 180).

Dans le mode passif, les deux dipôles sont utilisés pour recevoir les signaux aléatoires induits par le microchamp naturel dans le plasma (109, 181, 182). Nous calculons alors le spectre de l'intercorrélacion de ces deux signaux. Un exemple typique des résultats obtenus est représenté sur la figure 4 ; la distance entre les dipôles et leur configuration sont les mêmes que celles utilisées précédemment pour le mode actif. La courbe supérieure représente la partie réelle du spectre croisé, et la courbe inférieure la partie imaginaire de ce spectre. Cette dernière, conformément à la théorie faite pour un plasma Maxwellien, homogène et isotrope n'est pas significativement différente de 0. A partir des caractéristiques de la courbe de la partie réelle, les paramètres du plasma déduits sont les

suivants :  $f_p = 3,62$  MHz,  $\lambda_D = 5,15$  mm et  $T_e = 910$  K. L'amplitude du pic principal, qui se produit juste au-dessus de  $f_p$ , correspond à une corrélation de  $10,2$   $\mu$ V entre les signaux recueillis sur les dipôles, dans une bande passante de  $25$  KHz, alors que la théorie prédit  $9,3$   $\mu$ V. L'ordre de grandeur est respecté, et nous sommes donc sûrs que nous corrélons au niveau du microchamp, quoique dans ce cas le niveau observé soit légèrement supérieur. Pour une fréquence  $f \simeq 1,2 f_p$  ( $f = 4,3$  MHz), nous observons une légère bosse du spectre. Ceci est dû à l'interaction entre l'onde électrostatique présente à cette fréquence et des électrons monocinétiques se déplaçant à la même vitesse. A partir de ces considérations on peut chiffrer l'énergie de ces électrons qui est de  $1$  eV. Signalons que c'est à notre connaissance, la première fois que le microchamp est mesuré.

Indiquons enfin que nous avons bénéficié de l'aide du Dr. FREESTON, de l'Université de Sheffield, pour réaliser les expériences en mode actif, tandis que Messieurs MASSIF et PHAN se sont chargés de la réalisation de l'électronique.

#### 3.3.4. Etudes théoriques de sondes électrodynamiques fonctionnant en radiofréquences

L'une des causes possibles d'erreur dans la détermination de la température électronique basée sur la mesure de l'impédance de transfert entre les deux paires de sphères d'une sonde quadripole HF est l'inhomogénéité du plasma due à la collection de particules chargées par les électrodes sphériques. Pour évaluer cet effet, on a mis au point un programme de calcul numérique du champ électrique créé par une sphère solide émettant un courant alternatif faible  $I(\omega)$  dans le plasma. Ce programme nous a permis de voir comment, suivant la valeur du rapport du rayon de la sphère à la longueur de Debye, ce champ est modifié par rapport à ce qu'il est pour une source ponctuelle et comment cette modification dépend du rapport de la fréquence d'excitation à la

fréquence de plasma. Ces résultats ont été utilisés pour le calcul d'une part, de l'impédance propre d'une sonde sphérique, d'autre part, de l'impédance de transfert d'une sonde quadripolaire à configuration carrée.

En ce qui concerne l'impédance propre d'une sphère, plusieurs points intéressants peuvent être retenus :

- Pour les faibles valeurs du rayon de la sphère (de l'ordre de la longueur de Debye) les différences avec une sphère grillagée peuvent être considérées comme minimales. Cependant pour des sphères plus grandes (par exemple 5 longueurs de Debye) les différences sont de plus en plus significatives surtout au voisinage de la fréquence plasma : la partie réelle de l'impédance n'est pas nulle pour  $\omega < \omega_p$  contrairement à ce qui se passe pour une sphère grillagée dans la théorie hydrodynamique ; au-dessus de  $\omega_p$ , par contre, la partie résistive est plus faible, mais néanmoins tend apparemment toujours vers l'infini comme dans le cas des sphères grillagées lorsque  $\omega \rightarrow \omega_p$ .

- La résistance d'une grosse sphère grillagée présente une ou plusieurs antirésonances à des fréquences supérieures à  $\omega_p$ . On a pu vérifier sur nos calculs que ces antirésonances disparaissent dans le cas d'une sphère solide comme le prévoit la théorie.

L'examen des résultats concernant l'impédance de transfert de la sonde quadripolaire fait ressortir deux points intéressants :

- les fréquences d'antirésonances au-dessus de  $\omega_p$  subissent un décalage non négligeable vers  $\omega_p$  par comparaison au cas des "sphères ponctuelles" ou des "sphères grillagées".

- l'impédance de transfert est très amortie lorsque le rapport de la distance entre sphères au rayon de celles-ci n'est pas trop grand (en pratique inférieur à 10) et cet amortissement croît avec le rayon des sphères. Il est raisonnable de penser que cet amortissement subsiste à la fréquence de plasma bien que le programme de calcul numérique diverge dès lors que l'on s'approche à environ  $1/1000^{\text{ème}}$  de la fréquence de plasma. Cela s'explique par le fait que, dans notre méthode, on n'arrive pas, par suite des erreurs inhérentes à tout calcul numérique, à lever l'indétermination qui se produit dans le calcul à  $\omega_p$ , indétermination que l'on peut par contre résoudre analytiquement dans le cas des sources ponctuelles ou grilagées.

Actuellement on essaye une méthode itérative dans l'espoir de régler ce problème à la fréquence de plasma.

### 3.3.5. Expérience en fusées "Porc-Epic"

Le C.R.P.E. participe au programme ouest-allemand PORCUPINE ("Porc-Epic") d'expériences en fusées-sondes pour étudier pendant l'I.M.S. les processus d'accélération des particules aurorales. L'instrument embarquable fourni par le laboratoire comporte deux sondes quadripolaires, ainsi que leur pupitre de contrôle, pour mesurer la densité, la température et la vitesse de dérive électroniques du plasma ionosphérique (Voir "Rapport d'activité du Département P.C.E. pour l'année scolaire 1974-75" - Note Technique C.R.P.E./10 - pages 18 et 36).

Deux tirs de fusées ARIES étaient prévus pour la première campagne, en février-mars 1976. Mais une explosion s'est produite à bord de la première fusée, le 30 mars 1976, environ une minute après son lancement ; le second tir initialement prévu a été différé par mesure de sécurité. Aucune donnée scientifique n'a été acquise pendant ce premier tir ; par contre, toutes les données technologiques utiles ont été enregistrées : étalonnages en laboratoire, et en vol, "housekeeping". L'examen de ces données technologiques a permis de conclure au bon fonctionnement de l'expérience du C.R.P.E.

Cette première campagne a également permis de définir certains travaux, actuellement en cours, relatifs à l'acquisition et au traitement des données de l'expérience :

- étalonnages en laboratoire : afin d'automatiser l'acquisition et le traitement des données d'étalonnage, le pupitre de contrôle a été complété par un ensemble programmable en collaboration avec G. PETIT, de la division "Fusées-Sondes" du C.N.E.S. à Toulouse. Les programmes de calcul nécessaires au traitement des données fournies par ce nouveau pupitre devraient être mis au point en collaboration avec B. GAUTHIER, de la division "Mathématiques" du C.N.E.S. à Toulouse.

- acquisition des données brutes : différents modules de la chaîne d'acquisition (numérisation, visualisations sur papier et sur film, ...) ont été essayés sur les données de la première campagne. Certains travaux de mise au point restent à faire à la suite de ces premiers essais.

- traitement des données brutes : la définition de la chaîne de traitement est actuellement achevée mais le plan de charge du département "Analyse et Traitement" du C.N.E.S. à Toulouse ne permet pas d'écrire les programmes de calculs correspondants avant plusieurs mois.

Une première campagne "bis" est prévue au printemps 1977 (lancement de la seconde fusée ARIES de la première campagne) tandis que la seconde campagne de tirs est reportée au printemps 1978.

### 3.3.6. Expérience en fusées "Substorm-GEOS"

L'un des résultats les plus curieux issus des expériences en fusées effectuées en zone aurorale au cours des dernières années, a été l'observation, à des altitudes de quelques centaines de kilomètres, de champs électriques quasi-statiques de grande échelle, dont les composantes parallèles au champ magnétique terrestre sont de l'ordre de 10mV/m. Des champs parallèles de cet ordre de grandeur étaient tout à fait inattendus, compte tenu de ce qu'à ces altitudes le plasma est essentiellement sans collisions, de sorte qu'il doit être un très bon conducteur électrique dans la direction du champ magnétique. Les densités des courants qui s'écoulent entre l'ionosphère et la magnétosphère le long des lignes de force sont connues à partir d'observations en satellites des perturbations magnétiques correspondantes, et lorsqu'on les multiplie par la valeur théorique de la résistivité parallèle du plasma, on obtient des champs électriques parallèles qui sont environ  $10^4$  fois inférieurs à ceux observés.

Sur le plan théorique, la seule façon d'expliquer les observations est de supposer que la résistivité parallèle est augmentée de ce même facteur, sous l'influence d'une turbulence du plasma. Cette résistivité anormale, si elle existe, doit être facilement mesurable au moyen d'une sonde à plasma quadripolaire, fonctionnant à une fréquence de l'ordre de 500 Hz, et embarquée sur une fusée. La théorie de la mesure a été développée, sous une forme simplifiée, par STOREY et MALINGRE (201).

On s'apprête à faire cette expérience dans le cadre du programme "Substorm-GEOS", qui fait partie du programme national suédois d'expériences en fusées pendant l'I.M.S. Le programme "Substorm-GEOS" comportera le lancement en janvier 1978, de trois fusées du type Black Brant VC, à partir du champ de tir de Kiruna (Suède). Son objectif général est l'étude des processus d'accélération des particules aurorales, particulièrement en ce qui concerne le rôle de la résistivité anormale. Financée grâce à un marché d'études du C.N.E.T., la construction de l'équipement électronique embarquable du C.R.P.E. a été confiée à la Société ETUDES EQUIPEMENTS ELECTRONIQUES à Toulouse ; le financement des bras déployables qui porteront nos capteurs a été demandé au C.N.E.S.

### 3.3.7. Participation au programme GEOS

Notre participation au programme GEOS se bornait jusqu'ici à la définition théorique d'une méthode d'analyse des champs d'ondes électromagnétiques aléatoires à partir de la mesure de leurs 6 composantes (149, 198, 199, 200). Au cours de l'année scolaire qui vient de s'écouler nous avons consacré l'essentiel de nos efforts à la mise au point de la chaîne de traitement des données que le satellite GEOS doit fournir sur les 6 composantes du champ électromagnétique naturel. Cette chaîne comporte d'une part la sélection automatique des phénomènes observés et susceptibles d'être analysés par la méthode que nous préconisons, et d'autre part l'analyse de ces phénomènes.

La sélection automatique des données est une étape très importante du dépouillement des données GOES. Chaque expérimentateur ne peut accéder qu'à 10 % des mesures effectuées et ne dispose que d'un laps de temps très court pour effectuer son choix ; il est donc essentiel de savoir reconnaître rapidement un phénomène géophysique, par exemple, en ce qui nous concerne, de distinguer un "souffle" d'un "choeur". Pour effectuer cette reconnaissance nous avons développé une série de tests permettant

d'évaluer la stationarité et la cohérence des champs observés. Ces tests se sont montrés très efficaces sur des données du satellite OGO-5 que nous avons traitées. Ils sont à la base de l'ensemble des programmes de sélection automatique adoptés maintenant par la majorité des expérimentateurs S 300 de GEOS.

### 3.4. DETECTION DES PHENOMENES PHYSIQUES DU PLASMA POLAIRE

Sur ce thème, l'équipe D4P dirigée par C. Beghin, a poursuivi

(i) le dépouillement et l'interprétation des expériences spatiales qu'elle a effectuées ou auxquelles elle a participé (IPOCAMP 1, ISIS 2, ARAKS 1 et MAGNETOSPHERE ARGENTINE).

(ii) la préparation d'expériences engagées en association avec les équipes techniques (IPOCAMP 2, ARCAD 3, GEOS).

(iii) les études méthodologiques sur les performances des capteurs radioélectriques (sondes quadripolaires, ISOPROBES).

Cette dernière activité est entrée cette année dans sa phase terminale par la mise au point technique des sondes ISOPROBES et par l'interprétation théorique du comportement des sondes quadripolaires en magnéto-plasma maxwellien. Parallèlement l'équipe s'est engagée dans des programmes d'exploitation géophysique des méthodes de diagnostic mises au point précédemment, ceci dans le cadre de l'I.M.S. Nous aurons donc, dans l'ordre chronologique, la campagne IPOCAMP 2 (31) (mars 1977 - étude des instabilités de la couche E polaire), l'expérience S 304 du satellite GEOS (lancement avril 1977 - mesure de la densité et de la température électronique, étude de la plasmopause et des îlots de plasma), l'expérience ISOPROBE (30) à bord du satellite ARCAD 3 (lancement fin 1979 - étude des systèmes d'instabilités et de courants parallèles), enfin l'expérience S 304 à bord de GEOSARI (lancement 1980 - complément à GEOS, étude de la plasmopause) ; citons en outre la participation éventuelle à l'expérience ARAKS 2 et au programme SPACELAB.

### 3.4.1. Etude du comportement de la sonde quadripolaire en magnéto-plasma maxwellien

De nombreux travaux théoriques antérieurs ont montré que dans un plasma isotrope maxwellien la réponse en fréquence d'une sonde quadripolaire présente une résonance à la fréquence de plasma  $f_p$  suivie d'antirésonances à des fréquences  $f_A$  comprises entre  $1,05 f_p$  et  $1,25 f_p$ . Le nombre et la fréquence de ces antirésonances, dûes à la présence d'ondes électrostatiques de Landau, permet de déterminer la température électronique. Nos récents travaux expérimentaux en plasma de laboratoire (DEBRIE et al., 86) ont confirmé les possibilités de ce moyen de diagnostic en chiffrant la précision atteinte ( $\pm 3\%$  sur la température électronique). Dans le cas du plasma ionosphérique, nous avons étudié l'influence du champ magnétique sur l'impédance mutuelle de la sonde quadripolaire en adoptant une nouvelle configuration géométrique (électrodes alignées), et nous avons interprété les courbes expérimentales de la campagne IPOCAMP 1. La courbe de la figure 5 est un exemple caractéristique où le champ magnétique terrestre est perpendiculaire à la sonde. En utilisant une théorie magnéto-plasma froid, nous rendons aisément compte des fréquences de résonance  $f_p$  et  $f_T$  ainsi que de l'antirésonance à la gyrofréquence  $f_B$ . L'utilisation de la théorie adiabatique complète nous permet d'obtenir l'amplitude correcte à  $f_p$  et  $f_T$  ainsi que la fréquence d'antirésonance  $f_A$ . Enfin nous avons utilisé la théorie microscopique pour interpréter les singularités dûes aux ondes électrostatiques (modes de Bernstein) aux fréquences  $3/2 f_B$ ,  $2 f_B$ ,  $3 f_B$  et  $f_{Q2}$ . Cette étude nous a permis de déduire la température électronique par trois méthodes avec un accord meilleur que  $5\%$  : amplitude à la fréquence de plasma, amplitude à la fréquence hybride haute et fréquence d'antirésonance  $f_A$ .

### 3.4.2. Campagnes IPOCAMP 1 et 2

#### a) Objectifs scientifiques et résultats déjà obtenus

Dans le cadre de la coopération spatiale franco-soviétique, la réussite de tous les lancements de fusées-sondes MR 12 depuis l'Ile de Heyss (U.R.S.S.) en mars 1974 a beaucoup apporté dans l'étude et la mise au point de méthodes de diagnostic du plasma ionosphérique polaire (183).

Ce programme intéresse essentiellement la détermination précise de la densité et de la température électroniques et l'étude de leurs fluctuations. Ainsi, la présence d'une couche de fluctuations turbulentes de densité entre 95 et 113 km d'altitude a été mise en évidence par la sonde auto-oscillante développée par C. RENARD. L'analyse spectrale de ces fluctuations (Figure 6 ) est en cours afin de déterminer quel type d'instabilités (champs croisés, instabilités de faisceau, ...) permettrait d'interpréter ces microinstabilités probablement corrélées avec l'électrojet polaire. Ce programme d'interprétation est réalisé en coopération avec V. FIALA (Institut de Géophysique de Prague). Par ailleurs, nous avons montré que la mesure de faibles densités électroniques est possible avec une sonde excitant la résonance oblique basse (MICHEL 161, 162, 163) dans les conditions ionosphériques où la fréquence de plasma est inférieure à la gyrofréquence électronique (ceci a été mis à profit pour la définition de l'expérience ISOPROBE du satellite ARCAD 3). Enfin la température électronique a été déduite des mesures obtenues par la sonde électrostatique développée par le L.G.E. (BERTHELIER) avec électrodes en carbone vitreux (BEGHIN et al., 31 ). L'interprétation des données de la sonde quadripolaire H.F. embarquée simultanément permettra d'affiner les résultats sur l'ensemble du vol et d'estimer les précisions obtenues. Les résultats prometteurs de ces études nous ont permis de définir une nouvelle campagne de lancement de fusées-sondes IPOCAMP 2 pour étudier précisément les fluctuations turbulentes de la couche E polaire à l'aide de nou-

velles sondes quadripolaires H.F. pouvant fonctionner en mode auto-oscillant. La mesure à bord de ces fusées de la composante du champ électrique perpendiculaire au champ magnétique terrestre devrait permettre d'étudier ce phénomène en détail.

b) Préparation technique de la campagne IPOCAMP 2

La campagne, prévue en mars 1977 à Heyss, comporte cinq tirs de fusées MR 12. Les trois premières sont placées sous la responsabilité de C. RENARD (I.U.T. de Bourges), les deux autres sous la responsabilité de P.C.E. Toutes mesureront  $n_e$ ,  $\Delta n_e/n_e$  et E et parfois d'autres paramètres (électrons énergétiques). On a mis au point le système ISOPROBE de sondes auto-oscillantes pour les deux pointes P.C.E. Ces sondes ont été essayées dans le caisson à plasma du laboratoire. La bande passante de l'amplificateur large bande à CAG a été améliorée de telle façon que la fréquence d'autooscillation soit à moins de 15 kHz près voisine de la valeur théorique (fréquence de plasma en l'absence de champ magnétique) dans la bande 1,5 MHz - 15 MHz. Des essais ont été effectués avec champ magnétique qui prouvent que la méthode de mesure reste valable pour la fréquence hybride haute qui correspond au maximum de la courbe d'impédance mutuelle de la sonde quadripolaire. Le système de mesure des fluctuations de fréquence a été vérifié. La précision totale du système est de 1 kHz sur la fréquence de chaque sonde et de 2 kHz sur la différence des fréquences des deux sondes avec 500 points de mesure par seconde (meilleur compromis vitesse- précision retenu).

La compatibilité de l'expérience scientifique avec la télémessure à bord de la pointe MR 12 a été vérifiée. Les sondes étant perturbées par la télémessure, un dispositif spécial de blocage du fréquencemètre a été implanté pour supprimer les erreurs de mesure dues à la télémessure.

Les moyens de restitution d'attitude (senseur solaire, magnétomètre) sont en cours d'essai. Un très gros effort de conception mécanique a dû être fait car les pointes livrées par la partie Soviétique ne correspondaient pas exactement à notre demande (mécanisme d'érection des bras et montage des sondes sous coiffe).

### 3.4.3. Déroulement du programme ISOPROBE - ARCAD 3

La mise au point du modèle ARCAD 3 des sondes autooscillantes a porté sur deux points essentiels :

- influence de la polarisation des anneaux (constituant la partie réceptrice des sondes) sur la qualité de l'impédance de transfert. On a ainsi pu simplifier le système car il a été vérifié que la polarisation est sans influence notable ( $< 2$  dB) sur l'impédance de transfert mesurée par balayage entre 0,1 et 10 MHz avec une fréquence de plasma variable entre 2 et 10 MHz.

- étude d'un système électronique permettant de "s'accrocher" soit sur le maximum, soit sur le minimum de l'impédance de transfert mutuelle et de mesurer des fluctuations très fines de fréquences correspondantes (résolution de l'ordre de quelques kHz).

Les premières mesures de fluctuation faites dans le caisson de simulation du plasma ionosphérique sont données dans les figures 7 et 8. Ces mesures ont été effectuées avec un fréquencemètre intégrateur rapide (500 pts/sec) connecté à une sonde montée en oscillateur à plasma. Le bloc diagramme complet de l'expérience, incluant le mode de mesure des résonances obliques est en voie d'achèvement. Un modèle d'essai du calculateur embarqué CN2B qui doit gérer et assurer une partie du traitement des données de l'expérience est en cours d'installation au laboratoire.

3.4.4. Mesures d'impédances propres et mutuelles à bord de GEOS

La préparation du lancement du satellite GEOS se poursuit conformément au plan prévu.

En 1976, le travail concernant l'expérience S-304 a porté principalement sur deux points :

a) la préparation détaillée du dépouillement en collaboration avec le C.N.E.S. et les autres expérimentateurs S-300, notamment :

- à partir de bandes de données comprimées, définition d'une sélection des bandes de données haute cadence à archiver (≈ 10 %). Cette sélection est automatique en l'absence d'intervention de l'expérimentateur, intervention qui ne peut se faire que dans un délai court.

- définition du traitement des données haute cadence du "Survey Mode" (mode de base de 3 minutes qui se répétera toutes les heures).

b) définition de la partie "Mesures d'impédances" des campagnes de simulation sur l'ensemble satellite - centre opérationnel ESOC, et analyse des résultats, qui doit permettre de définir certaines données à introduire dans la chaîne de traitement (fonctions de normalisation, seuils...). D'autre part, l'interprétation (87) des mesures d'impédance ne peut se faire dans le cadre d'hypothèses simples car le rôle des gaines (ions thermiques et photoélectrons) entourant les capteurs, notamment, ne peut être négligé.

Jusqu'à présent, nous n'avons pas réussi, que ce soit par des études théoriques ou expérimentales, à prévoir de manière rigoureuse l'influence qu'auront les gaines de photoélectrons sur les mesures S-304.

En revanche, nous avons étudié dans un plasma de simulation le comportement d'un ensemble d'antennes formé de quatre sphères, qui fonctionne de manière analogue à l'expérience S-304. Nous ne pouvons réaliser en caisson une configuration identique à celle de GEOS. Cependant le rapport des longueurs d'antennes à la longueur de Debye est comparable à celui que l'on pourra avoir sur GEOS, et nous avons obtenu des résultats qualitatifs sur l'influence qu'auront les gaines thermiques sur les mesures d'impédances.

#### 3.4.5. Excitation d'ondes au voisinage de la fréquence hybride basse

L'excitation d'ondes au voisinage des fréquences de résonance H.F. (haute fréquence) du plasma ionosphérique a fait l'objet de nombreux travaux qui ont permis d'interpréter les "flèches de résonance" des ionogrammes obtenus par les sondeurs en contrehaut. Dans le domaine TBF (très basse fréquence), le satellite ISIS II a permis d'enregistrer un phénomène analogue d'écho au voisinage de la fréquence hybride basse ainsi qu'aux multiples de la gyrofréquence des protons. Nous nous sommes donnés pour but d'étudier le cas de la fréquence hybride basse.

Nous avons précédemment montré que, dans un plasma à plusieurs espèces d'ions, les modes de BERNSTEIN ioniques d'ordre élevé (au voisinage de la fréquence hybride basse) et relatifs à l'ion le plus léger étaient fortement excitables et pouvaient permettre d'interpréter les spectres de raies observés lors des expériences ISIS II et Electron Echo 1 (124).

Nous avons poursuivi ce travail en cherchant à expliquer le caractère d'écho du phénomène observé grâce à ISIS II. L'explication des échos H.F. s'étant trouvée donnée par les trajectoires des rayons en milieu faiblement inhomogène, nous avons déduit de façon analogue pour le voisinage de la fréquence hybride basse les trajectoires des rayons en milieu homogène, puis en milieu inhomogène. Le résultat principal est que les ondes électrostatiques ont une trajectoire de groupe parallèle au champ magnétique statique dès qu'il existe une faible inhomogénéité du milieu, les ondes électromagnétiques pouvant par contre s'éloigner de leur ligne de force initiale.

Nous trouvons que l'on ne peut expliquer ainsi de façon correcte les échos TBF du satellite ISIS II : les trajets caractéristiques des ondes (environ 100 m) sont trop courts pour que le modèle fourni par les rayons reste valable. Par contre cette théorie peut s'appliquer à une transmission sur des distances plus grandes, de l'ordre du kilomètre, par exemple entre un Spacelab et un sous-satellite ou bien dans une expérience de type mère-fille.

Nous poursuivons aujourd'hui l'étude des échos TBF en calculant le champ rayonné par une antenne à distance courte par rapport à la longueur d'onde.

#### 3.4.6. Participation à l'expérience ARAKS et à l'expérience "Magnetosphere Argentine"

Pendant l'année 1975-76 nous avons commencé à traiter et à interpréter les résultats obtenus au cours de l'expérience ARAKS (38, 39, 89, 137) par des analyseurs d'ions à potentiel retardateur placés à bord du "nose-cone". Nous avons également continué l'étude des résultats de l'expérience Magnétosphère Argentine lancée depuis la côte Est de l'Argentine en décembre 1972 en collaboration avec le L.G.E., le L.P.S.P. et l'Université de Tucuman (Argentine).

Le but de l'expérience Analyseur d'ions d'ARAKS était de mesurer le champ électrique quasi-statique naturel et artificiel dû à l'injection du faisceau d'électrons et la température ionique du plasma. Les premiers résultats montrent qu'aucun champ électrique artificiel n'existe au niveau du "nose-cone" lors de l'injection des électrons (de 300 m à 2 km du faisceau). On a pu en conclure que le faisceau était parfaitement neutralisé.

D'autre part, la comparaison des mesures du champ électrique naturel par les analyseurs d'ions et par une sonde dipolaire prouve que le nuage d'ions de césium éjecté depuis l'engin est présent au niveau du nose-cone pendant une grande partie du vol. Nous poursuivons actuellement l'étude des résultats dans le but d'étudier les caractéristiques de ce plasma.

L'expérience Magnétosphère Argentine avait pour but l'étude des particules entrant éventuellement en jeu dans les mécanismes conduisant au F-diffus. A côté d'équipements du L.P.S.P. permettant la mesure de la composante basse énergie ( $< 20$  keV) et de ceux de l'Université de Tucuman pour la composante haute énergie (électrons  $> 100$  keV, protons  $> 1$  MeV), le G.R.I. avait placé des détecteurs à scintillation permettant de mesurer des électrons et des protons d'énergie supérieure à 20 keV. Un choc sévère lors de l'éjection de la coiffe a entraîné un non-fonctionnement du détecteur de protons et un parasitage très important du 1er canal de mesure du détecteur d'électrons. Seules les mesures des électrons au-dessus de 40 keV ont pu être effectuées normalement.

L'analyse des données montre qu'en même temps que sont détectés des protons de basse énergie provenant de l'ionosphère (L.P.S.P.), on observe une augmentation du flux d'électrons piégés localement ( $E > 40$  keV) ainsi qu'un élargissement de leur distribution angulaire. Ceci prouve que les mécanismes liés probablement au F-diffus sont très complexes puisqu'ils mettent en jeu aussi bien des protons accélérés localement que des électrons piégés de haute énergie. Ces derniers résultats peuvent être comparés à des mesures d'ondes électromagnétiques observées dans les mêmes régions et dans les mêmes conditions (phase de recouvrement d'un orage magnétique). Cette étude est actuellement poursuivie afin de tenter d'expliquer ces résultats.

### 3.5. ETUDES THEORIQUES DES PLASMAS

#### 3.5.1. Philosophie générale

L'équipe théorique a vu son activité se recentrer cette année autour de quatre thèmes dont deux sont la prolongation de travaux antérieurs, les deux autres étant relativement nouveaux.

Le premier thème porte sur la théorie des excitations et des impédances de système de grilles plongées dans des plasmas homogènes. L'intérêt passera l'an prochain du problème direct (calcul des résonances et des antirésonances pour un plasma maxwellien) au problème inverse (signature des différentes fonctions de distribution, mérites respectifs des modes passifs et actifs, identification des populations rapides ou lentes à l'aide du régime transitoire etc ...).

Le deuxième thème concerne les méthodes algèbro-numériques. Ce sujet est certainement des plus intéressants car très général. Il concerne de nombreux aspects de la physique mathématique. Actuellement il serait nécessaire de faire un effort de mise en oeuvre pratique des calculs automatiques des séries par ordinateur pour connaître les limitations pratiques du procédé. Nous nous heurtons dans ce domaine au fait qu'en France peu d'équipes se sont intéressées à ces études de langages et en particulier de langages algébriques. Parallèlement nous allons étudier l'application de la méthode à des systèmes d'équations différentielles et aux équations aux dérivées partielles.

Parmi les deux sujets nouveaux, l'un concerne la mécanique statistique des plasmas hautement corrélés, c'est à dire dense et/ou relativement froid. C'est un sujet dont nous avons laissé prévoir l'an dernier la prise en considération. C'est avec la théorie de la turbulence (les 2 sujets présentant de fortes similitudes) un domaine largement inconnu malgré de nombreux travaux. Notre approche est une approche "d'expérience numérique" et nous nous intéressons plutôt à vérifier les hypothèses heuristiques de la mécanique statistique (dont il faut souvent définir opérationnellement le contenu) qu'à amasser de nouveaux résultats bruts. Dans ces conditions l'utilisation de systèmes unidimensionnels est extrêmement intéressante.

Le dernier thème porte sur l'obtention de solutions fortement non linéaires de l'équation de Vlasov - probablement particulières et peut être même parfois singulières - mais rigoureuses. C'est donc une nouvelle ligne d'attaque qui complètement utilement les méthodes de perturbation (moins fortement non linéaires) et les méthodes numériques (sujettes à caution pour des temps longs). Pour cela on recherche plus ou moins systématiquement des invariants possibles de l'équation de Vlasov de manière à réduire le nombre de variables indépendantes. La méthode présente à la fois des limitations mathématiques et physiques et son intérêt dépasse très certainement le cadre de la physique des plasmas. Nos bonnes connaissances de l'équation de Vlasov, des modèles numériques et algébronumériques nous ont permis de prendre rapidement pied dans ce domaine et nous avons déjà obtenu des résultats très intéressants.

### 3.5.2. Simulation sur ordinateur de plasmas fortement corrélés

La mécanique statistique des plasmas faiblement corrélés, (c'est à dire tels que la distance interparticulaire est très petite devant la distance de Debye), est maintenant bien connue (tout du moins pour une distribution stable). Elle est basée sur le concept de particule test c'est à dire en définitive sur la solution de l'équation de Vlasov linéarisée, puisque décrivant des interactions faibles. Ce concept, assez subtil d'ailleurs, a été testé principalement par des expériences numériques (en particulier sur les plasmas unidimensionnels). La théorie des plasmas fortement corrélés (rencontrés dans les plasmas créés par laser et dans certains milieux d'astrophysique) reste à faire. Le mouvement exact d'un plasma unidimensionnel est alors traitable sur ordinateur à l'aide d'un code permettant de tenir en ordre la liste des particules au fur et à mesure des croisements. La méthode est d'autant plus rapide que le plasma est davantage corrélé et il est très facile de traiter des plasmas de longueur égale à plusieurs centaines de longueurs de Debye. De plus une théorie statistique exacte existe pour le calcul des grandeurs thermodynamiques. Nous comparons actuellement les résultats de cette théorie aux grandeurs "mesurées" en procédant de plus à une analyse fine et microscopique des concepts telle que la pression sur les bords de la boîte et la formation des couples électrons-ions caractéristique de l'apparition de fortes corrélations dans un plasma unidimensionnel. Nous procédons maintenant à une extension de ces expériences à des grandeurs temporelles telles que les fluctuations des différentes composantes de Fourier de la densité de charge et leurs spectres en fréquences. En particulier on regarde ce que devient le spectre des grandes longueurs d'ondes qui, dans un plasma à corrélation nulle, se réduit à une raie à la fréquence plasma. La "mesure" de l'élargissement et du glissement de cette raie devrait permettre de trancher entre différentes théories dont certaines prévoient une diminution de la fréquence de résonance lorsque le nombre d'onde croît. Enfin, on envisage de regarder également les fluctuations du nombre de particules à l'intérieur d'un volume donné et aussi l'étude de plasmas non neutres avec la formation de gaines sur les parois de la boîte.

### 3.5.3. Ondes électrostatiques en plasma inhomogène

Cette étude comporte deux volets différents :

- Une étude des états stationnaires susceptibles d'être rencontrés dans un plasma. Cette étude fait suite à un travail déjà ancien de l'équipe Théorie du Plasma à Nancy mais où l'on s'était surtout intéressé aux structures stationnaires périodiques (ondes B.G.K.) et à leur stabilité (106). L'étude des structures aperiodiques est importante dans le cas des excitations monopolaire ou dipolaire par grilles (avec la prise en compte des inhomogénéités au voisinage des grilles). Plus généralement la possibilité de créer dans un plasma des zones où la condition de neutralité est fortement violée et où des différences de potentiel importantes apparaissent, est suggérée tant par les expériences de laboratoire que par la découverte dans l'espace de régions à fort gradient de potentiel. Actuellement nous avons mis au point des programmes permettant de construire les fonctions de distribution donnant un profil de potentiel donné (Problème inverse pour des structures B.G.K.) (105).

- Une étude de la stabilité de ces structures ou (dans le cas de structures stables) de la propagation des ondes électrostatiques excitées par un système de grille. Dans ce dernier cas nous résolvons le problème des niveaux d'excitation lorsque l'antenne est plongée dans un milieu inhomogène. Le calcul s'effectue à l'aide du modèle Multiple Water Bag en prenant en ligne de compte à la fois les conditions de radiation  $x = \pm \infty$  (alors que le plasma est homogène) et les conditions à l'origine portant sur la dérivée des champs partiels. L'étude est en cours pour évaluer l'influence des inhomogénéités autour de la grille excitatrice sur le comportement d'une source dipolaire. Nous pensons par la suite nous occuper principalement de problèmes de stabilité de structure localement non neutres.

J.G. TROTIGNON (210) a soutenu une thèse de 3ème Cycle sur certains aspects de ces problèmes.

### 3.5.4. Ondes électrostatiques dans un plasma de dérive

Dans le cadre des travaux portant sur les diagnostics de plasmas spatiaux nous avons l'an dernier étudié l'influence des collisions sur la propagation des ondes dans les magnétoplasmas (58, 61). Nous prenons maintenant en ligne de compte l'effet de dérive du milieu par rapport aux sondes. Nous avons étudié cet effet sur les oscillations longitudinales forcées (créées par un système de grilles planes infinies) d'un plasma de Vlasov à fonction de distribution électronique stable, au moyen du modèle Multi Water Bag.

Cette étude a fait apparaître d'un point de vue théorique deux nouveaux problèmes dûs à la discrétisation :

- Le premier se traduit par des branches de dispersion qui ne sont plus monotones pour des vitesses de dérive supérieures à la vitesse thermique et introduisent des pôles dont la contribution au champ doit être déterminée en considérant l'influence de la relation de causalité sur les coefficients d'excitation de ces pôles. Un calcul précis de ces coefficients permet d'éviter les divergences du champs et de distinguer les pôles fictifs introduits par le modèle des pôles réellement importants.

- Le deuxième problème, toujours lié à l'allure des branches de dispersion, est dû à la possibilité d'existence d'un pôle double nécessitant un traitement particulier de son coefficient d'excitation en rapport avec un problème de convergence en partie principale.

D'un point de vue des résultats physiques, le cas d'une distribution gaussienne a été étudié et montre l'existence de propagation jusqu'à une fréquence de plasma apparente inférieure à la fréquence de plasma, avec dissymétrie amont-aval de la longueur d'onde et de l'amortissement. Plus précisément :

- Quel que soit le type d'excitation, et pour des fréquences différentes de la fréquence de plasma, la longueur d'onde aval augmente par rapport au cas sans dérive, tandis que celle de l'amont diminue ; l'amortissement aval est plus faible, celui de l'amont plus fort ; l'amplitude aval est plus grande que l'amplitude amont (127, 164).

- Au voisinage de la fréquence de plasma, une excitation monopolaire favorise l'amplitude aval au détriment de l'amplitude amont, tandis que pour une excitation dipolaire ces deux amplitudes tendent à s'équilibrer (cela étant dû à la forme des coefficients d'excitation).

- En-dessous de la fréquence de plasma apparente (égale à celle donnée par effet Doppler pour les faibles dérives), nous retrouvons un effet d'écran dissymétrique.

- Le champ évolue de façon continu avec les dérives croissantes ; pour les dérives importantes il n'y a plus de propagation amont, et à la limite des très fortes dérives nous n'avons plus qu'une propagation aval de type faisceau de température négligeable.

Ce travail conduit à un faisceau de branches de dispersion relatives à diverses dérives et à une fonction de distribution gaussienne, ce qui donne une base directement interprétable pour d'éventuels travaux d'expérimentation ou de dépouillement.

De plus le programme numérique support de ce travail est utilisable pour d'autres fonctions de distributions électroniques stables.

3.5.5. Recherches de solutions non linéaires du système de Vlasov-Poisson à l'aide de groupes de transformations self similaires

A la suite de travaux exposés en (47) on recherche les transformations permettant de réduire le nombre de variables indépendantes pour un système unidimensionnel décrit par les équations de Vlasov-Poisson (Plasma d'électrons en présence d'un fond continu immobile d'ions, faisceau avec une seule espèce de particules, gaz gravitationnel). Le champ ne dépendant que des variables  $x$  et  $t$  tandis que la fonction de distribution fait intervenir  $x$ ,  $v$  et  $t$ , l'utilisation des groupes self similaires implique une transformation du type :

$$\xi = x/(t/T)^\alpha \quad \eta = v/(t/T)^{\alpha-1} \quad F = f(t/T)^{\alpha+1} \quad \varepsilon = E/(t/T)^{\alpha-2}$$

Une première difficulté est associée à l'équation de Poisson pour le cas plasma. Pour éviter que le fond continu d'ions immobile ne bloque la solution sur le cas trivial stationnaire il faut prendre la double limite  $T \rightarrow \infty$  et  $\alpha \rightarrow \infty$  avec  $\alpha/T = \beta$ . On peut, par contre, dans le cas du faisceau et du gaz gravitationnels, prendre  $\alpha$  et  $T$  quelconque. Une deuxième difficulté apparaît lorsque l'on étudie les conditions initiales possibles avec l'apparition de divergences soit dans le nombre de particules, soit dans leurs énergie pour  $x \rightarrow \pm \infty$ . On tourne la difficulté en imposant des frontières à distances finies qui divisent les particules de la solution en particules "réelles" initialement intérieures et "virtuelles" initialement extérieures, et en remarquant que les particules "extérieures" n'influencent pas le mouvement des particules intérieures. On introduit alors le concept de "contamination" qui, au cours du temps par croisement entre les particules réelles et virtuelles, amène à une décroissance des particules correctement traitées dans le problème réel d'une population (ou perturbation) localisée à l'origine. Le cas de l'expansion d'un faisceau sous l'influence de la charge d'espace et dont la situation initiale est décrite par un "bâton" de l'espace des phases, est intéressant car la

contamination reste localisée à l'extrémité du bâton. Des expériences numériques utilisant un code de particules ont parfaitement confirmé la possibilité de solutions self similaires (62). Le cas "plasma" amène une "contamination" totale pour des temps finis mais il est probable que d'autres valeurs du paramètre de groupe et également l'utilisation de groupes plus "subtils" (comme les groupes de LIE) permettraient de traiter des problèmes plus réalistes.

### 3.5.6. Méthode algébro-numérique

La méthode des "Pas de Géant" a été appliquée à des systèmes non autonomes et plus particulièrement à l'équation de Duffing, c'est à dire

$$\ddot{x} + x = E \cos (\omega t + \phi) + \varepsilon |kx^3 - \beta x|$$

Si l'on suppose que la fréquence  $\omega$  est très voisine de 1 il est nécessaire de considérer que  $E$  est aussi un infiniment petit d'ordre  $\varepsilon$  avec  $E = \varepsilon E'$ . Sinon les cas intéressants sont les oscillations paramétriques du système notamment au voisinage des valeurs  $\omega = 3$  et  $\omega = 1/3$ . Dans les deux cas les courbes de résonance sont calculées et les conditions d'accrochage sont obtenues en fonction des valeurs de  $\beta$ ,  $E$  et  $\omega$ . La méthode présente sur celle de Krylov Bogoliubov l'avantage que le traitement est le même aux résonances et en dehors des résonances et que l'obtention des ordres élevés est plus systématique.

Une autre application a concerné le mouvement d'une particule dans le plan équatorial d'un dipole magnétique. Les calculs ont été poussés jusqu'au 4ème ordre pour le cas des orbites piégés ce qui permet d'avoir avec une grande précision non seulement le mouvement du centre guide mais également la position exacte de la particule par rapport au centre guide. M. Nadeau a passé une thèse d'Etat sur l'ensemble de la méthode (165). Une publication sur les équations non autonomes est résultée des travaux de 1975 (166).

### 3.5.7. Etude de l'électrojet équatorial

La propagation des ondes engendrées par l'instabilité double faisceau ou l'instabilité gradient-dérive dans l'électrojet équatorial est entièrement différente selon que les ondes possèdent ou non une composante (petite mais non nulle) de vecteur d'onde parallèle au champ magnétique  $k_{//}$ , sans toutefois que la présence d'un petit  $k_{//}$  ne modifie notablement le taux d'amplification.

L'analyse d'un modèle simplifié d'électrojet a montré que la vitesse de groupe de ces ondes est orientée à quelques degrés près le long des lignes du champ magnétique, sa composante verticale, nettement plus petite que la composante parallèle au champ, pouvant cependant excéder d'un ordre de grandeur les valeurs obtenues dans le cas  $k_{//} = 0$ . De plus cette composante verticale n'est pas de signe constant : certaines ondes tout en suivant une trajectoire de va et vient le long des lignes magnétiques, se propagent vers le haut de l'électrojet et d'autres vers le bas, selon l'orientation de leur vecteur d'onde (JAMIN et KENNEL, 133).

La résolution numérique exacte des équations de propagation pour un modèle d'électrojet tenant compte des inhomogénéités en latitude comme en altitude, a permis le tracé précis des trajectoires des rayons et la détermination du taux d'amplification convective. Celui-ci reste toutefois trop élevé pour que la convection des ondes explique à elle seule (sans l'intervention de mécanismes non linéaires) les taux de fluctuation observés (figure 9).

I. REVAH

Groupe 1  
Etude Dynamique de l'Ionosphere  
par Diffusion Incohérente

P. Bauer

- P. Amayenc
- F. Bertin
- M. Blanc
- R. Chezlemas\*
- R. Clavier
- M. Lafeuille
- C. Peuré
- C. Taieb
- D. Vidal-Madjar (Coord. Techn)
- P. Vila

Groupe 2  
Radar Météorique

M. Glass

- R. Bernard
- B. Bouillet
- JL. Fellous
- H. Gamclon
- M. Massebeuf

Groupe 3  
Sodar

M. Aubry

- L. Eymard
- ME. Le Queré
- P. Van Grunderbeeck\*\*
- A. Weill

Groupe 4  
Convection Nuageuse Tridi-  
mensionnelle et Précipitations

J. Testud

- C. Breger
- C. Chevobbe
- M. Gilet\*\*
- W. Klauss\*\*
- A. Sauvaget

Groupe 5  
Résonances

J. Etcheto

- JJ. Bloch
- H. de Feraudy
- B. Higel
- P. Meyer

Groupe 6  
Interactions Ondes  
particules

R. Gendrin

- M. Abdalla
- C. Berthomier
- G. Chanteur
- N. Cornilleau
- C. de Villedary
- C. Davoust

- N. Dupin
- A. Gabison
- G. Laurent
- S. Perraut
- A. Roux
- J. Solomon

Groupe 7  
Techniques  
Spatiales

M. Auger

- R. Blondeau
- Y. de Javel
- E. Delacroix
- C. Deschanciaux
- A. Guillon
- J. Marque
- JC. Mesnager
- A. Meyer
- L. Nissou

Groupe 8  
Techniques Sol

F. Baudin

- J. Bilbille
- D. Borié
- J. Camus
- M. Clément
- A. Decourtray
- H. Demessance
- S. Dubois
- R. Durbe (St)
- JM. Faynot (St)
- JF. Fèvre
- M. Lecourt (St)
- J. Mougino
- R. Pron
- M. Regis (St)
- JP. Roquejoffre (St)
- H. Saliou
- J. Subsol (St)
- X. Welfelé (St)

Groupe 9  
Centre de Dépouillement GEOS

B. de la Porte

- J. Etcheto
- E. Porteneuve
- R. Riguet
- C. Sebastien

Groupe 10  
Informatique  
Mini-calculateurs

B. Nutten

- A. Derieux
- JP. Irlande
- F. Ramanantsoa
- G. Scialom
- W. Stzpourginski

Services Généraux

- H. Durremberger
- J. Guittard
- J. Jaboin
- M. Lefloch
- C. Vatelot
- D. Verdun

Personnel non rattaché  
à un groupe

Détaché

Conseiller scientifique  
externe au CNET

- J. Delcourt
- D. Hamon
- G. Kockarts

\* en instance de départ

\*\* à temps partiel (Ingénieurs Météorologie Nationale)

C. BEGHIN

MESURE DES PLASMAS SPATIAUX (PCE B)

Animateur : L.R.O. STOREY

- BUJOR Marc
- CAIRO Laurent
- LEFEUVRE François
- MALINGRE Michel (ST MAUR)
- POTTELETTE Raymond (ST MAUR)
- PANTEL Roland
- SINGH Nagendra\*
- THIEL Jacques

ETUDES THEORIQUES DES PLASMAS (PCE C)

Animateur : M. FEIX

- FIJALKOW Eric
- GUTIERREZ Julio\*
- MOURGUES Gérard
- NAVET Marcel

DETECTION DES PHENOMENES PHYSIQUES  
DU PLASMA POLAIRE (PCE D)

Animateur : C. BEGHIN

- DEBRIE Roland
- DECREAU Pierrette
- HAMELIN Michel
- PIRRE Michel
- RENARD Claude

PHYSICO CHIMIE DE L'ATMOSPHERE (PCE E)

Animateur : R. BURKE

- LESPAGNOL Jacques
- THOMAS Roger

ETUDES EN PLASMA DE LABORATOIRE (PCE F)

Animateur : D. HENRY

- ARNAL Yves
- BARBAUD Michel
- FROT Pierre
- MICHAU Jean-Louis
- LEBRETON Jean-Pierre

PROJETS FUSEES (PCE G)

Animateur : J.M. ILLIANO

- DECREAU Pierre
- PESNEL Guy
- MASSIF Richard
- RUIN Yves

GROUPE TECHNIQUE SATELLITES (PCE H)

Animateur : J.F. KARCZEWSKI

- DUBOYS Bernard
- FERGEAU Patrice
- FORT Pierre
- FOULON Madeleine
- LEVEQUE Michel
- MOREAU Jean-Marie
- POIRIER Bernard
- SENE François-Xavier
- HAUSER Alain

ETUDES ET MECANIKES (PCE I)

Animateur : J. BRUGIERE

- BADETS Philippe
- BONNET André
- DION Michel
- LE BIHAN Jacques
- MACCHI Pierre
- MAILLE Gérard

Animateur : P. GILLE

- ALEXANDRE Joëlle
- DELANNOY Claude
- DUME Jean-Pierre
- KOPPREITTER Christine
- PARROT Michel
- PHAN Tan Khué
- TOUSSAINT Jean-Claude

SERVICE GENERAUX PCE (PCE A)

- LHUILLIER Dominique
- REVIL Corinne
- FOURNIER Florence
- KARCZEWSKI Aline

SERVICE GENERAUX C.R.P.E.

- HIEBLOT James
- PESCHARD Yvette
- DUMUIDS Jacqueline
- PERROT Jeanine
- BUREAU Jean-Paul
- ROUX René

\* Invités étrangers détachés à/ou de l'extérieur, chercheurs étrangers

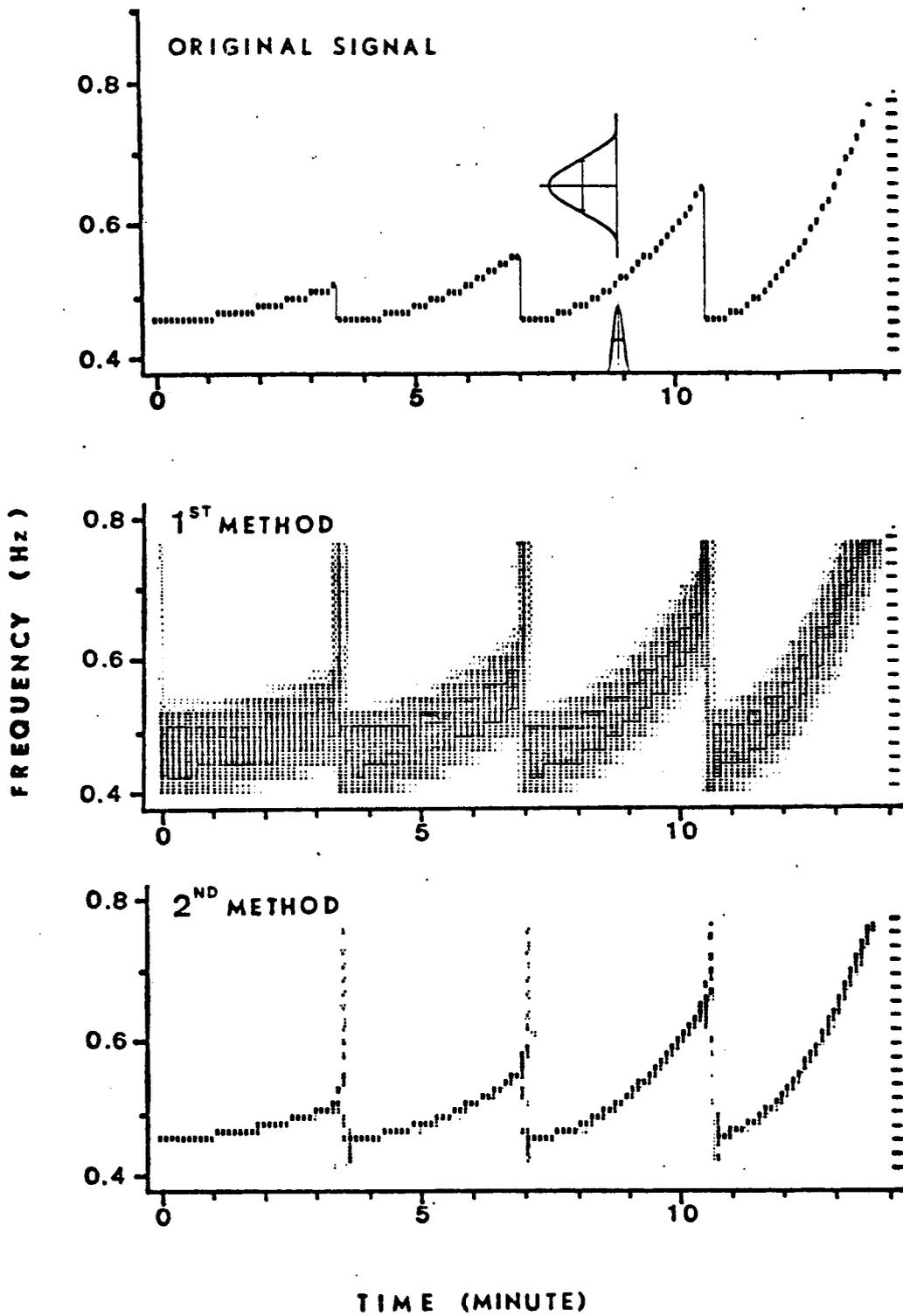


Figure 1 : ANALYSE D'UN SIGNAL DE FREQUENCE VARIABLE PAR LA METHODE MODIFIEE DE LA FENETRE GLISSANTE.

Le signal original (engendré sur calculateur) est représenté sur le panneau supérieur de la figure; la largeur en fréquence (et en temps) de la fenêtre utilisée est également représentée sur ce panneau. Panneau du milieu : sortie de l'analyse par la méthode classique de la fenêtre glissante. Panneau du bas : restitution du signal par la méthode modifiée (KODERA, de VILLEDARY et GENDRIN, 1976).

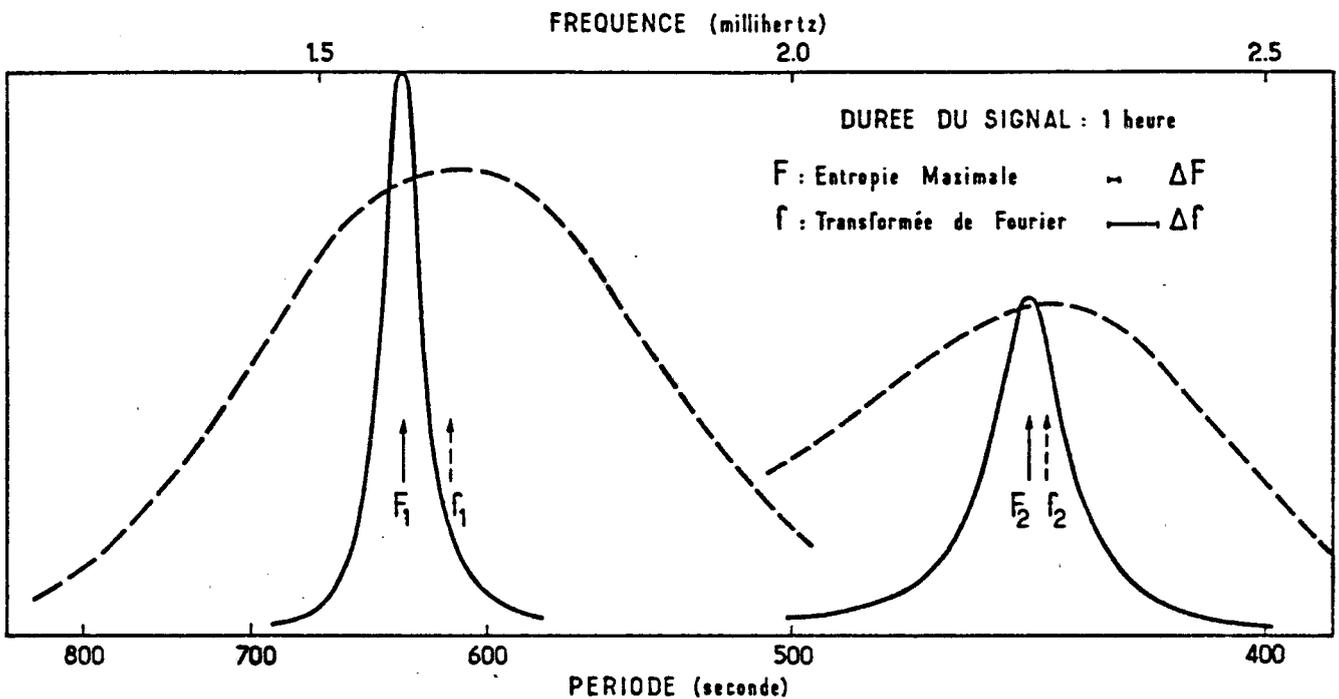


Figure 2 : ANALYSE PAR LA METHODE DE L'ENTROPIE MAXIMALE DE DEUX SIGNAUX GEOPHYSIQUES.

Les signaux analysés sont des "échos de dérive" observés sur les flux d'électrons de haute énergie ( $\sim 0.95$  et  $\sim 1.20$  MeV) détectés à bord du satellite ATS-5. Ces signaux ont été analysés avec une méthode classique (transformée de Fourier de la fonction d'autocorrélation à laquelle on a rajouté des zéros pour améliorer la régularité du spectre) et la méthode de l'algorithme de Burg avec 55 coefficients. La deuxième méthode permet d'obtenir une bien meilleure résolution en fréquence (Chanteur, 1977).

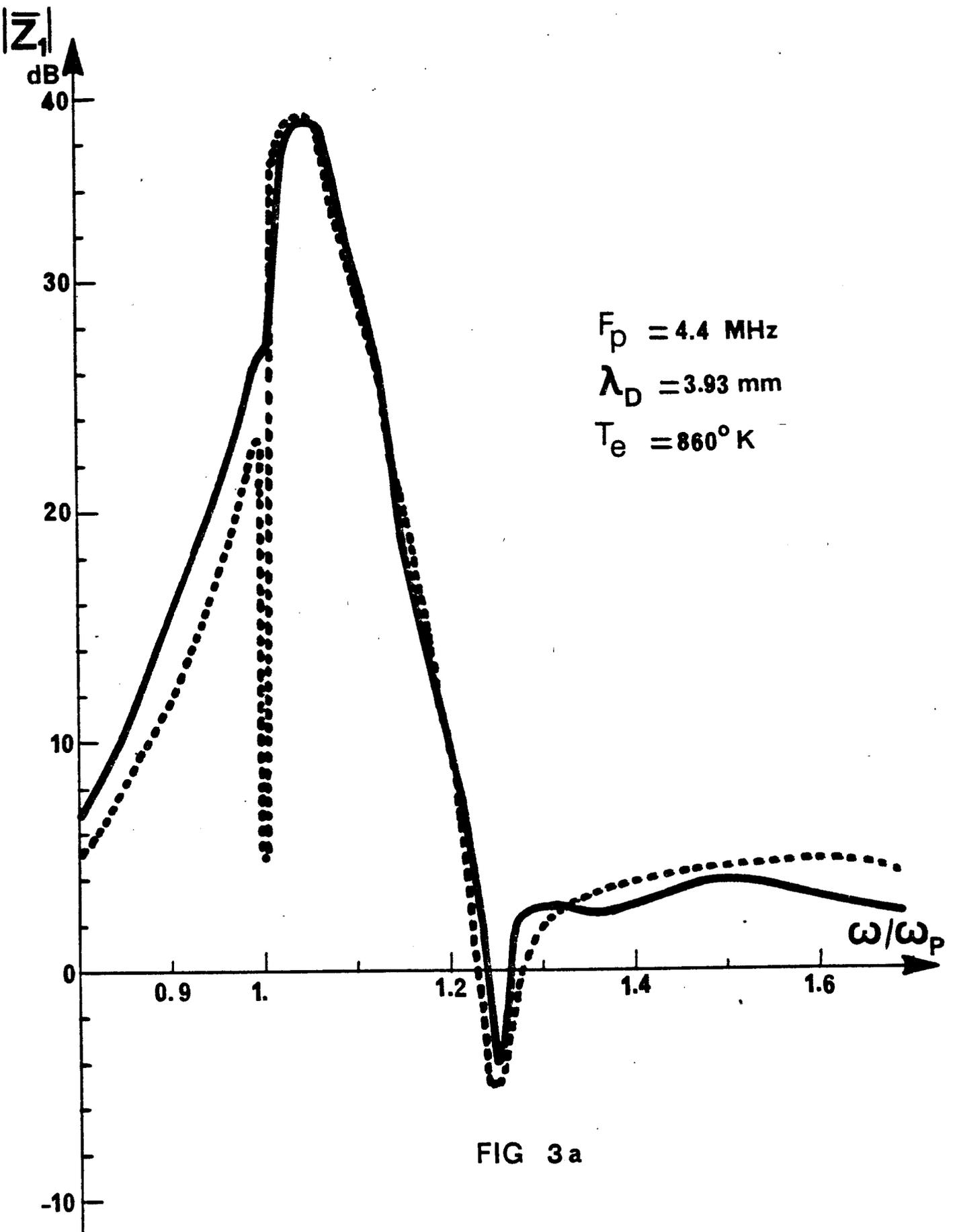


FIG 3a

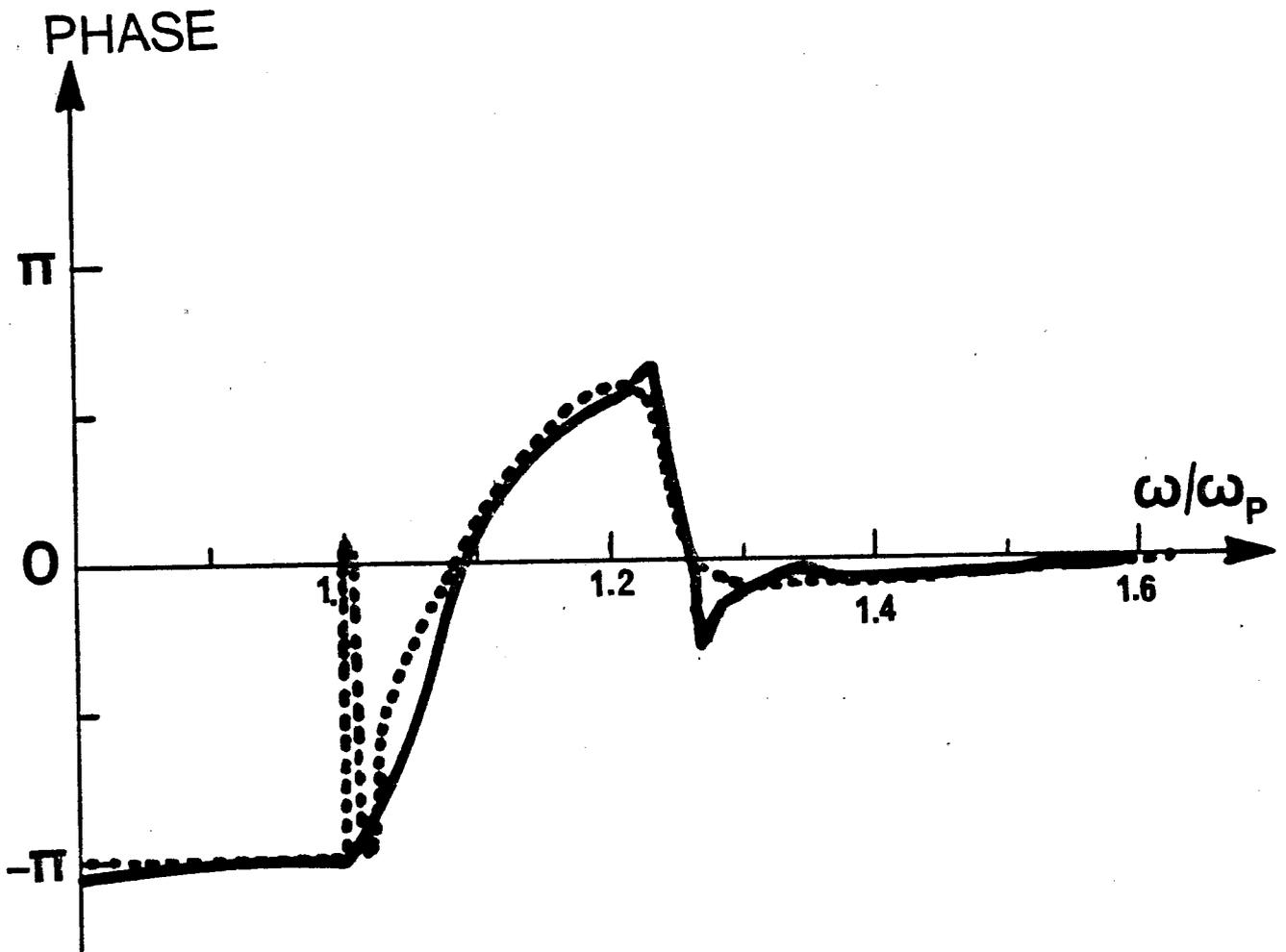


FIG 3b

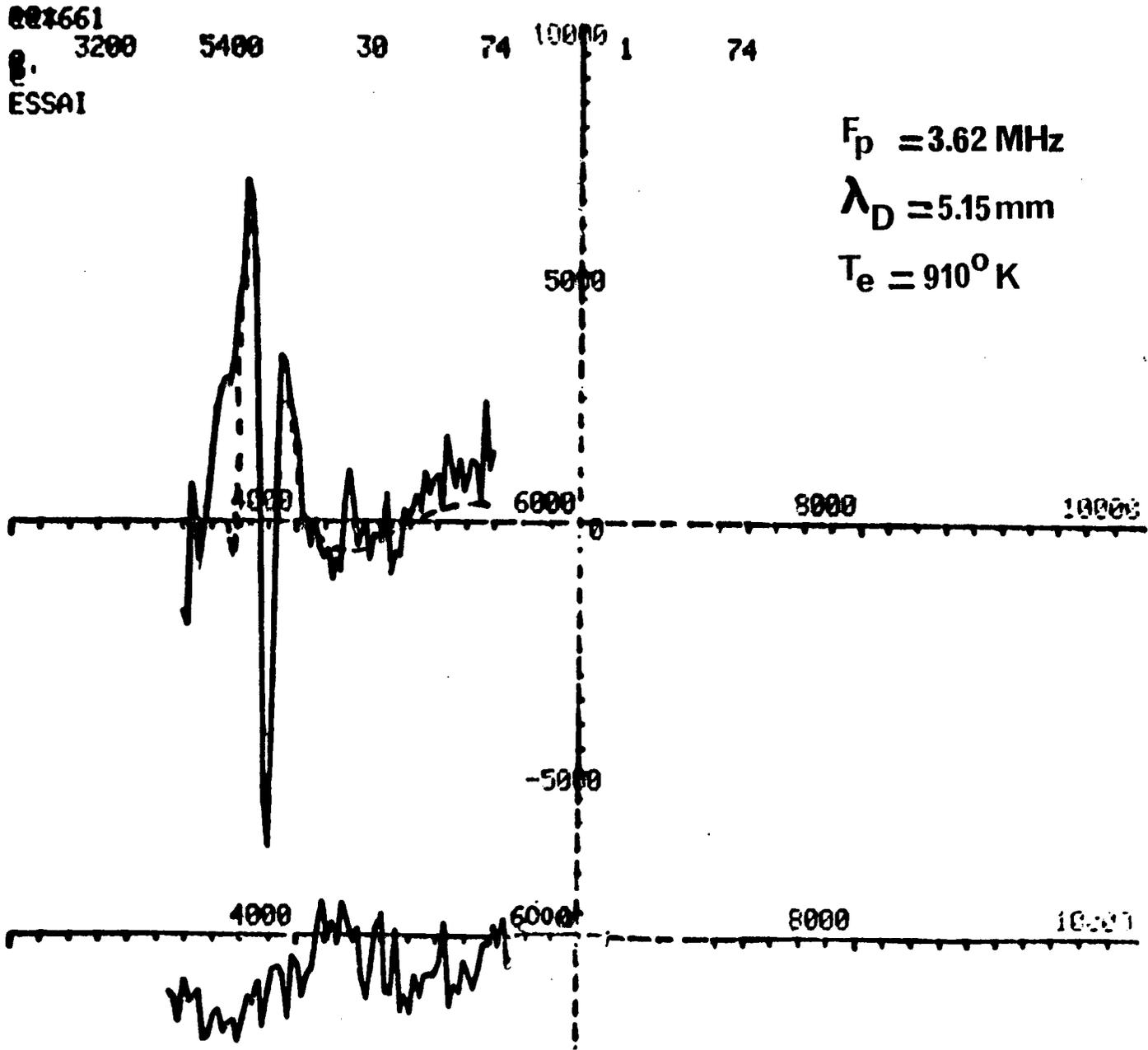


FIGURE 4 : Spectre croisé expérimental du microchamp  
 En haut, la partie réelle ; en bas, la partie imaginaire

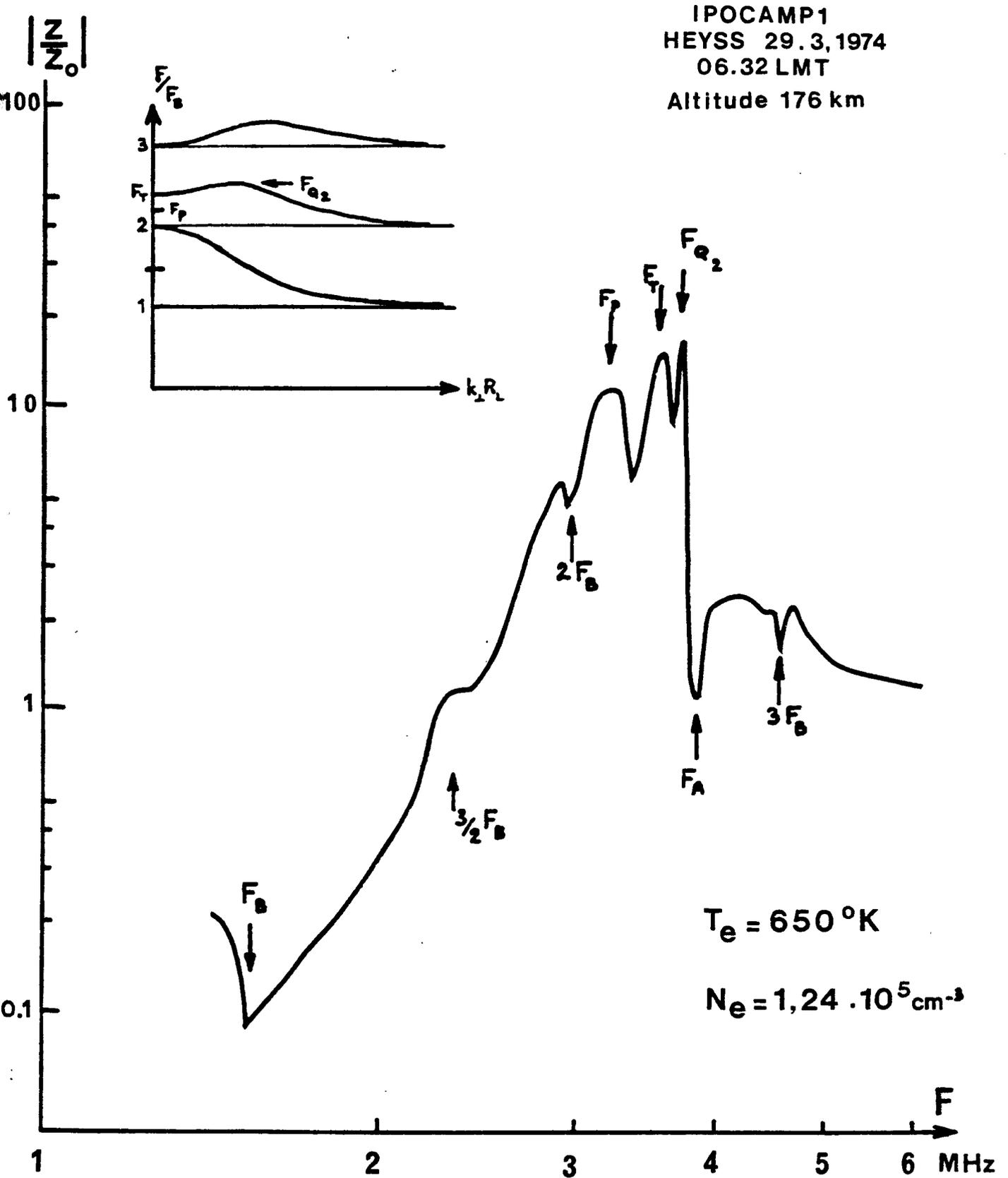


Fig 5 - Réponse typique de la sonde quadripolaire (configuration alignée) dans l'ionosphère en position perpendiculaire au champ magnétique terrestre. En médaillon, le rappel des courbes de dispersion.

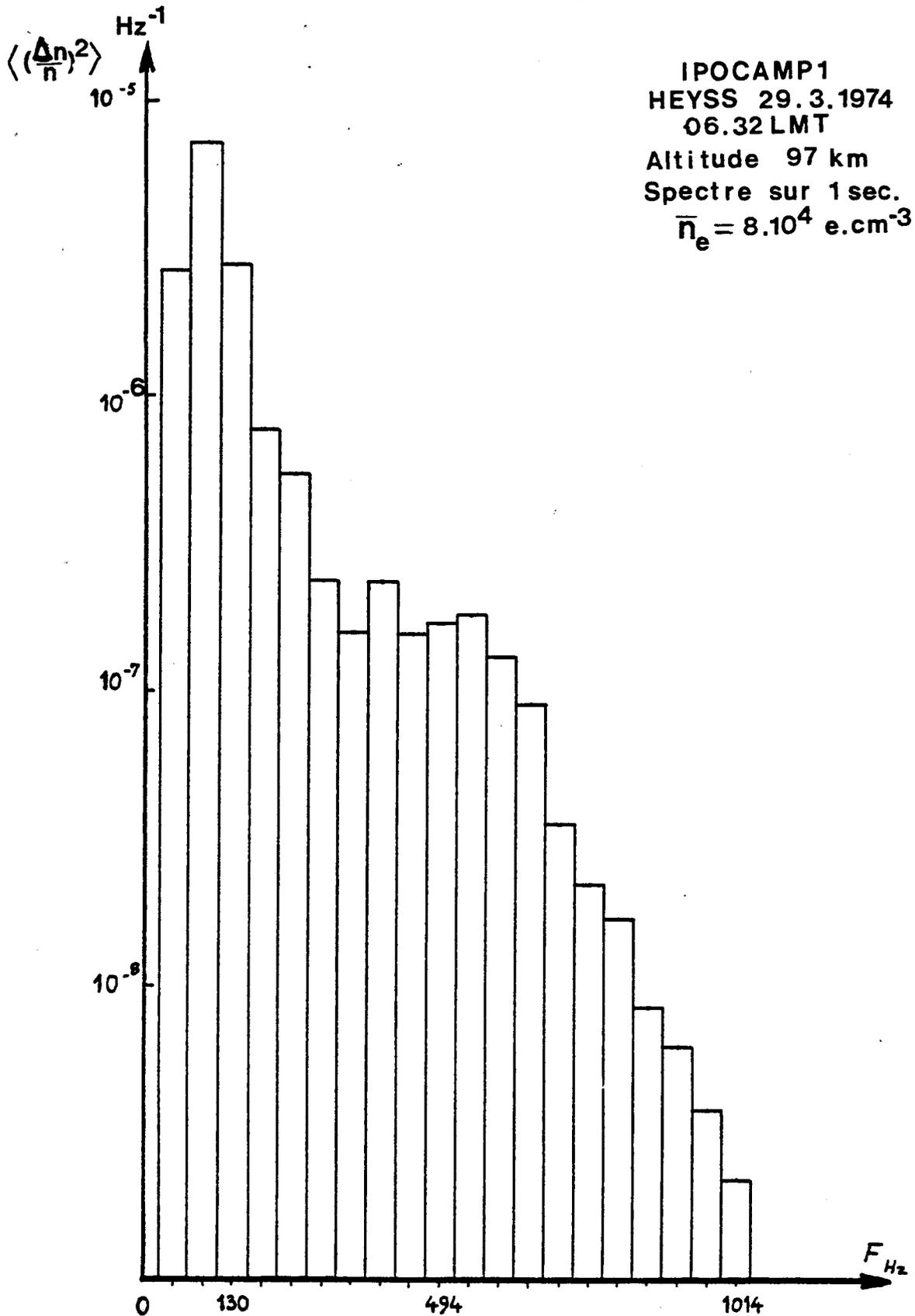
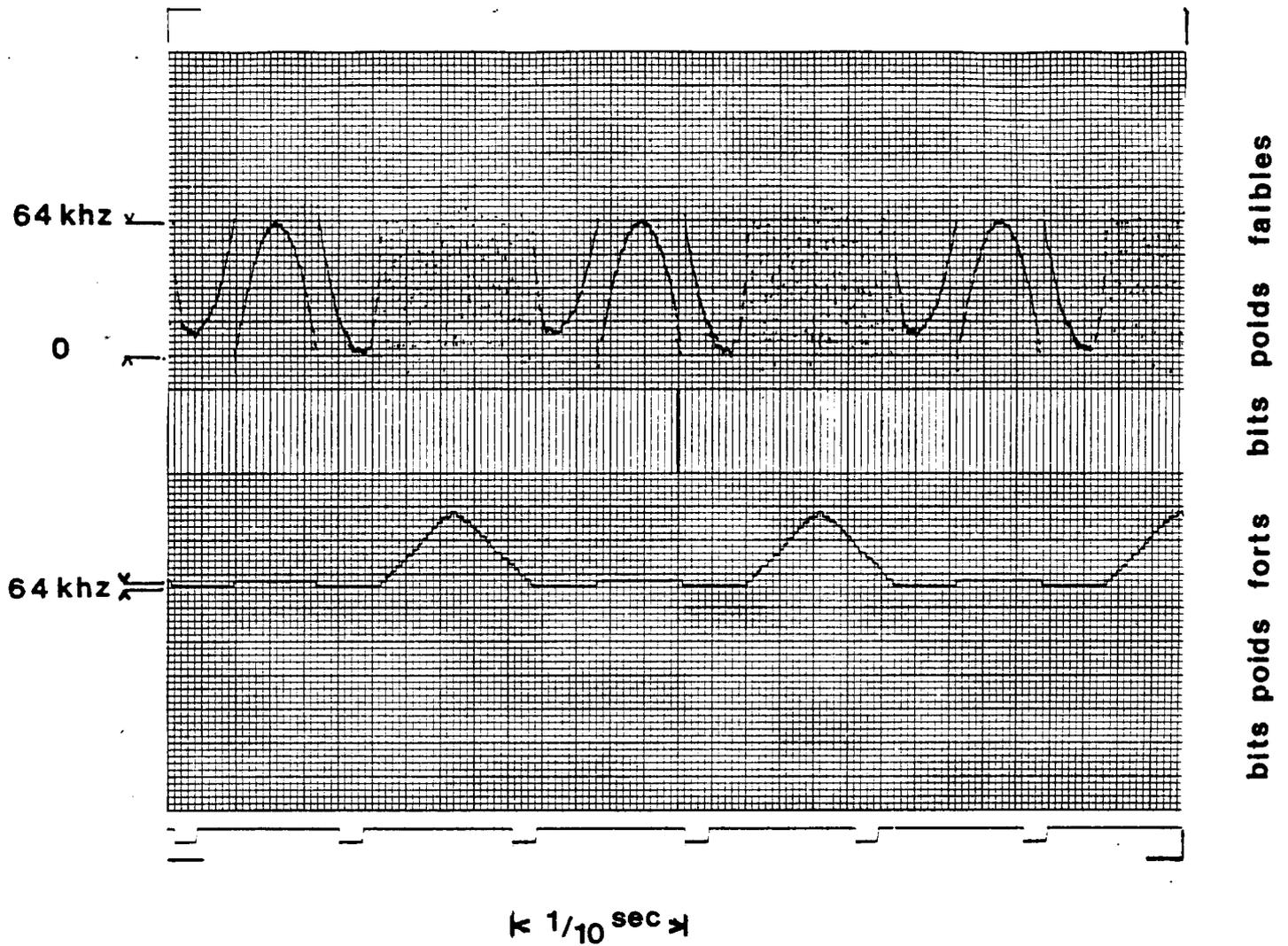


Fig. 6 - Densité spectrale de l'instabilité ionosphérique de la couche E polaire. Si l'on suppose que la vitesse de la fusée est beaucoup plus grande que la vitesse de phase des instabilités, 1000 Hz correspond à une longueur d'onde de 1 m le long du champ magnétique terrestre.



**Fig 7 . Sortie du fréquencemètre intégrateur connecté à une sonde auto-oscillante placée dans un plasma de simulation modulé en densité**

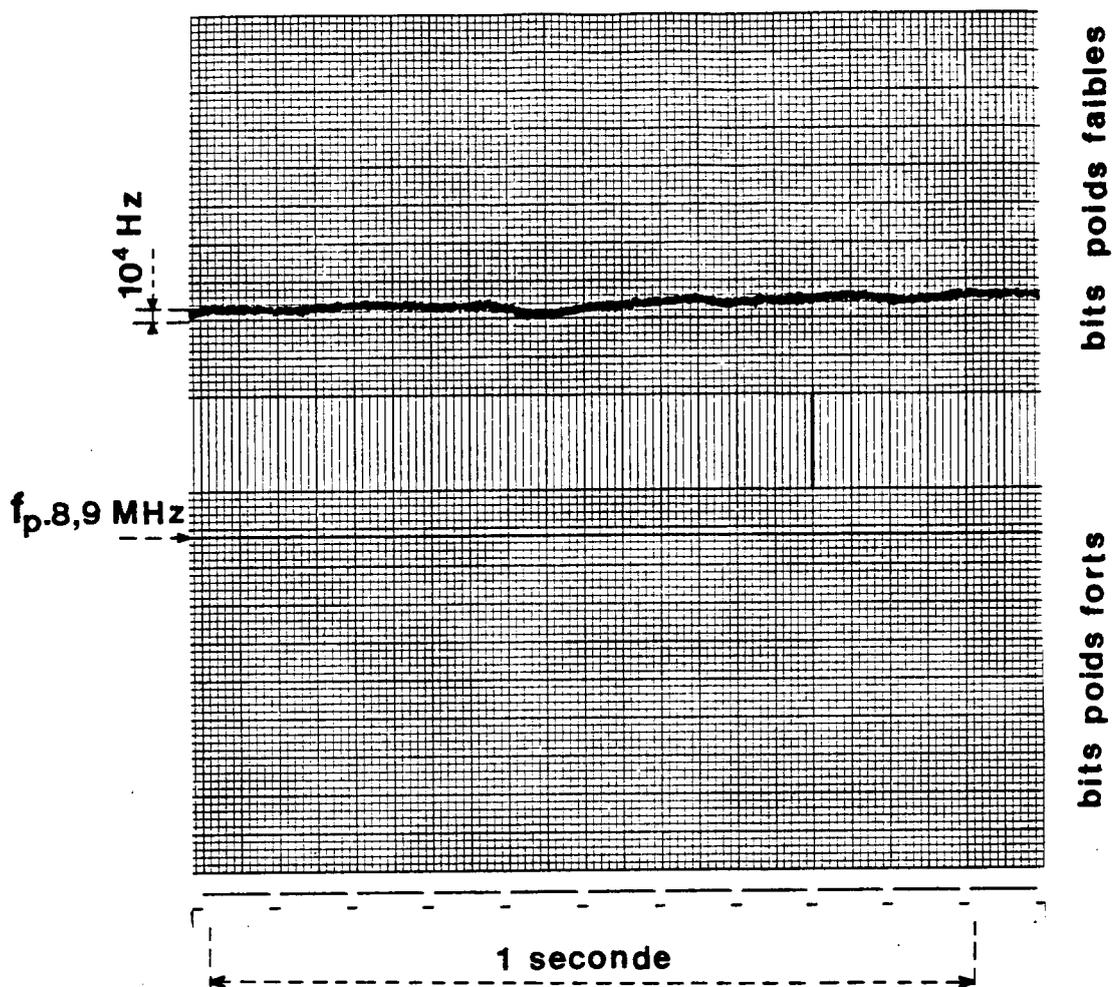


Fig 8 .Analyse du bruit dans le plasma par une sonde radiofrequence auto-oscillante a  $f_p$  associee a un frequencemetre integrateur (temps d'integration :  $4 \cdot 10^{-3}$ s )

$$5 \cdot 10^{-4} < \Delta f / f_p < 2 \cdot 10^{-3}$$

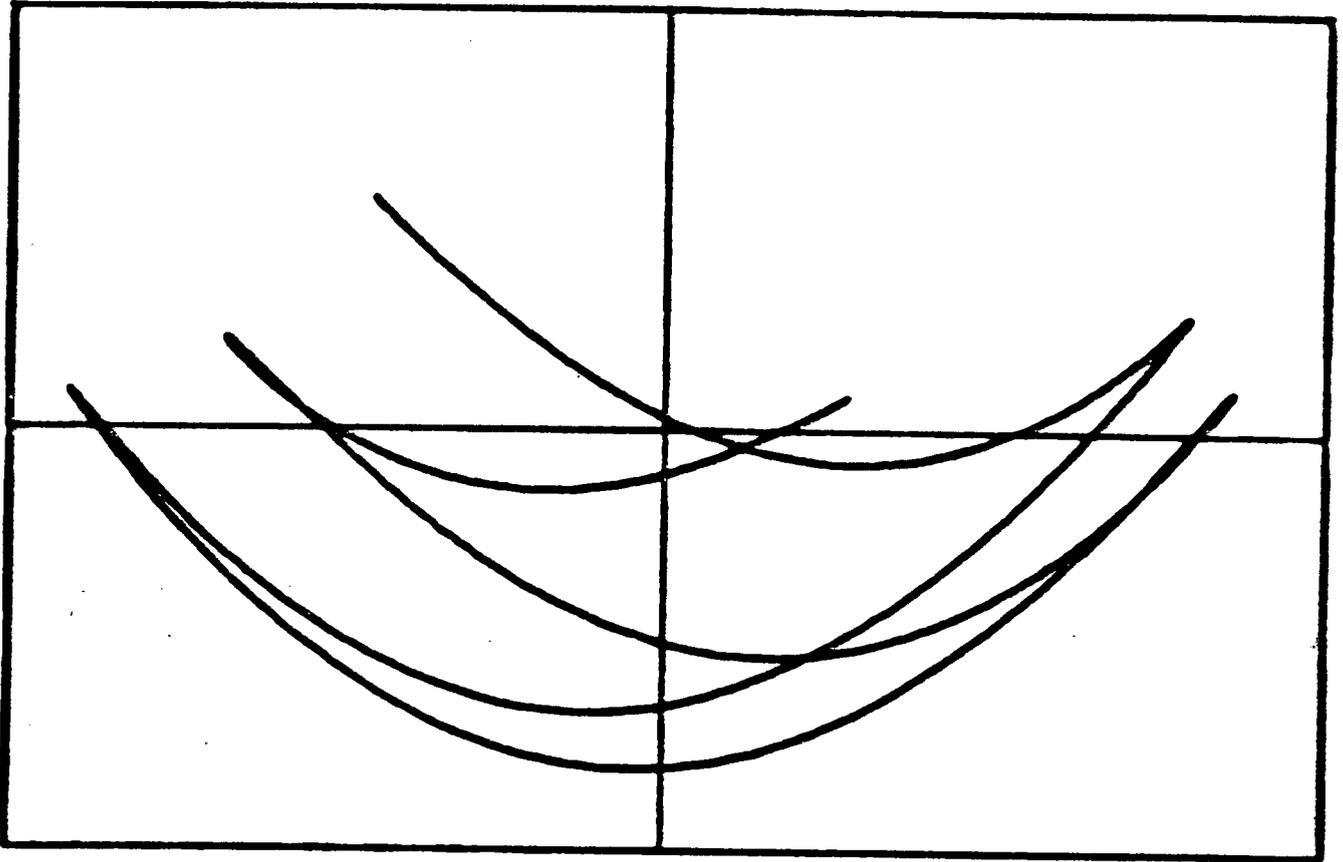


FIGURE 9 : Exemple de tracé de rayon : coordonnées géographiques, en abscisses latitude  $[- 150 \text{ km}, + 150 \text{ km}]$ , en ordonnées altitude  $[- 3 \text{ km}, + 3 \text{ km}]$  par rapport au centre de l'électrojet (environ 102 km)

BIBLIOGRAPHIE

- (1) ALCAYDE D., J. FONTANARI and P. AMAYENC, Dynamical effects in the energy budget of the thermosphere, Communication présentée à : XVIème Assemblée Générale de l'U.G.G.I., Grenoble, 25/08-6/09/75.
- (2) AMAYENC P., Mouvements thermosphériques de grande échelle - Etude par diffusion incohérente à moyenne latitude, Thèse d'Etat, Paris VI, 25/11/75.
- (3) AMAYENC P., D. ALCAYDE and G. KOCKARTS, Solar extreme ultraviolet heating and dynamical processes in the mid-latitude thermosphere, J. Geophys. Res., 80 (19), 2887-2891, 1975.
- (4) ASHOUR-ABDALLA M., Instability theory of electrostatic half-harmonic electron gyrofrequency waves in the magnetosphere : a review, Ann. Geophys., 31 (1), 151-157, 1975.
- (5) ASHOUR-ABDALLA M., G. CHANTEUR and R. PELLAT, A contribution to the theory of the electrostatic half harmonic electron gyrofrequency waves in the magnetosphere, J. Geophys. Res., 80 (19), 2775-2782, 1975.
- (6) ASHOUR-ABDALLA M. and C.F. KENNEL, VLF electrostatic waves in the magnetosphere in "Physics of the hot plasma in the magnetosphere", Edited by B. Hulqvist and L. Stenflo, Nobel Foundation Symposium, pp. 201-227, Plenum Press, 1975.
- (7) ASHOUR-ABDALLA M. and C.F. KENNEL, VLF electrostatic waves in the magnetosphere of earth and Jupiter, Communication présentée à : Xth ESLAB Symposium, Vienne (Autriche), 10-13/06/75.

- (8) ASHOUR-ABDALLA M. and C.F. KENNEL, Electrostatic instabilities in the magnetosphere, Communication présentée à : XVIème Assemblée Générale de l'U.G.G.I., Grenoble 25/08-6/09/75
- (9) ASHOUR-ABDALLA M. and C.F. KENNEL, Convective cold upper hybrid instabilities, in "Magnetospheric Particles and Fields" edited by B. M. McCormac, pp. 181-196, D. Reidel Dordrecht, Netherlands, 1976.
- (10) ASHOUR-ABDALLA M. and C.F. KENNEL, V.L.F. electrostatic waves in the magnetospheres of Earth and Jupiter, in "The Scientific Satellite Programme during the I M S", edited by K. Knott and B. Battrik, pp. 303-325, D. Reidel, Dordrecht, Netherlands, 1976.
- (11) AUBRY M., Les sondages acoustiques de l'atmosphère, Note technique CRPE/7, 1975.
- (12) AUBRY M., A review of the atmospheric acoustic sounding theory results, Communication présentée à : URSI, XVIIIème General Assembly, Lima, Pérou, 8-19/8/75.
- (13) AUBRY M., Etudes de l'atmosphère par SODAR, La météorologie, VI (3), 35-50, 1975.
- (15) AUBRY M., and G. BELBEOCH, Oscillations of the inversion layer, Communication présentée à : Third workshop in "Atmospheric Acoustics", Toronto, Ontario, Canada, 24-27/06/75.
- (16) AUBRY M. and M. ESTIVAL, Simultaneous observations of atmospheric structure by a tethered balloon probe and a Doppler sodar, Communication présentée à : Third workshop in "Atmospheric Acoustics", Toronto, Ontario, Canada, 24-27/06/75.

- (17) AUGER M., E. DELACROIX, J. ETCHETO et M. GUIONNET, Description technique du module S.300.11, Document "GEOS S.300 Experiment" n° 20, 1976.
- (18) AUGER M. et M. GUIONNET, l'expérience S 300 sur GEOS, Communication présentée à : Colloque "Technologie des expériences spatiales", CNES, Paris, 26-30/05/75.
- (19) AUGER M., Y. de JAVEL, B. de la PORTE et M. GUIONNET, Description technique du module S.300.10, Document "GEOS S.300 Experiment" n° 19, 1976.
- (20) ARNAL Y., J.M. ILLIANO et P. GILLE, Ensemble expérimental automatisé adapté à la préparation d'expériences scientifiques spatiales, simulation du milieu ionosphérique, acquisition et contrôle des données, Communication présentée à : Colloque international sur la Technologie des Expériences Scientifiques Spatiales CNES, Paris, 26-30/05/75.
- (21) BAUDIN F., G. BELBEOCH et R. CHEZLEMAS, Le Sodar triple du CNET, Note technique CRPE/28, juillet 1976.
- (22) BAUER P., Theory of waves incoherently scattered, Phil. Trans. Roy. Soc. London, A 280, 167-191, 1975.
- (23) BAUER P., The french incoherent scatter facility, Communication présentée à : Ecole d'été EISCAT, Tromsø (Norvège), 5-13/06/75.
- (24) BAUER P., Ground based observations pertinent to thermospheric dynamics and midlatitudes, Communication présentée à : XVIème Assemblée Générale de l'UG.G.I., Grenoble 25/08-06/09/75.
- (25) BAUER P., Ionospheric electric fields at high and middle latitudes, Communication présentée à : Chapman AIMI Conference, Boulder (Colorado) USA, 04-06/02/76.

- (26) BAUER P., K.D. COLE and G. LEJEUNE, Field aligned electric currents and measurement by the incoherent back scatter technique, Planet. Space Sci., 24 (5), 479-485, 1976.
- (27) BAUER P., K.D. COLE, G. LEJEUNE and M. BLANC, Field-aligned electric currents and their measurement by the incoherent scatter technique on board the space shuttle, Communication présentée à : U.S. National Meeting of U.R.S.I., Boulder (Colorado), U.S.A., 10/1975.
- (28) BAUER P. et al. Local time variations of atomic and molecular oxygen inferred from AE-C during december solstice, Communication présentée à : Spring A.G.U. Meeting, Washington, U.S.A., 06/1975.
- (30) BEGHIN C. et J.F. KARCZEWSKI, Projet ARCAD 3 : expérience "ISOPROBE" - description technique préliminaire, Note technique CRPE/3, 01/1975.
- (31) BEGHIN C., J.J. BERTHELIER, C. RENARD et J.F. KARCZEWSKI, Projet IPOCAMP2-Heys, Printemps 1976, Objectifs scientifiques, Description technique préliminaire, Note Interne, 02/1975.
- (32) BENSON R.F., P. BAUER et al. Electron and ion temperatures : A comparison of groundbased scatter and AE - C satellite measurement, Communication présentée à : Spring A.G.U. Meeting, Washington, U.S.A., 06/1975.
- (33) BERCY C., BERTHELIER J.J., DELAHAYE J.Y., GOGLY G., KARCZEWSKI J.F., LAVERGNAT J., MOREAU M.M., NEY R., PENAZZI B., PIRRE M., REBOURG A. et SENE F.X., Mesure des ondes dans l'expérience ARAKS, Rapport technique LGE/CRPE 07/1975.

- (34) BERNARD R., Marées et ondes planétaires dans la basse thermosphère et la haute mésosphère, dans : "Atmospheric Physics from Spacelab", edited by J.J. BURGER, A. PEDERSEN and B. BATTRICK, D. Reidel, Dordrecht, Netherlands, 1976.
- (35) BERNARD R., Tides in the upper atmosphere, Communication présentée à : Third European Geophysical Society Meeting, Amsterdam (Holland), 7-10/09/76.
- (36) BERNARD R., J.L. FELLOUS, M. GLASS et M. MASSEFEUF, One year's results of simultaneous zonal wind measurements by meteor radars at garchy (47° N) and Kiruna (68° N), Communication présentée à : The 19e COSPAR Meeting, Philadelphie (USA), 8-19/06/76
- (37) BERTEL L., F. BERTIN et J. TESTUD, De la mesure du contenu électronique intégré appliquée à l'observation des ondes de moyenne échelle, J. Atmosph. Terr. Phys., 37 (3) 261-270, 1976.
- (38) BERTHOMIER C., Sur une méthode d'analyse de signaux, Ann. Geophys., 31 (2), 239-251, 1975.
- (39) BERTHOMIER C., Instantaneous amplitude and frequency of a time varying signal. Application to the fine structure of ULF and VLF magnetospheric emissions, Communication présentée à : URSI. XVIIIth General Assembly, Lima (Pérou), 8-19/08/1975.
- (40) BERTHOMIER C., Sur une méthode d'analyse de signaux, Communication présentée à : XVIème Assemblée Générale de l'U.G.G.I., Grenoble, 25/08-06/09/75.
- (41) BERTHOMIER C. Représentation d'un signal dans un plan fréquence instantanée temps, Thèse de Doctorat d'Etat, Paris VI, 12/1976.

- (42) BERTHOMIER C. et N. CORNILLEAU-WEHRLIN, Application de la notion de signal analytique à la détermination de l'amplitude et de la fréquence instantanée du signal, Ann. Telecomm., 30 (7-8), 224-230, 1975.
- (43) BERTHOMIER C. et N. CORNILLEAU-WEHRLIN, Le signal analytique et la mesure des fréquences et amplitudes instantanées, Communication présentée au Colloque du CNRS "Analyse de signaux non-stationnaires", Issy-les-Moulineaux, 5-6/02/75.
- (44) BERTHOMIER C., N. CORNILLEAU-WEHRLIN et R. RIGUET, Techniques nouvelles d'analyse de signaux naturels en temps réel, rapport sur le contrat interne de recherches n° 73-09, Note technique CRPE/4, 1975.
- (45) BERTIN F., J. TESTUD and L. KERSLEY, Medium scale gravity waves in the ionospheric F-region and their possible origin in weather disturbances, Planet.Space Sci., 23 (3) 493-507, 1975.
- (46) BERTIN F., J. TESTUD, L. KERSLEY and P.R. REES, The meteorological jet stream as a source of medium scale gravity waves in the thermosphere : an experimental study, Communication présentée à : COSPAR Beacon Satellite Group Symposium, Boston, USA, 06/1976.
- (47) BERTRAND P. and M.R. FEIX, Non linear electron plasma oscillations, comments on recent developments and non linear frequency shift for the water bag model, Plasma Phys., 18 (8), 655-658, 1976.
- (48) BITOUN J., An interpretation of Bernstein wave interference patterns in a magnetoplasma, Radio Sci., 10 (10), 921-924, 1975.

- (49) BITOUN J., L. FLEURY and B. HIGEL, Theoretical study of gyroresonance with application to rocket experiments, Radio Sci., 10 (10), 875-889, 1975.
- (50) BITOUN J. et A. GUERARD, Ajustement mathématique de paramètres ionosphériques, Ann. Télécomm., 30 (1-2), 31-37, 1975.
- (51) BLANC M., Field-aligned plasma flow and the polar wind : a review  
Communication présentée à : Ecole d'été EISCAT,  
Tromsø, (Norvège), 5-13/06/75.
- (52) BLANC M.P. AMAYENC, J.P. CORNEC and C. TAIEB, Perpendicular ion drifts from the french multistatic incoherent scatter facility, Communication présentée à :  
XVIème Assemblée Générale de l'U.G.G.I., Grenoble  
25/08-06/09/75.
- (53) BLANC M. and P. AMAYENC, Contribution of incoherent scatter radars to the study of middle and low latitude ionospheric electric fields, in "Atmospheric Physics from Spacelab", edited by J.J. BURGER, A. PEDERSEN and B. BATTRICK, D. Reidel, Dordrecht, Netherlands, 1976.
- (54) BLANC M., P. BAUER and G. LEJEUNE, Field aligned currents measured by incoherent scatter on board the Spacelab, in "Atmospheric Physics from Spacelab", edited by J.J. BURGER, A. PEDERSEN and B. BATTRICK, D. Reidel Dordrecht, Netherlands, 1976.
- (55) BLANC M., P. AMAYENC, P. BAUER and C. TAIEB, Electric field induced drifts from the French incoherent scatter facility, accepté par : J. Geophys. Res., (à paraître).
- (56) BRINTON H.C., P. BAUER, M.C. MAYR, W.E. POTTER and D.C. KAYSER,  
The winter hydrogen bulge, Communication présentée à :  
Spring A.G.U. Meeting, Washington, U.S.A., 06/1975.

- (57) BUJOR M., Mesure ponctuelle des variations de potentiel de surface d'une sonde électrostatique et de leur influence sur la détermination de la température électronique d'un plasma, Thèse d'Ingénieur-Docteur, Orléans, 6/10/76. (Note technique CRPE/31)
- (58) BURGAN J.R., Influences des collisions sur les plasmas et magnétoplasmas linéaires homogènes par un modèle Fokker-Planck, Thèse d'Ingénieur-Docteur, Orléans, 12/1975. (Note technique CRPE/24)
- (59) BURGAN J.R., E. FIJALKOW and M.R. FEIX, Collisional damping of Bernstein linear echoes, Phys. Let., 55A, 465-466 1976.
- (60) BURGAN J.R., E. FIJALKOW and M.R. FEIX, Collisional Damping of Bernstein echoes, in "Proceedings of the Second European Conference on Computational Physics", Paper P9, 04/1976.
- (61) BURGAN R., E. FIJALKOW and M.R. FEIX, Dispersion relations for a collisional magnetoplasma, accepté par : J. Plasma Phys., (à paraître)
- (62) BURGAN J.R., J. GUTIERREZ, E. FIJALKOW, M. NAVET and M.R. FEIX, Self Similar solutions for Vlasov and Water bag models, accepté par : Phys. Let., (à paraître)
- (63) BURKE R.R., Réactions chimiques dans l'Atmosphère de Vénus, Communication présentée à : Journée de synthèse "l'Atmosphère de Vénus après Mariner 10", Institut d'Astrophysique, Paris, 14/01/75.
- (64) BURKE R.R., Croissance des agrégats  $H^+ (H_2O)_n$  en phase gazeuse, Communication présentée à : 9ème séminaire des Lecques (organisé par le Laboratoire des Mécanismes de la Croissance Cristalline, Université d'Aix-Marseille III), Lecques-La-Plage, 20-23/05/75.

- (65) BURKE R.R., Chemistry in astronomy, Communication présentée à :  
Séminaire du Physical Chemistry Laboratory, Oxford  
University, G.B., 28/04/75.
- (66) BURKE R.R. Ions Mésosphériques, Communication présentée à :  
Journées d'études "Ions atmosphériques et pollution"  
11-12/03/76, Université de Pau, Rev. Gén. Electr.  
(à paraître)
- (67) BURTON R.K., N. CORNILLEAU-WERHLIN et J. ETCHETO, Analyse détaillée  
de la structure fine d'éléments de coeur EBF en-  
registrés à bord d'un satellite, Communication  
présentée à : XVIème Assemblée Générale de  
l'U.G.G.I., Grenoble, 25/08-06/09/75.
- (68) CAIRO L. et al, Identificaiton des caractéristiques des images du  
détecteur multispectral à balayage utiles pour la  
rechreche hydrogéologique, Rapport final dans le  
cadre de l'Action Thématique Programmée "Traitement  
des images", Note technique CRPE/19, BRGM 76  
SGNO 19 AME, 31/01/76.
- (69) CAIRO L. and J.C. CERISIER, Experimental study of ionospheric  
electron density gradients and their effects on  
V.L.F. propagation, J. Atmosph. Terr. Phys.  
38 (1), 27-36, 1976.
- (70) CHABERLOT A., Détermination de la densité et de la température  
électroniques du plasma ionosphérique au moyen d'un  
sonde à impédance mutuelle embarquée sur fusée,  
Mémoire Ingénieur CNAM, Orléans, Thèse de diplôme  
d'Ingénieur, 06/1975.
- (71) CHANG J.S., Theory of mass-discrimination effects on ion extraction  
from continuum flowing plasmas, Int. J. Mass Spectrom  
Ion Phys. 16, 448-450, 1975.

- (72) CHANG J.S. and K. KODERA, Theory of electrostatic probes in a flowing continuum plasma : numerical solution for sphere stagnation point, Note technique CRPE/2, 1975
- (74) CHANG J.S. and J.C. LAFRAMBOISE, Theory of electrostatic probes in a flowing continuum low-density plasma, Note Technique CRPE/30, 09/1976.
- (75) CHANTEUR G., Estimateur spectral du maximum d'entropie, accepté par : Ann. Télécomm. (à paraître)
- (76) CHANTEUR G., R. GENDRIN and S. PERRAUT, High energy drift echoes at the geostationary orbit, accepté par : J. Atmosph. Terr. Phys. (à paraître)
- (77) CHASSERIAUX J.M., Cone resonance excited by an alternating point charge in a warm magnetoplasma, Phys. Fluids, 18, 866-870, 1975.
- (78) CHONG M., Mesure de profils de vent par Sodar Doppler, Note Technique CRPE/22, 1976
- (79) CORNILLEAU-WEHLIN N. and J. ETCHETO, Experimental study of ELF chorus elements, Communication présentée à : AGU International Symposium on Solar Terrestrial Physics, Boulder (Colorado), 7-17 juin 1976
- (80) CORNILLEAU-WEHLIN N., J. ETCHETO and R.K. BURTON, Detailed analysis of magnetospheric ELF chorus : preliminary results, accepté par : "J. Atmosph. Terr. Phys.", (à paraître)
- (81) COWLEY S.W.M. and M. AHSOUR-ABDALLA, Adiabatic plasma convection in a dipole field : variation of plasma bulk parameters with L , Planet. Space Sc., 23 (11), 1527-1549, 1975.

- (82) COWLEY S.W.H. and M. AHSOUR-ABDALLA, The structure of the outer radiation zone in a simple model of the convecting magnetosphere, Communication présentée à : XVIème Assemblée Générale de l'U.G.G.I., Grenoble, 25/08-06/75.
- (83) COWLEY S.W.M. and M. ASHOUR-ABDALLA, Adiabatic plasma convection in a dipole field : electron forbidden-zone effects for a simple electric field model, Planet. Space Sc., 24 (9), 805-819, 1976.
- (84) COWLEY S.W.M. and M. ASHOUR ABDALLA, Adiabatic plasma convection in a dipole field : proton forbidden-zone effects for a simple electric field model, Planet Space Sc., 24 (9), 821-823, 1976.
- (85) COWLEY S.W.M. and M. ASHOUR-ABDALLA, The structure of the outer radiation zone in a simple model of the convecting magnetosphere, accepté par : J. Atmosph. Terr. Phys., (à paraître)
- (86) DEBRIE R., Y. ARNAL, J.M. ILLIANO, Measurement of low electronic temperatures in unmanetized plasmas , Phys. Let., 56A (2), 95-96, 1976
- (87) DECREAU P. (Mme), Signal treatment of the three electric components  $e_x, e_y, e_z$  of S 300, between waves in plasma to the output of preamplifiers, Descriptive Document 1975.
- (88) DECREAU P.M.E., R.P. RANGE and J.J. BERTHELIER, Optimization of toroidal electrostatic analyzers for measurements of low energy particles in space, Rev. Sci. Instr. 46 (8), 995-1007, 1975
- (89) DELAHAYE J.Y., J. LAVERGANT, R. NEY, and J.F. KARCZEWSKI, Waves Measurement in ARAKS experiment, accepté par Space Sc. Instrument. (à paraître)

- (90) DELANNOY C., 'Gestion dynamique d'une zone de mémoire', Zéro Un Informatique, 88, 77-80, 1975.
- (91) DELCOURT J., Contribution théorique et expérimentale sur l'origine des poussières météoriques, Communication présentée à : Colloque International de l'U.A.I. "Interplanetary dust and zodiacal light", Heidelberg, 10-13/06/75
- (92) DEMARS C., C. BERTHOMIER and M. GOUSTARD, A few results about the ontogenesis of the "great call" of gibbons (*Hylobates concolor*) in "Recent Advances in Primatology", Vol 1, Academic Press, London, (à paraître)
- (93) DERIEUX A., BAUER P. and G. LEJEUNE, Exospheric hydrogen above St-Santin, Ann. Geophys., 31 (4), 447-453, 1975.
- (94) DESSENS P., WALDTEUFEL, C.R. de NIMEN, J. Rech. Atmosph. (à paraître)
- (95) DOUCET J.J. et M.R. FEIX, 'De l'effet des gradients et des courbures sur la réflexion d'une onde électrostatique en plasma hétérogène', Journal de Physique, 36 (6) 517-519, 1975
- (96) DUBOYS de LAVIGERIE B., J.F. KARCZEWSKI, J.M. MOREAU et F.X. SENE, Description de la station automatique de test magnétique CRPE de Chambon la Forêt, Note technique CRPE/21, mai 1976.
- (97) ESTIVAL A. et M. AUBRY, La mesure des profils de vent dans les basses couches par Sodar Doppler, La météorologie N° Spéc., 17-22, Novembre 1975.
- (98) ESTIVAL A. et M. AUBRY, Interprétation des échos Sodar en termes de stratification atmosphérique, "La Météorologie", VI (5), 33-42, 06/75.

- (99)           ETCHETO J., Generation mechanism for ELF hiss in the magneto-  
                  sphere, Communication présentée à : XVIème  
                  Assemblée Générale de l'U.G.G.I., Grenoble,  
                  25/08-06/09/75.
- (100)          ETCHETO J., J. BITOUN, L. FLEURY et A. ROUX, Diagnostic des  
                  plasmas spatiaux par sondages à relaxation,  
                  Communication présentée à : XVIème Assemblée  
                  Générale de l'U.G.G.I., Grenoble, 25/08-06/09/75
- (101)          ETCHETO J., J. BITOUN and B. HIGEL, Diagnostics of spatial plasma  
                  with a relaxation sounder, Communication présentée  
                  à : Xth ESLAB Symposium, Vienne (Autriche),  
                  10-13/06/75
- (102)          ETCHETO J., Diagnosis of spatial plasmas with a relaxation sounder  
                  in "The Scientific satellite programme during the  
                  international magnetospheric study", edited by  
                  KNOTT K. and B. BATTRICK, D. Reidel, Dordrecht,  
                  Netherlands, 1976.
- (103)          FAYNOT J.M., Intertropical spread F in Africa, Communication  
                  présentée à : URSI, XVIIIth General Assembly,  
                  Lima (Pérou), 8-19/8/75.
- (104)          FEIX M.R., Mathematical models of plasma and Hydrodynamics problems  
                  in "Second International Congress Waves and Insta-  
                  bilities in Plasmas, Book of Survey Lectures",  
                  G. Auer, F. Cap Editor, pp.F1-F39, Institute of  
                  Theoretical Physics, Innstrück Univ., 1975.
- (105)          FEIX M.R., Cross-fertilization between plasma Stellar dynamics  
                  and hydrodynamics, in: "Dynamics of Stellar systems",  
                  Edited by : A. HAYLI, pp. 179-194, D. Reidel,  
                  Dordrecht, Netherlands, 1976.

- (106) FELLOUS J.L., R. BERNARD, M. GLASS, M. MASSEBEUF and A. SPIZZICHINO  
A study of the variations of atmospheric tides  
in the meteor zone, J. Atmosph. Terr. Phys., 37  
(12), 1511-1524, 1975.
- (107) FELLOUS J.L. and M. GLASS, Small scale variation of the wind  
observed with the Garchy meteor radar, Communica-  
tion présentée à : XVIIIème assemblée plénière du  
COSPAR, Varna (Bulgarie), 29/5-7/6/75.
- (108) FISZLEIBER F., H. de FERAUDY and J.C. CERISIER, Influence of  
horizontal density gradients on the propagation of  
VLF waves through the ionosphere, J. Atmosph. Terr.  
Phys., 37 (12), 1525-1534, 1975.
- (109) FREESTON I.L., R. POTTELETTE et L.R.O. STOREY, Diagnostic de  
plasma hors d'équilibre au moyen de mesures du  
microchamp aléatoire, Note Technique CRPE/13, 1975.
- (110) GAUTIER D. and I. REVAH, Sounding of planetary atmospheres : A  
Fourier analysis of the radiative transfer equation,  
J. Atmosph. Sci., 32 (5), 881-892, 1975.
- (111) GENDRIN R., Colloque du CNRS sur l'Analyse des signaux non-station-  
naires, Ann. Télécom., 30, 203-208, 1975.
- (112) GENDRIN R., Is the plasmopause a preferential region for proton  
precipitation?, Ann. Geophys., 31 (1), 127-135,  
1975, (Symposium de la Société Européenne de Géophy-  
sique sur les instabilités dans les plasmas, Trieste,  
Italie, 22-27/09/74)
- (113) GENDRIN R., Waves and wave-particle interactions in the magneto-  
sphere : a review, Space Sci. Rev., 18 (2), 145-200  
1975.

- (114) GENDRIN R., Magnetic oscillations waves and wave-particle interactions, Communication présentée à : XVIème Assemblée Générale de l'U.G.G.I., Grenoble, 25/08-06/09/75.
- (115) GENDRIN R., S. PERRAUT et A. ROUX, Détermination des zones d'instabilités cyclotroniques, Communication présentée à XVIème Assemblée Générale de l'U.G.G.I., Grenoble 06/09/75
- (116) GENDRIN R., Some theoretical problems associated with particle precipitation induced by cold plasma injection into the magnetosphere, Communication présentée à : AGARD, Artificial modification and propagation media Bruxelles (Belgique), 26-30/4/76
- (117) GENDRIN R., K. KODERA, C. de VILLEDARY, A new technique for the presentation of the spectral and polarization characteristics of non-stationary signals, Communication présentée à : Third European Geophysical Society Meeting, Amsterdam (Holland), 7-10/09/76.
- (118) GILLE P., E. GRUN, R. PATZELT, A. ROBBINS and G. PETERS, Review of Spacelab CDMS for experiments, European Space Agency, Spacelab CDMS Group Report, 10/1976.
- (119) GIRAUD A. et M. PETIT, Physique de l'ionosphère, P.U.F., 1975
- (120) GLASS M., J.L. FELLOUS, M. MASSEBEUF, A. SPIZZICHINO, I.P. LYSENKO and Y.I. PONTRIAGHIN, Comparison and interpretation of the results of simultaneous wind measurements in the lower thermosphere at Garchy (France) and Obninsk (USSR) by meteor radar technique, J. Atmosph. Terr. Phys., 37 (8), 1077-1087, 1975.
- (121) VAN GRUNDERBEECK P., Etude de la détermination des profils atmosphériques de température et humidité par sondage acoustique multi-fréquence, la Météorologie, 51-69 12/1975.

- (122) VAN GRUNDERBEECK P., "Etude de la détermination des profils atmosphériques de température et humidité par sondage acoustique multifréquencemètre, Thèse de 3e cycle, Paris VI, 24/02/76. (Note Technique CRPE/5, 1975)
- (123) GUIONNET M., L'expérience S.300 sur GEOS, Communication présentée à : Technologie des expériences scientifiques spatiales, CNES, Paris, 26-30/05/75.
- (124) HAMELIN M. and C. BEGHIN, Electromagnetic and electrostatic waves in a multicomponent plasma near the lower hybrid frequency, J. Plasma Phys. 15 (1), 115-131, 1976
- (125) HEDIN A.E., N.W SPENCER, W.B. HANSON and P. BAUER, Comparaison of neutral temperatures inferred from instruments on the AE.C Satellite, Geophys. Res. Let. , 3 (8), 469-471, 1976.
- (126) HEDIN A., C. ALCAYDE and P. BAUER, A global thermospheric model based on mass spectrometer and incoherent scatter data : MSIS Part 1 - N2 Density and temperature, accepté par : J. Geophys. Res. , (à paraître)
- (127) HENRY D., J.M. LAFAILLE et G. MOURGUES, Etude théorique et expérimentale des effets de dérive dans un plasma chaud non collisionnel, Premier rapport contrat de recherche DRME 75/11-13/1975.
- (128) HIGEL B., Non stationnarités des signaux de résonance des plasmas ionosphérique et magnétosphérique, Ann. Télécom., 30, (7-8), 239-246, 1975
- (129) HIGEL B. et J. ETCHETO, Non-stationnarité des signaux de résonance des plasmas ionosphérique et magnétosphérique, Communication présentée à : Colloque du CNFRS "Analyse de signaux non-stationnaires", Issy-les-Moulineaux, 5-6/02/75

- (130) HIGEL B. and M. de FERAUDY, Space plasmas diagnosis through electrostatic waves : a review of experimental and theoretical results, Communication présentée à : Symposium on Active Experiment in Space Plasmas Boulder (Colorado) USA, 3-5/06/76
- (131) ILJICHEV Yu. Yu.I. PORTNYAGIN, M. GLASS and J.L. FELLOUS, Some investigation results of the height wind velocity variations in the meteor zone, Communication présentée à : XVIème Assemblée Générale de l'U.G.G.I. Grenoble, 25/08-06/09/75
- (132) IORDASCHESCU V., Contributions à la théorie de l'action du rayonnement électromagnétique sur les plasmas et les faisceaux de particules chargées - 1ère partie : l'action du rayonnement électromagnétique sur les faisceaux de particules chargées. Thèse d'Etat, Paris, 4/12/75
- (133) JAMIN E. and C.F. KENNEL, Effects of parallel propagation on equatorial electrojet irregularities, J. Geophys. Res., 81 (25), 4612-4620, 1976
- (134) JENTSCH V. and J. SOLOMON, Relation between transient and steady state regime for pitch-angle diffusion driven by electron and ion cyclotron waves in the magnetosphere, Communication présentée à : Third European Geophysical Society Meeting, Amsterdam, Holland, 7-10/09/76
- (135) KARCZEWSKI J.F. et M. GUIONNET, Description technique des modules S.300.5, S.300.6, Document "GEOS S.300 Experiment n° 18, 1976
- (136) KARCZEWSKI J.F. et F.X. SENE, Magnetomètres sol, capteurs SIEMEL (Licence ANVAR) CNRS, INAG Station mobile ELF n° 31, VLF n° 32, TAAF Kerguelen ELF n° 30, VLF n° 34, Gal BELGRANO VLF n° 33, Note Technique CRPE/23 , 08/1976

- (137) KARCZEWSKI J.F. and J.M. MOREAU, Attitude measurement of a rocket with Hall effect magnetometer, accepté par : "Space Sci. Instrument, (à paraître)
- (138) KLAUS V., Etude d'un spectropluviomètre photoélectrique fournissant en temps réel des paramètres intégrés, Thèse de 3ème cycle, Paris VI, 24 février 1976.
- (139) KLEIN N., Comparaison de la puissance des calculateurs accessibles aux utilisateurs d'Orléans, Note Technique CRPE/14 1975.
- (140) KODERA K. et J.F. KARCZEWSKI, Capteurs magnétiques ELF/VLF de l'expérience S 300 (satellite GEOS), Note Technique CRPE/11, 1975.
- (141) KODERA K. et C. de VILLEDARY, Analyse numérique de signaux non-stationnaires, Communication présentée à : XVIème Assemblée Générale de l'U.G.G.I., Grenoble, 25/08-06/09/75
- (142) KODERA K. de VILLEDARY C. and R. GENDRIN, Numerical analysis of non stationary signals, Communication présentée à : URSI, XVIIIth General Assembly, Lima (Pérou), 8-19/08/75
- (143) KODERA K. Analyse numérique de signaux géophysiques non stationnaires, Thèse d'Université, Paris VI, 27 janvier 1976.
- (144) KODERA K., C. de VILLEDARY and R. GENDRIN, A new method for the numerical analysis of new stationary signals, Phys. Earth Planet. Inter. 12 (2/3), 142-150, 1976
- (145) LAFRAMBOISE J.G. and J.S. CHANG Upwind difference methods for steady state advection-diffusion problems, accepté par : J. Comp. Phys. (à paraître)
- (146) LAFRAMBOISE J.G., J. RUBINSTEIN and F.M. PALMER, Theory of topside sounder transmission effects on antenna quasistatic sheath impedance, Radio Sci., 10 (8-9), 773-774, 1975

- (147) LAFRAMBOISE J.G. and J. RUBINSTEIN, Theory of a cylindrical probe in a collision-less magnetoplasma, accepté par : Phys. Fluids, (à paraître)
- (148) LEBRETON J.P., Contribution à l'étude d'un plasma de simulation ionsosphérique : étude et fabrication d'un analyseur électrostatique, Université d'Orléans, Rapport de stage D.E.A., 09/1975
- (149) LEFEUVRE F., O. STOREY et C. DELANNOY, Analysis of random electromagnetic wave fields from the measurement of their six components, Communication présentée à : URSI Symposium sur les phénomènes non stationnaires, Lima, 8-21/8/75 et à Montpellier, R C P, Problèmes inverses
- (150) MARTEN A. et Y. CHAUVEL, Mesures des concentrations de constituants minoritaires dans la stratosphère, C.R. Acad. Sci., Paris, 280 B, 199-202, 1975
- (151) MARTEN A. and Y. CHAUVEL, Remarks concerning an advantageous technique of stratospheric emission spectrometry in the far infrared, Infrared Phys., 15, 205-209, 1975
- (152) MARTEN A. et Y. CHAUVEL, Spectrométrie d'émission stratosphérique dans l'infrarouge lointain (Etude COVOS 313), rapport final, Note Technique CRPE/1, 1975
- (153) MASSEBEUF M., Etude expérimentale des mouvements de longue période observés par radars météoriques dans la basse thermosphère, Thèse de 3ème Cycle, Paris VI, 29/09/75.
- (154) MASSEBEUF M., M. GLASS, R. BERNARD and J.L. FELLOUS, The zonal circulation in the meteor range above Garchy (France), Communication présentée à : Third European Geophysical Society Meeting, Amsterdam, Holland, 7-10/09/76

- (155) MAYR M.G., H.P. BRINTON and P. BAUER, F2-regions winter anomaly and apparent solar activity variations in O2, Communication présentée à : XVIème Assemblée Générale de l'U.G.G.I., Grenoble, 25/08-06/09/75
- (156) MAYR H.G., P. BAUER, M.C. BRINTON, L.H. BRACE, and W.E. POTTER, Diurnal and seasonal variations in atomic and molecular oxygen inferred from atmospheric Explorer C, Geophys. Res. Let. 3 (2), 77-80, 1976
- (157) MAZAUDIER C. et P. BAUER, Nocturnal thermal disequilibrium of the F2 Region Ionosphere at middle latitudes, J. Geophys. Res., 81 (19), 3447-3451, 1976
- (158) MEYER A., Equipement de test S.300, Document "GEOS S.300 Experiment" n° 16, 1976.
- (159) MEYER A., Short form tests and integrated system tests, Document "GEOS S.300 Experiment" n° 17, 1976
- (160) MICHAU J.L., Dispositif d'asservissement d'une sonde électrostatique au potentiel plasma, Thèse d'Ingénieur C.N.A.M., Paris, 7/09/76
- (161) MICHEL E., L'étude des possibilités de mesurer à bord d'un satellite la température, la densité et la vitesse de dérive électroniques du magnétoplasma ionosphérique (Etude de la faisabilité scientifique de l'expérience ISOPROBE du projet de satellite ARCAD 3), Thèse d'Ingénieur-Docteur, Orléans, 12/02/76, (Note Technique CRPE/25)
- (162) MICHEL E., Analytical derivation of the M.F. electrostatic potential created by an oscillating point source in a streaming water-bag plasma, J. Plasma Phys. 15 (3) 395-408, 1976

- (163) MICHEL E., C. BEGHIN, A. GONFALONE et I.F. IVANOV, Mesure de densité et de température électroniques sur fusée dans l'ionosphère polaire par l'étude du cone de résonance, Ann Géophys., 31 (4), 463-471, 1976
- (164) MOURGUES G., Effet de dérive sur les oscillations forcées d'un plasma simulé en géométrie plane par le modèle "Multiwater Bag" (MWB), accepté par : Plasma Phys. (à paraître)
- (165) NADEAU A., Etude quantitative des processus oscillatoires faiblement perturbés, Thèse d'Etat, Nancy, 07/1976
- (166) NADEAU A., J.P. VEYRIER and M.R. FEIX, Numerical and analytical alternative to the Krylov Bogoliubov method. Application to slightly non linear autonomous and non autonomous systems, in "Proceedings of the 2nd European Conference on Computational Physics", edited by D. BISKAMP, M.P.I. Fur Plasma Physik, Paper F5, 04/1976
- (167) NOYER M.L., M. NAVET and M.R. FEIX, The multiple water-bag model for forced oscillations in a warm isotropic plasma J. of Plasma Physics, 13 (1), 63-86, 1975
- (168) NOYER M.L., Stability of vorticity distribution using the water bag model, in "Proceedings of the 2nd European Conference on Computational Physics", edited by D. BISKAMP, M.P.I. fur Plasma Physics, Paper E2, April 1976
- (169) NUTTEN B. et A. SAUVAGET, Les radars RONSARD : Notice d'utilisation Note Technique CRPE/32, 1976
- (170) PANTEL R., M. BUJOR and J. BARDOLLE, Continuous measurement of surface potential variations during oxygen adsorption on the (100) (110) and (111) faces of Niobium using a mirror electron microscope accepté par : Surface Science, (à paraître)

- (171) PARKS A.D., P. BAUER, H.C. MAYR and A.E. HEDIN, Thermospheric and related ionospheric changes observed during a moderate magnetic storm, Communication présentée à : Spring A.G.U. Meeting, Washington, U.S.A., 06/1975
- (172) PARROT M., Théorie de la sonde de Langmuir plane dans un plasma sans collisions, Thèse de 3ème Cycle, Orléans, 26/6/75
- (173) PELLAT R. et A. ROUX, Non-linear effects for monochromatic waves propagating in an inhomogeneous plasma-de trapped particle instability, Communication présentée à XVIe Assemblée Générale de l'U.G.G.I., Grenoble 25/08-06/09/75
- (174) PELLAT R., LAVERGNAT J. et A. SAINT MARC, Instabilités rayonnées dans un plasma par un faisceau d'électrons, C. Rend Acad. Sc., Paris, 282 (9B), 201-203, 1976
- (175) PERRAUT S., R. GENDRIN and A. ROUX, Amplification of ioncyclotron waves for various typical profiles of magnetospheric parametres, accepté par J. Atmosph. Terr. Phys. (à paraître)
- (176) PERRAUT S. and A. ROUX, Respective role of the cold and warm plasma densities on the generation mechanism of VLF waves in the magnetosphere, J. Atmosph. Terr. Phys., 37 (3), 407-418, 1975
- (177) PERRAUT S., G. CHANTEUR et R. GENDRIN, High energy particle dynamic at the geostationary orbit following a global magnetospheric deformation, Communication présentée à : Third European Geophysical Society Meeting, Amsterdam (Holland), 7-10/09/76
- (178) PETIT M., Bruit radioélectrique dû aux photoélectrons, Ann. Télécom., 30 (9-10), 351-357, 1975

- (179) PETIT M. Incoherent scatter radar results in "Atmospheres of Earth and the Planets", Edited by B.M. Mc Cormac, pp. 159-175, D. Reidel, Dordrecht, Netherlands, 1975
- (180) POTTELETTE R., B. ROOY and V. FIALA, Theory of the mutual impedance of two small dipoles in a warm isotropic plasma, J. Plasma Phys., 14 (2), 209-243, 75.
- (181) POTTELETTE R., A diagnostic method for weak electrostatic turbulence in the ionosphere, in "Space Reseach XVI", (à paraître)
- (182) POTTELETTE R., CHAULIAGUET C., and L.R.O. STOREY, Theoretical cross-spectrum of the microfield measured by two small dipoles in a warm isotropic plasma, accepté par J. Plasma Phys. (à paraître)
- (183) RENARD C., BEGHIN C., BERTHELIER J.J., COVINHES J., DEBRIE R., HAMELIN M., GONFALONE A., IVANOV I.F., POKHOUNKOV A.A., TESLENKO V.P. and G.G. TOULINOV, Electron temperature and electron density profiles, characteristics of the fluctuations of electron density, obtained by rocket experiment in polar ionosphere, Communication présentée à : 18ème réunion plénière du COSPAR, Varna (Bulgarie), 29/05-7/06/75
- (184) REVAH I., Déterminations pratiques de l'absorption par la pluie pour les liaisons terrestres et spatiales, Communication présentée à : URSI, XVIII General Assembly, Lima (Pérou), 8-19/08/75
- (185) ROUX A., Mécanismes non linéaires associées aux interactions entre ondes monochromatiques et particules chargées, Thèse d'Etat, Paris VII, 17/06/75
- (186) ROUX A. and R. PELLAT, A study of triggered emission, in "Magnetospheric Particles and Fields", Edited by B.M. Mc CORMAC, pp. 209-221, Dordrecht, Netherlands, 1976

- (187) SALAH J.E., J.V. EVANS, D. ALCAYDE and P. BAUER, Comparison of exospheric temperatures at Millstone Hill and St. Santin, Communication présentée à : URSI XVIIIe General Assembly, Lima (Pérou), 8-19/08/75
- (188) SALAH J., M. WAND and R. BERNARD, Comparison of simultaneous tidal observations by incoherent scatter radars accepté par : Ann. Geophys., (à paraître)
- (189) SENE F.X. et P. DECREAU, Application du principe du magnétomètre à contre réaction de flux à la mesure de très faibles courants, Communication présentée à : "Table ronde sur les équipements de mesure des champs magnétiques et électriques", Garchy, 17-18 03/76. Note Technique CRPE/26.
- (190) SOLOMON J., Drift of particles and wave-particle interactions, in : "The magnetosphere of the Earth and Jupiter", Edited by V. Formisano, pp. 153-159, D. Reidel, Dordrecht, Netherlands, 1975.
- (191) SOLOMON J., Conséquences des dérives radiale et azimutale des particules injectées dans la magnétosphère sur les interactions ondes-particules, Communication présentée à : XVIème Assemblée Générale de l'U.G.G.I., Grenoble, 25/08-06/09/75
- (192) SOLOMON J., On the azimuthal drift of substorm injected protons, J. Geophys. Res. , 81, 3452-3454, 1976
- (193) SOLOMON J., Convection and wave-particle interactions, accepté par : J. Atmosph. Terr. Phys., (à paraître)
- (194) SOLOMON J., Connection and wave particle interaction, Communication présentée à : Third European Geophysical Society Meeting, Amsterdam (Holland), 7-10/09/76

- (195) SPIZZICHINO A. Spectral broadening of acoustic and radio waves scattered by atmospheric turbulence in the case of radar and solar experiments, Ann. Geophys., 31 (4), 443-445, 1975
- (196) SPIZZICHINO A., Experimental study of the spectral broadening of sodar echoes, Communication présentée à : Third workshop in "Atmospheric Acoustics", Toronto, (Ontario), Canada, 24-27/6/75
- (197) SPIZZICHINO A., Thermals observed by Doppler sodar, Communication présentée à : Third workshop in "Atmospheric Acoustics", Toronto, (Ontario) Canada, 24-27/06/75
- (198) STOREY L.R.O., Wave measurements from the space shuttle, Communication présentée à : Réunion de la Navette Spatiale Mullard Space Science Laboratory, Dorking, G.B., 4/06/75
- (199) STOREY L.R.O. and F. LEFEUVRE, Diagnostic methods for weak electromagnetic turbulence in space plasma, Communication présentée à : Séminaire du Max-Planck Institut für Aeronomie, Lindau (Harz) R.F.A., 5/06/75
- (200) STOREY L.R.O. and F. LEFEUVRE, The analysis of 6-component measurements of a random electromagnetic wave field in a magnetoplasma. The direct plasma, Note Technique CRPE/12, 1975
- (201) STOREY L.R.O. and M. MALINGRE, A proposed method for the direct measurement of enhanced resistivity, in "Proceedings of a symposium held at Schloss Elman", Germany, 3-7/05/1976, E S A SP 115, pp. 387-409, 08/1976
- (202) TAIEB C., G. SCIALOM and G. KOCKARTS, Daytime valley in the F1 region observed by incoherent scatter, Planet. Space Sci., 23 (3), 523-531, 1975

- (203) TAYLOR H.A., C.A. REBER and P. BAUER, Auroral and equatorial ion composition irregularities implications for empirical modeling of diurnal and seasonal variations, Communication présentée à : URSI XVIIIe General Assemblée, Lima (Pérou), 8-19/08/75
- (204) TESTUD J., P. AMAYENC and M. BLANC, Middle and low latitude effects of auroral disturbances from incoherent scatter, J. Atmosph. Terr. Phys., 37 (6-7), 989-1010, 1975
- (205) TESTUD J., Gravity waves within the thermosphere, Communication présentée à : Third European Geophysical Society Meeting, Amsterdam (Holland), 7-10/09/76
- (206) TESTUD J., The meteorological jet stream as a source of medium scale gravity waves in the thermosphere : an experimental study, Communication présentée à : Conference on Oceanic and Atmospheric Waves and Stability, Seattle (Washington) USA, 30/03/76
- (207) TISSIER R. et PHAN T.K., Ensemble d'analyse fréquentielle destiné à l'étude de l'évolution des ondes acoustiques, Rev. Acoust., 8 (32), 41-46, 1975
- (208) TREGUIER J.P. and D. HENRY, The Maxwellian plus water-bag model : application to the propagation of longitudinal electron waves in a plasma with Maxwellian and mono-energetic supra-thermal electrons, J. Plasma Phys., 13 (2), 193-216, 1975
- (209) TREGUIER J.P. and D. HENRY, Propagation of electronic longitudinal modes in a truncated Maxwellian plasma, J. Plasma Phys., 15 (3), 447-461, 1976
- (210) TROTIGNON J.G. Ondes électrostatiques pour des plasmas hors de l'équilibre Maxwellien homogène, Thèse de 3ème cycle, Orléans, 24/06/76. (Note Technique CRPE/27)

- (211) VIDAL-MADJAR D., W. KOFMAN et LEJEUNE G.n Mesures de la raie de plasma par diffusion incohérente à Nancy et premier résultats morphologiques, Ann. Geophys., 31 (2), 227-234, 1975
- (212) VIDAL-MADJAR D., Harmonic analysis of plasma line frequency, Communication présentée à : Third European Geophysical Society Meeting, Amsterdam (Holland) 7-10/09/76
- (213) VIDAL-MADJAR D., Theoretical study of the propagation of high frequency gravity waves within the thermosphere. Application to the plasma line measurement and to a Faraday rotation experiment, accepté par : J. Atmosph. Terr. Phys., (à paraître)
- (214) VILA P., Effects of oscillatory magnetic storms on intertropical F2 ionization, Communication présentée à : URSI, XVIIIth General Assembly, Lima (Pérou), 8-19/08/75
- (215) VILA P., Intertropical F2 layer response to a major solar eclipse June 30, 1975, Communication présentée à : URSI, XVIIIth General Assembly, Lima (Pérou), 8-19/08/75
- (216) VILA P., Region strata at the magnetic equator, Communication présentée à : 5e Symposium d'Aéronomie Equatoriale, Townsville (Australie) 21-31/08/76
- (217) WALDTEUFEL P., Single Doppler radar methodology in two dimensional situations, J. Rech. Atmosph., IX (2), 93-95, 1975
- (218) WALDTEUFEL P., Turbulent energy dissipation in a tornadic storm, observed by Doppler radar, in "9th Conference on Severe Local Storms", pp. 73-76, A.M.S., 1975

- (219) WALDTEUFEL Ph., Méthodologie VAD, accepté par : J. Rech. Atmosph.  
(à paraître)
- (220) WALDTEUFEL Ph., An analysis of weather spectra variance  
storms, NOAA Techn. Memor, ERL NSSL-76, May 1976
- (221) WALDTEUFEL Ph., M. GILET et M. SAUVAGEOT, RONSARD : Système de  
deux radars Doppler météorologiques dans la  
bande C, Note Technique CRPE/29, 1976
- (222) WEILL A. Sur les perturbations orographiques stationnaires  
d'échelle moyenne, La Météorologie, VI (5) 43-50  
1976
- (223) WEILL A., M. AUBRY, F. BAUDIN and J. HEISSAT, A study of tempe-  
rature fluctuation in the atmospheric boundary  
layer, accepté par : Boundary Layer Meteorol.  
10 (3), 337 - 346, 1976.
- (224) WEILL A., W. BRANDES, C. ROBERTO et P. BARES, Anémomètre à fil  
chaud embarquable sur ballon captif, "J. Phys.  
37 (C1), 173-175, 1976
- (225) WRIGHT J.W, M. GLASS and A. SPIZZICHINO, The interpretation of  
ionospheric radio drift measurements. VII Direct  
comparisons of meteor radar winds and kinesi-  
sonde measurements : mean and random motions, J. Atmosph.  
Terr. Phys. 38 (7), 713-729, 1976
- (226) WRIGHT J.W, P. AMAYENC and G. VASSEUR, The interpretation of  
ionospheric radio drift measurements. IX Direct  
comparisons between field aligned ion drifts by  
incoherent scatter and kinesi-sonde measurements,  
"J. Atmosph. Terr. Phys." 38 (7), 731-738, 1976

**CRPE**  
*Centre de Recherches  
en Physique de l'Environnement  
terrestre et planétaire*

*Avenue de la Recherche scientifique  
45045 ORLEANS CEDEX*

**Département PCE**  
*Physique et Chimie  
de l'Environnement*

*Avenue de la Recherche scientifique  
45045 ORLEANS CEDEX*

**Département ETE**  
*Etudes par Télédétection  
de l'Environnement*

*CNET - 38-40 rue du général Leclerc  
92131 ISSY-LES-MOULINEAUX*