



**HAL**  
open science

## Rapport d'activité CRPE pour l'année 1981

- 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 1981. Note technique CRPE n°115. 1982. hal-02192225

**HAL Id: hal-02192225**

**<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02192225v1>**

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

(5-1)

**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 / 115**

120

*rapport d'activité CRPE  
pour l'année 1981.*



30 MAI 1983

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

NOTE TECHNIQUE CRPE/115

**RAPPORT D'ACTIVITE CRPE  
POUR L'ANNEE 1981**

**PAB/RPE**

38-40 rue du Général Leclerc  
92131 ISSY-LES-MOULINEAUX



Le Directeur

I. REVAH

Le Directeur Adjoint

P. BAUER

Juillet 1982

## TABLE DES MATIERES

<b>I.</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>TROPOSPHERE ET CONDITIONS LIMITES AU SOL</b>	<b>7</b>
II.1	ECHANGES SOL/ATMOSPHERE ET COUCHE LIMITE DE SURFACE	7
II.2	DYNAMIQUE DES ECHANGES ENERGETIQUES DANS LA BASSE TROPOSPHERE PAR SONDAGE ACOUSTIQUE	8
II.2.1	Cadre général de l'étude	8
II.2.2	Principaux résultats obtenus	9
II.3	DYNAMIQUE DE LA CONVECTION NUAGEUSE ET DES PRECIPITATIONS	11
II.3.1	Cadre général de l'étude	11
II.3.2	Résultats scientifiques obtenus en 1981	12
II.3.3	L'expérience COPT 81	15
<b>III.</b>	<b>PROPAGATION</b>	<b>19</b>
III.1	PROPAGATION EN PRESENCE D'HYDROMETEORES	19
III.1.1	Liaisons horizontales	19
III.1.2	Liaisons obliques	20
III.2	PROPAGATION EN AIR CLAIR	24
III.2.1		24
III.2.2		24
III.3	PROPOSITIONS D'EXTENSION D'ETUDES	24

<b>IV.</b>	<b>ETUDE DE L'ATMOSPHERE MOYENNE : PHYSICO-CHIMIE ET DYNAMIQUE</b>	<b>29</b>
IV.1	DYNAMIQUE DE LA HAUTE MESOSPHERE ET DE LA THERMOSPHERE	30
IV.2	ETUDE PAR DIFFUSION INCOHERENTE DE LA PHOTOCHEMIE DE LA MESOSPHERE	34
IV.2.1		34
IV.2.2		34
IV.2.3		35
IV.3	DYNAMIQUE DE LA STRATOSPHERE : ETUDES PAR RADAR COHERENT	35
<b>V.</b>	<b>ELECTRODYNAMIQUE DE L'ATMOSPHERE IONISEE</b>	<b>39</b>
V.1	LA DYNAMO IONOSPHERIQUE ET LES VARIATIONS DE L'IONOSPHERE EN BASSES ET MOYENNES LATITUDES	41
V.1.1	Modélisation de la circulation régulière des courants ionosphériques	41
V.1.2	Modélisation de la variation diurne des couches ionosphériques	41
V.2	LA DYNAMO VENT SOLAIRE/MAGNETOSPHERE	44
V.2.1	Etudes théoriques sur la convection magnétosphérique	44
V.2.2	Etudes expérimentales de la convection magnétosphérique en région aurorale et dans le plan équatorial	47
<b>VI.</b>	<b>RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE TERRESTRE ET PLANETAIRE</b>	<b>55</b>
VI.1	ROLE DES ONDES D'ULTRA BASSE FREQUENCE DANS LES TRANSFERTS D'ENERGIE NON COLLISIONNELS AU SEIN DU PLASMA MAGNETOSPHERIQUE	55
VI.2	ROLE DES COURANTS ALIGNES DANS LA DYNAMIQUE DU FEUILLET DE PLASMA	59
VI.3	ETUDE DES REGIONS FRONTIERES	60

VI.4	ROLE DES ONDES ELECTROSTATIQUES DE HAUTE FREQUENCE	60
VI.5	RAYONNEMENT RADIOELECTRIQUE PLANETAIRE	61
VI.6	CONCLUSION	64
<b>VII.</b>	<b>RESONANCES DES PLASMAS</b>	<b>65</b>
VII.1	RECONNAISSANCE DES RESONANCES	66
VII.2	CARACTERISATION DES PLASMAS	68
VII.3	ETUDES SUR LA PROPAGATION DES ONDES RESONANTES	71
VII.4	RAYONNEMENT D'UNE SOURCE PONCTUELLE DANS UN PLASMA	73
VII.5	CONCLUSION	75
<b>ORGANIGRAMMES</b>		<b>77 à 91</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>		<b>93 à 112</b>

## I. INTRODUCTION

L'année 1981 fut pour le CRPE une période charnière marquée par une modification profonde de la structure et des activités de ce laboratoire commun au CNRS et au CNET. A l'origine de cette modification on trouve le souhait du CNET de voir grandir la part des recherches en télécommunications du CRPE tout en maintenant constant le niveau d'engagement dans la structure commune. Les discussions engagées entre les deux organismes, en 1980 et poursuivies pendant une partie de l'année 1981, aboutissaient à un accord dont les grandes lignes prévoyaient :

- la séparation de l'échelon d'Orléans et sa transformation en laboratoire ayant pour seule tutelle le CNRS,
- le regroupement au sein du CRPE, demeurant laboratoire commun au CNRS et au CNET, des équipes d'Issy-les-Moulineaux et de celles du LGE de Saint-Maur,
- l'extension du domaine de recherche du CRPE aux thèmes ayant un intérêt direct pour les télécommunications.

Le Comité de Direction du CRPE, réuni en octobre 1981, appuyait ce projet après s'être assuré que les organismes de tutelle CNRS et CNET approuvaient, d'une part, le contenu des études à court et moyen terme déjà engagées par les équipes d'Issy-les-Moulineaux et de Saint-Maur, et, d'autre part, les grandes orientations du programme de recherche à long terme de ces mêmes équipes en géophysique et en télécommunications. Munis des avis favorables du Comité de Direction du CRPE et des diverses instances compétentes du CNRS et du CNET, ces deux organismes créaient officiellement, à compter du 1er janvier 1982, le nouveau laboratoire, intitulé CRPE, formé des composantes d'Issy-les-Moulineaux et de Saint-Maur.

Le présent rapport relatif à l'année 1981 est exceptionnellement limité à l'activité des équipes d'Issy-les-Moulineaux (40 chercheurs, 10 stagiaires, 70 ITA), celle des équipes de Saint-Maur ayant déjà fait l'objet d'un document séparé. Les domaines d'étude décrits dans ce rapport concernent la géophysique de l'environnement neutre (basse et moyenne atmosphère) ou ionisé (ionosphère et magnétosphère) et les télécommunications qui disposaient, en 1981, de moyens encore modestes (études de propagation, dispositifs de commutation embarqués). Les actions de recherche menées

par le laboratoire sont soutenues par le CNRS et le CNET d'une part et par le CNES, l'INAG et la DRET d'autre part ; elles se déroulent généralement dans un cadre de collaboration bi-nationale ou européenne faisant intervenir, pour les programmes spatiaux, le CNES, l'ASE ou la NASA.

En géophysique de l'environnement neutre l'activité a été marquée, pour le domaine de la basse atmosphère, par la campagne d'étude de la convection tropicale COPT 81, qui s'est déroulée avec succès en mai et juin 1981 en Côte d'Ivoire. Cette expérience, fruit de la collaboration entre neuf laboratoires français et ivoiriens, a vu la mise en oeuvre d'une grande variété de moyens permettant la mesure des précipitations et des phénomènes dynamiques et électriques associés aux nuages convectifs qui jouent un rôle majeur en physique de l'atmosphère. Pour sa part le CRPE a mis en oeuvre les deux radars Doppler du système RONSARD, le sodar Doppler à 3 antennes et une liaison hertzienne expérimentale fonctionnant à 13 GHz (cette dernière fut mise en oeuvre avec l'aide de la division Espace et Transmission Radioélectrique). Le bilan de la campagne COPT 81 est très positif tant par le volume de données recueilli que par le large éventail de situations observées (convection diurne isolée, lignes de grains, amas, situations pré-convectives) et par l'originalité des observations dynamiques, électriques ou pluviométriques. On notera également pour la basse atmosphère, d'une part, la poursuite de l'activité télédétection où l'accent a été mis sur l'intercomparaison de mesures in situ et à distance de l'humidité des sols et, d'autre part, l'évolution des recherches en couche limite vers l'étude des phénomènes d'échelle méso-météorologique.

Les recherches sur l'atmosphère moyenne ont été caractérisées par l'interprétation théorique des spectres de diffusion incohérente dans la mésosphère, par la publication de l'analyse des observations des radars météoriques à basse, moyenne et haute latitude (étude dynamique à diverses échelles spatiales et temporelles), et par la réalisation d'une étude de faisabilité d'observation radar des échanges stratosphère - troposphère.

En géophysique de l'environnement ionisé l'année 1981 a été marquée par la mise en service du sondeur à diffusion ionosphérique européen EISCAT. Trois laboratoires français ont collaboré étroitement à la mise en oeuvre du programme scientifique d'EISCAT ainsi qu'à l'exploitation des premières observations. Ces travaux qui correspondent à la phase de qualification ont largement répondu aux espoirs placés dans ce projet et ouvrent la voie à l'étude de l'électrodynamique aurorale.



Parallèlement à cet effort, les études électrodynamiques de l'atmosphère ionisée se sont développées autour des données recueillies en très grande quantité ces dernières années grâce au sondeur ionosphérique métropolitain et à des sondes spatiales (GEOS 2, ISEE 1 et 2). L'exploitation intensive de ces données a débouché sur des travaux d'interprétation théorique parmi lesquels on peut mentionner :

- la circulation régulière des courants ionosphériques et la distribution des couches ionosphériques,
- la distribution du champ électrique de convection,
- la modélisation dynamique des aurores diffuses,
- l'interaction électrodynamique de Io et Jupiter,
- le phénomène d'injection ou d'avancée de la couche de plasma sur le côté nuit au niveau de l'orbite géostationnaire,
- le transfert de champ électrique du vent solaire à la magnétosphère interne.

Les études du rayonnement électromagnétique terrestre et planétaire, s'appuyant sur les observations des satellites GEOS 2 et ISEE 1 et 2, et sur un effort de réflexion théorique, ont abouti à plusieurs résultats fondamentaux :

- identification des transferts d'énergie non collisionnels entre protons de haute énergie et ions  $\text{He}^+$  ou électrons d'origine ionosphérique,
- mise en évidence de tubes de courants électriques localisés au niveau de l'orbite géostationnaire,
- découverte d'ondes remontantes dans le vent solaire résultant de l'interaction vent solaire - magnétosphère,
- simulation numérique des phénomènes de "doubles couches" des régions aurorales et des mécanismes de "reconnexion" dans la queue de la magnétosphère,
- identification de sources de rayonnement électromagnétique de type "continuum non thermique" grâce aux observations simultanées de GEOS et ISEE.

Dans les domaines ressortissant aux télécommunications les travaux ont essentiellement concerné, en 1981, les études de propagation sur un trajet horizontal, en présence d'hydrométéores, et la préparation d'un projet de balise embarquée sur satellite fonctionnant dans la gamme des ondes millimétriques (20, 30, 40 et 90 GHz).

Dans ces domaines un des faits marquants a été l'intégration dans le réseau expérimental de l'expérience COPT 81 d'une liaison radioélectrique à 13 GHz. Il a ainsi été possible de replacer dans un contexte météorologique précis les affaiblissements intenses et les dépolarisations observés lorsque la liaison était interceptée par de fortes précipitations.

Il faut également mentionner les travaux d'un groupe de réflexion mis en place au CRPE pour examiner les modifications et les extensions possibles des programmes du laboratoire ayant potentiellement un intérêt pour les systèmes de télécommunications. Ce groupe a remis à la fin de l'année 1981 un rapport devant servir de base pour l'élaboration de ces programmes théoriques et expérimentaux.

Les recherches menées au CRPE relèvent du secteur Terre Océan Atmosphère Espace (sections 7 et 16) et du secteur Sciences Physiques pour l'Ingénieur (section 3) du CNRS.

Dans le présent rapport d'activités, dont la réalisation a été conduite par M. G. CAUDAL, les études relevant du secteur TOAE sont décrites aux chapitres :

II Troposphère et conditions limites au sol (rédigé par MM. J. TESTUD, D. VIDAL-MADJAR et A. WEILL).

IV Atmosphère moyenne : physico chimie et dynamique (rédigé par M. F. BERTIN).

V Electrodynamique de l'atmosphère ionisée (rédigé par MM. M. BLANC et H. de FERAUDY).

VI Rayonnement électromagnétique terrestre et planétaire (rédigé par M. A. ROUX).

VII Résonances des plasmas (rédigé par M. H. de FERAUDY).

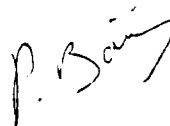
Le secteur SPI est concerné par les études décrites au chapitre III Propagation (rédigé par M. J.P. MON).

En 1981, 45 chercheurs du CRPE étaient engagés dans les études relevant du secteur TOAE (24 dépendant de la section 7 et 21 de la section 16) et 8 chercheurs menaient des études intéressant le secteur SPI. La liste bibliographique montre que la diffusion des résultats scientifiques est réalisée dans des revues de niveau international

(25 articles publiés en 1981 et une quarantaine à paraître en 1982 dans des revues à comité de lecture), dans des ouvrages collectifs (15 publications) et dans des notes internes (24 documents). Enfin 5 thèses de 3ème cycle et une thèse de Docteur Ingénieur ont été soutenues. A côté des études sur l'ionosphère et la magnétosphère qui depuis plusieurs années contribuent de façon décisive au rayonnement scientifique du laboratoire, se développent des études sur les milieux neutres et en télécommunications. Ainsi les recherches en physique de l'atmosphère atteignent progressivement la notoriété internationale tandis que celles en télédétection et en télécommunications progressent de façon très satisfaisante.



I. REVAH



P. BAUER

## II. TROPOSPHERE ET CONDITIONS LIMITES AU SOL

L'activité du CRPE dans le domaine de la basse atmosphère couvre trois domaines : les échanges sol/atmosphère et la physique de la couche de surface (0 à 100 m d'altitude), la physique de la couche limite atmosphérique, et les mouvements convectifs en atmosphère libre conduisant à la formation des précipitations. Ces trois programmes sont bien évidemment étroitement liés : les échanges sol/atmosphère dans la couche de surface définissent les flux de chaleur sensible et latente injectés à la base de la couche limite atmosphérique (CLA). La dynamique de la CLA détermine la façon dont ces flux se transmettent vers le haut et leur évolution temporelle. Enfin, dans les conditions où le bilan énergétique de la CLA est excédentaire (sous les tropiques par exemple), le déséquilibre énergétique qui s'ensuit entre la CLA et l'atmosphère libre conduit au développement de la convection profonde.

### II.1 ECHANGES SOL/ATMOSPHERE ET COUCHE LIMITE DE SURFACE

L'activité du groupe est orientée vers l'étude des échanges de masses et de chaleur entre le sol et l'atmosphère à l'échelle globale et régionale. Les moyens expérimentaux utilisés sont :

i) La mesure de la section efficace de rétrodiffusion des ondes centimétriques par les surfaces naturelles (diffusiométrie hyperfréquence). Cette mesure permet d'accéder à l'humidité superficielle des sols. L'instrument utilisé jusqu'à présent est le diffusiomètre RAMSES du Centre National d'Etude Spatiale (CNES). Les futures campagnes de mesures seront faites à l'aide d'un diffusiomètre hélicopté construit par le CRPE avec le soutien financier et technique du CNES. Une campagne d'essais est prévue pour le mois de septembre 1982. La première utilisation opérationnelle aura lieu au mois de septembre 1983 (303), (304), (503).

ii) La mesure de la température infrarouge des surfaces par les satellites du réseau NOAA/Tiros. Les satellites permettent d'atteindre, avec une résolution au sol de l'ordre du kilomètre, le cycle diurne de ce paramètre (4 passages par jour décalés d'environ 6 h).

L'année 1981 a été consacrée à l'intercomparaison de mesures "in situ" de l'humidité des sols et à la mise au point de procédures opérationnelles pour le traitement des images satellites.

Le premier objectif s'est concrétisé par une campagne coopérative de mesures sur le site du Centre National de la Recherche Agronomique (INRA) de La Minière. Trois laboratoires ont participé à cette expérience : le CRPE, l'Institut de Mécanique de Grenoble et le Centre Hyperfréquences et Semi Conducteurs de l'Université de Lille. Elle a permis la comparaison entre la mesure du diffusionmètre, une mesure de constante diélectrique "in situ" et une mesure de la capacité thermique à l'aide d'une sonde à choc thermique. La campagne est dépouillée et en cours d'interprétation.

Les programmes de traitement des images satellites ont été amenés à un niveau préopérationnel. L'essentiel de l'effort pour l'année 1982 portera sur la mise au point d'un modèle de couche limite régionale permettant d'interpréter l'évolution diurne de la température infrarouge.

Enfin, le groupe "télétection" bénéficiera pour l'analyse et l'interprétation des futures mesures de l'expérience acquise par R. BERNARD pendant son séjour d'un an à l'Université de Californie-Davis. En effet, il y a participé à la mise en oeuvre et à l'interprétation d'une campagne de mesure consacrée aux relations entre les flux et l'état de la surface (végétation, bilan hydrique etc) (007).

## **II.2 DYNAMIQUE DES ECHANGES ENERGETIQUES DANS LA BASSE TROPOSPHERE PAR SONDAGE ACOUSTIQUE**

### **II.2.1 Cadre général de l'étude**

L'ensemble des études depuis 1975 est basé sur l'utilisation des sondages acoustiques Doppler associés à d'autres mesures météorologiques en collaboration avec des équipes comme celles de l'EERM, l'INRA, l'IOPG, le LAMP, le LMD.

Jusqu'en 1980, les études entreprises ont été essentiellement eulériennes, en essayant d'interpréter des mesures ponctuelles. L'intérêt des études entreprises a été de décrire, modéliser, interpréter les phénomènes turbulents défilant au-dessus des antennes du sodar dans la mesure où leur contribution énergétique dans la couche limite nous a paru importante : ont été exclus du champ des investigations les "épiphénomènes".

Nous avons ainsi publié des résultats sur la mesure et l'interprétation du taux de dissipation turbulente dans la couche limite, les évaluations de bilans d'énergie turbulente, la structure des ondes de gravité associées aux niveaux critiques dans les couches stratifiées, la paramétrisation du vent dans les couches mélangées, les mouvements convectifs structurés en thermiques, la "paramétrisation" ou normalisation des variances de vitesse verticale et des fonctions de structure de fluctuations de température et plus récemment nous avons quantifié les flux discrets transportés par les thermiques ainsi que les fonctions de distribution de vitesse verticale et la dissymétrie associée.

Depuis 1980 les objectifs ont très sensiblement changé : ils correspondent à l'extension des résultats pour une couche limite hétérogène ou perturbée, ainsi qu'à l'étude de l'organisation en grosses structures, ce qui nécessite une extension spatiale, à une échelle qui pourra être moyenne ou régionale.

Notons ici que l'enjeu est important puisque cette extension est nécessaire aussi bien pour les problèmes de météorologie synoptique, que pour les problèmes de climat (interprétation des paramétrisations à moyenne échelle), ou bien pour les problèmes de télédétection (relation mesure locale, spatiale). D'autre part l'interprétation des grosses structures devrait permettre de séparer les effets des hétérogénéité, les instabilités dynamiques et les instabilités convectives.

## **II.2.2 Principaux résultats obtenus**

### **a) Analyse des structures convectives en ciel clair**

Après avoir étudié un grand nombre de cas, deux articles de synthèse sur les propriétés des mouvements convectifs en ciel clair ont été proposés (541), (542) : sont mises en évidence à la fois les propriétés microscopiques et macroscopiques des cellules convectives observées de façon eulérienne ; le résultat nous semblant le plus intéressant est une fermeture à l'ordre trois pour la vitesse verticale ; cette fermeture est évolutive et son utilisation dans un modèle peut tenir compte de l'existence ou l'absence de convection.

### **b) Couche limite stable et paramétrisation**

En collaboration avec J.F. LOUIS, chercheur du Centre Européen de Météorologie (READING G.B.), nous avons exploité les données du sodar et du mâât météorologique concernant deux campagnes de "couche limite hivernale".

Nous avons calculé les longueurs de dissipation (échelle caractéristique permettant la fermeture des équations de l'hydrodynamique et reliant l'énergie cinétique au taux de dissipation turbulente) ; ce calcul a permis de valider les modèles de longueur de dissipation existants : cette étude est à notre connaissance originale et particulièrement utile puisqu'elle a permis d'une part de valider les modèles existants et d'autre part elle a fourni à J.F. LOUIS un choix pour un schéma de paramétrisation simple dans le cadre du modèle de météorologie européen. Un article a été soumis faisant le bilan de cette étude (324).

### **c) Etudes prospectives à méso-échelle**

L'expérience de septembre 1980 à plusieurs sodars est en cours d'exploitation ; dès maintenant il nous paraît possible de calculer un flux représentatif d'une grande surface à partir d'une mesure ponctuelle de flux en altitude : cette exploitation est effectuée en collaboration avec l'EERM et l'IOPG de Clermont-Ferrand.

### **d) Convection tropicale en ciel clair**

La conjonction du système des deux radars Doppler du CRPE, associé avec des lâchers de CHAFF du sodar Doppler trois antennes, du réseau sol de mesures météorologiques et micrométéorologiques (mis en oeuvre par l'EERM et le LAMP) en Côte d'Ivoire en mai-juin 1981, devrait fournir des données suffisantes pour compléter une étude sur l'organisation tridimensionnelle de la convection en ciel clair. Par ailleurs, toute une méthodologie d'étude et une interprétation des données radar de la campagne de mesures des LANDES (79) a été entreprise. La campagne COPT a permis d'une part d'obtenir des données sur la convection tropicale en ciel clair, et d'autre part de mettre en évidence les perturbations de la couche limite par les systèmes précipitants (une paramétrisation des modifications de la couche limite par les précipitations est en cours d'étude). Le sondeur acoustique qui a fonctionné en continu pendant près de huit semaines, doit permettre d'associer les structures observées avec les événements de propagation radioélectrique inhérents à ces régions. Trois voies de recherches sont aujourd'hui possibles :

- la convection en ciel clair (les grosses structures),
- la perturbation de la couche limite par les précipitations,
- les caractéristiques typiques de la couche limite tropicale.

### **e) Activités à l'échelon international et national**

L'équipe a été invitée à faire le point sur l'utilisation des sodars en micrométéorologie (revue critique, communication invitée (240)) lors du symposium international sur la télédétection acoustique de l'océan et de l'atmosphère CALGARY (Canada).

Les études de couche limite par sodar entreprises dans l'équipe apparaissent bien développées par rapport à celles d'autres laboratoires étrangers (520), (114) et les perspectives mise en avant (utilisation d'un sodar Doppler basses couches pour des mesures de réalité de terrain en télédétection, utilisation d'un ensemble de sondeurs acoustiques pour des études en mésoéchelle) correspondent aux objectifs de la communauté scientifique internationale (cf. compte-rendu de mission).

## **II.3 DYNAMIQUE DE LA CONVECTION NUAGEUSE ET DES PRECIPITATIONS**

### **II.3.1 Cadre général de l'étude**

Cette étude s'inscrit dans un programme à long terme de recherche atmosphérique qui s'appuie sur un moyen expérimental lourd : le système de deux radars Doppler météorologiques "RONSARD". Ce type d'appareillage permet d'appréhender :

a) Les précipitations : morphologie tridimensionnelle, évolution temporelle, identification de la phase (pluie, neige, glace), granulométrie.

b) Les mouvements de l'air qui leur sont associés, qu'il s'agisse de mouvements convectifs violents mais locaux (orages) ou de mouvements d'échelle moyenne (précipitations frontales).

Les radars du CRPE ont été mis en oeuvre depuis octobre 1977 dans plusieurs expériences coopératives impliquant, outre le CRPE, divers autres organismes. Ces campagnes ont permis de mettre à la disposition de la communauté française un capital de données dans lequel les chercheurs du CRPE ont largement puisé. L'objectif à long terme du programme national dans lequel s'insère cette étude est d'améliorer la compréhension :



1) des phénomènes dynamiques et thermodynamiques dans les écoulements atmosphériques précipitants (effet des forces de flottabilité de pression, effet de la turbulence et de la charge en eau liquide ; influence de l'évaporation ou de la condensation).

2) des processus de formation et croissance des précipitations de ces mêmes écoulements (relation champ de précipitation/champ dynamique ; phase et granulométrie des hydrométéores).

3) des mécanismes d'électrification des cellules de convection orageuse (électrification qui met en jeu à la fois des mécanismes micro-physiques de création de charges, et un effet de séparation des porteurs de charges lié à la dynamique de la cellule orageuse).

Cet objectif s'applique aussi bien aux précipitations stratiformes associées aux systèmes frontaux dépressionnaires qu'à la convection profonde (convection orageuse). En ce qui concerne ce dernier phénomène, les campagnes récentes mettent l'accent sur la convection tropicale du fait de son importance climatologique globale.

L'année 1981 a vu la réalisation sur le terrain de l'expérience COPT 81, ce qui s'est traduit par un important effort des chercheurs pour mener à bien (en collaboration avec l'équipe technique "RONCARD" du département TES) la préparation et la conduite opérationnelle de l'expérience ainsi que les premières tâches d'évaluation des données obtenues. Parallèlement, les chercheurs du groupe se sont attachés à approfondir et à valoriser les résultats obtenus à partir des campagnes antérieures et à les diffuser dans des revues internationales.

### **II.3.2 Résultats scientifiques obtenus en 1981**

#### **a) Dynamique des écoulements convectifs tridimensionnels**

Des perfectionnements notables ont été apportés aux techniques d'analyse des données radars. Deux nouveaux développements méritent d'être cités. Ils concernent :

i) L'intégration de l'équation de continuité. Jusqu'à présent la condition à la limite  $W = 0$  pour  $Z = 0$  (vitesse verticale nulle près du sol) était appliquée de façon

rigide ce qui conduisait à une amplification exponentielle de l'erreur statistique en fonction de l'altitude. Cet inconvénient est supprimé dans le nouveau traitement qui fait intervenir le concept de condition limite "flottante" (par admission d'un "bruit"  $\delta W$  au niveau  $Z = 0$ ). La détermination optimale de cette condition flottante met en oeuvre l'analyse variationnelle (104).

ii) La restitution du champ de pression et de température. L'introduction du champ de vitesse tridimensionnel observé dans l'équation de NAVIER-STOKES nous avait permis précédemment de déterminer les gradients horizontaux de pression et de température associés à l'écoulement ; cependant ceci ne donne accès au champ de pression et de température qu'à une constante près. La prise en compte dans le traitement d'une équation supplémentaire (l'équation thermodynamique), nous a conduit récemment à fixer ces constantes (540).

#### **b) Perturbations ondulatoires dans les écoulements frontaux**

Des phénomènes ondulatoires ont été détectés au sein d'un écoulement frontal observé en octobre 1977, et ont pu être interprétés comme la manifestation d'ondes instables produites par le cisaillement de vitesse associé au front. Ce résultat est important car il vient confirmer le résultat d'une observation antérieure (113).

#### **c) Dynamique et thermodynamique de lignes de grains tropicales**

L'exploitation scientifique des données de l'expérience COPT 79 a permis d'étudier la morphologie fine de lignes de grains tropicales. En particulier, le processus de propagation de la ligne de grains, par régénération de cellules successives ou alimentation continue de super cellules a été mis en évidence. Une étude de modélisation (inspirée des travaux de MONCRIEFF et MILLER) a également été conduite pour interpréter les vitesses de déplacement des lignes de grains observés (522), (403).

#### **d) Etude de la granulométrie des précipitations**

En premier lieu, nous avons poursuivi l'exploration des méthodologies mises au point antérieurement (015), (014) pour la détermination des distributions dimensionnelles des hydrométéores précipitants et de la vitesse verticale de l'air en fonction de l'altitude au zénith d'un radar Doppler opérant en tir vertical. La méthode originale décrite dans un article récent (015) a été appliquée à une nouvelle série de mesures

réalisée avec le système RONSARD dans une précipitation frontale pendant la campagne LANDES 79.

Nous avons pu montrer l'existence d'une variabilité de petite échelle ( $\sim 200$  m) dans les structures spatio-temporelles des distributions, indécélable par les approches classiques. Corrélativement les relations entre les paramètres globaux (réflectivité radar, taux précipitant, teneur en eau) et leurs cohérences mutuelles sont améliorées de façon significative lorsque cette variabilité est correctement prise en compte. Ces résultats ont fait l'objet d'une communication en 1981 (109) et d'un article soumis en 1982 (518).

Nous avons également analysé une série de mesures analogues de la campagne FRONTS 80, obtenues en conjonction avec des mesures in situ acquises par un appareil de KNOLLENBERG (gamme des gouttes précipitantes) sur un avion (PIPER-AZTEC de la Météorologie Nationale). Nous avons ainsi obtenu une corrélation directe des résultats de la méthode fondée sur l'utilisation des seules données radar. D'autre part, de façon plus générale, nous avons mis en évidence le parti que l'on peut tirer de la conjonction des deux types de mesures (avion survolant par paliers successifs le radar opérant en tir vertical) : la prise en compte des caractéristiques statistiques des distributions dimensionnelles, déduites des mesures "avion" permet de s'affranchir de toute hypothèse sur la forme des distributions, dans le traitement des données radar qui, pour leur part, fournissent une extension spatiale continue appréciable des mesures de l'avion. L'acquis de cette première expérience constitue incontestablement un enseignement formateur en vue d'une expérience ultérieure souhaitée plus ambitieuse.

Enfin, des études de granulométrie des précipitations ont été réalisées à l'aide d'un spectropluviomètre optique développé antérieurement au CRPE, pour la mesure des vitesses et dimensions des gouttes précipitantes au sol. Les aspects techniques de l'appareil et un premier ensemble de résultats acquis en 1980 ont été rassemblés dans une communication (112) en 1981, qui sera suivie d'un article en 1982. Cet appareil constituant un complément au sol indispensable des mesures "radar" en altitude, l'association systématique des deux types de mesure, réalisée pour la première fois au cours de l'expérience COPT 81, sera développée dans l'avenir.

### II.3.3 L'expérience COPT 81

L'expérience "COPT 81", consacrée à l'étude des précipitations, des phénomènes dynamiques et électriques associés à la convection profonde tropicale a eu lieu sur le site de Korhogo (Côte d'Ivoire) en mai et juin 1981. Dans cette expérience, fruit de la collaboration entre 9 laboratoires français et ivoiriens (CRPE, EERM, LMD, LAMP, ONERA, LPA Toulouse, CNET Lannion, Université d'Abidjan, ASECNA), une grande variété de moyens a été mise en oeuvre : radiosondage et radar vent, réseau au sol de mesures pluviométriques et thermodynamiques, sondeur acoustique, radars météorologiques Doppler, liaison hertzienne expérimentale, réseau de capteurs du champ électrostatique au sol, mesure du rayonnement électromagnétique des décharges électriques orageuses. Pour sa part, le CRPE a mis en oeuvre les 2 radars Doppler du système RONSARD, le sodar Doppler triple, un spectro-pluviomètre optique, une liaison hertzienne expérimentale associée à une série de pluviographes.

#### a) Déroulement de l'expérience

La réalisation sur le terrain de l'expérience COPT 81 (initialement prévue du 7 mai au 21 juin 1981) a posé aux divers laboratoires participants des problèmes difficiles que l'on ne pouvait apprécier et résoudre que sur le terrain : problèmes de fonctionnement d'appareillages sophistiqués en atmosphère tropicale, problèmes de protection contre le foudroiement (difficiles en raison de la mauvaise qualité des terres électriques dans les sols latéritiques). Ceci a amené à prolonger l'expérience jusqu'au 28 juin. Mis à part ces problèmes instrumentaux qui ont tous été surmontés sur le terrain (avec parfois de gros efforts), l'expérience s'est déroulée dans des conditions voisines de ce qui était prévu. Le site choisi s'est avéré très bien adapté aux objectifs de la campagne, du point de vue logistique et météorologique.

Durant la période couverte par la campagne (8 mai - 28 juin), 23 événements convectifs se sont produits (ce qui est supérieur à la moyenne climatique de 11 par mois). Les procédures d'acquisition de données prévues à l'avance ont pu être suivies avec succès, la première moitié de la campagne étant surtout consacrée aux observations en condition pré-convective et la deuxième moitié aux observations de convection profonde.

L'installation des deux radars de système RONSARD sur les sites a été achevée à la fin du mois d'avril 1981. Au cours de la période d'expérience (7 mai - 28 juin) on distingue deux phases : (i) La première période (mai) a rapidement révélé un ensemble de difficultés de fonctionnement que l'on s'est attaché à surmonter par des

interventions de caractère technique quasi continues : protection contre des inductions dues aux décharges de foudre à proximité des instruments, fiabilisation du fonctionnement des émetteurs et des calculateurs de gestion des radars en atmosphère tropicale humide. (ii) La deuxième période (juin), particulièrement féconde en nombre d'événements convectifs, a permis de tirer le bénéfice des efforts précédents et de réaliser de nombreuses observations de qualité.

#### **b) Bilan des observations radar**

Au total, 15 événements ont été observés avec les radars RONSARD dont 3 cas de convection diurne isolée (2 radars) et 12 cas de convection organisée en ligne de grains caractérisée ou amas de grande étendue (8 observations avec 2 radars, 4 avec 1 radar). Les 11 événements (8 lignes de grains et 3 événements convectifs isolés) qui ont fait l'objet d'enregistrement simultané de données avec les deux radars RONSARD peuvent donc fournir des données quantitatives sur la dynamique des nuages. Dans cinq cas d'observations, on dispose, en plus, de données du réseau électrique, ce qui permet en outre une étude des phénomènes d'électrification et de décharge orageuses. On notera que 97 séquences d'observations en convection profonde à l'aide de la méthodologie COPLAN (justifiant l'utilisation de deux radars Doppler pour explorer simultanément un événement convectif et permettre ultérieurement la restitution du champ de vitesse tridimensionnel) ont été réalisées au cours de la campagne COPT 81. Ceci représente environ trois fois plus que le nombre total de séquences obtenues au cours des quatre campagnes européennes conduites depuis 1977.

Il convient également d'indiquer que quatre expériences "couche limite" avec lâcher de chaff et enregistrement simultané des deux radars ont été menées à bien en conditions pré-convectives et permettront d'aborder une étude quantitative de l'écoulement tridimensionnel dans la CLP tropicale.

On dispose donc d'un capital de données radar important concernant des événements bien caractérisés, avec possibilité de choix, pour aborder les thèmes de recherche relatifs à la convection profonde définie dans le projet initial.

Au cours de l'année 1981, un ensemble de "documents COPT" ont été édités sous l'égide des Comités Scientifique et/ou Technique de l'expérience, relativement aux procédures opérationnelles (308), à l'organisation logistique (309), au compte rendu détaillé de la campagne (311) et aux thèmes d'études scientifiques affichés (310). L'ensemble des données recueillies par le CRPE a également fait l'objet de l'édition d'un répertoire (302).

### **c) Exploitation des résultats**

La phase d'exploitation des données recueillies au cours de la campagne a débuté par un travail de sélection des événements, fondée à la fois sur leur intérêt propre et sur l'appréciation globale de la densité et de la qualité des données acquises par les autres groupes participants. En ce qui concerne les données radar, nous avons engagé les programmes d'édition de données qualifiées (étalonnage des réflectivités radar, élimination des échos parasites, correction des vitesses ambiguës) relativement à 4 événements sélectionnés en concertation avec nos partenaires des autres groupes (deux cas d'orage de convection diurne et deux cas de lignes de grains). L'application des programmes élaborés et l'interprétation proprement dite des résultats, qui nécessitera l'intégration de données complémentaires (radiosondages, réseau de mesure sol) dont l'échange est coordonné par le Comité Scientifique de l'expérience, seront développées au cours de l'année 1982.

### III. PROPAGATION

#### III.1 PROPAGATION EN PRESENCE D'HYDROMETEORES

L'affaiblissement dû à la pluie constitue l'une des perturbations les plus importantes que subissent les ondes radioélectriques lorsqu'elles se propagent dans l'atmosphère. La connaissance précise des lois de distribution de pluie et des statistiques d'affaiblissement présentent un intérêt considérable pour la conception des systèmes de télécommunication. C'est pourquoi le CRPE continue à rassembler et à analyser les données recueillies en divers zones climatologiques de France et d'Afrique.

##### III.1.1 Liaisons horizontales

a) Le dépouillement des données provenant des liaisons expérimentales (Montpellier, Dijon, région parisienne), placé sous la responsabilité du CRPE a été continué et a été traduit en totalité sous forme de courbes de répartitions. Les données provenant des liaisons à point nodal de Montparnasse ont déjà été rassemblées sous la forme de document technique (321).

b) Les fortes intensités de pluie que l'on observe exceptionnellement aux latitudes tempérées mais très fréquemment en climats équatorial et tropical provoquent sur les liaisons hertziennes d'importantes perturbations dont les lois de prévision habituellement utilisées ne permettent pas de rendre compte de manière satisfaisante.

Afin d'améliorer nos connaissances dans ce domaine, le CRPE s'est engagé dans deux types d'actions :

- l'une, destinée à étudier l'influence de la structure et de l'étendue des cellules de pluie sur les affaiblissements, s'est déroulée dans le cadre de la campagne COPT 81 durant le printemps et le début de l'été 1981 ;

- l'autre a consisté à assurer le dépouillement et l'interprétation des données recueillies en République Populaire du Congo.

Les mesures effectuées au Congo pendant plus d'un an ont conduit à proposer pour la distribution des intensités de pluie  $R$  une loi de probabilité de la forme

$$P(R \geq r) = a \frac{e^{-ur}}{r^b}$$

où a, b et u sont des paramètres dépendant du temps d'intégration du pluviomètre utilisé et de la zone climatique considérée (533), r est le seuil ( $r \geq 2$  mm/heure).

Comme le montre la figure 1, cette loi rend beaucoup mieux compte des résultats expérimentaux que les lois gamma ou log-normale utilisées jusqu'ici. Qui plus est, cette loi, qui a été proposée au CCIR au mois de septembre 1981, vérifie les données expérimentales recueillies en différentes régions climatiques du monde. En ce qui concerne les affaiblissements, le modèle de LIN rend bien compte des données obtenues, à la fréquence de 7 GHz, comme on peut le voir sur la figure 2a.

D'autre part, en comparant les données expérimentales recueillies au Congo et les prévisions théoriques obtenues à partir des amplitudes de diffusion vers l'avant calculées par divers auteurs, on a pu déduire une loi de distribution des dimensions des gouttes de pluie applicable aux climats équatorial et tropical. On dispose donc des éléments nécessaires pour établir une loi d'échelle en fréquence, que nous avons utilisée pour calculer les affaiblissements à 13 GHz, fréquence des expériences poursuivies en Côte d'Ivoire. On observe un très bon accord avec les données expérimentales (figure 2b).

Nous sommes donc actuellement en possession de lois qui doivent permettre une meilleure prévision des performances des liaisons hertziennes en Afrique.

### **III.1.2 Liaisons obliques**

a) L'analyse des données provenant des satellites SIRIO 1 et OTS 2 obtenues à Gometz-la-Ville a été poursuivie. Elle a montré l'importance de la neige mouillée dans les affaiblissements de propagation de l'ordre de plusieurs décibels. Une étude théorique de l'affaiblissement dû à ce type d'hydrométéores en fonction de la fréquence a été engagée. D'autre part, une grande partie de l'ensemble des données sera utilisée dans le cadre de l'action COST 205. Le choix de la nature des données et de leur présentation a été préparé puis discuté au cours de réunions internationales. Une partie des données a également été fournie à la commission V du CCIR.



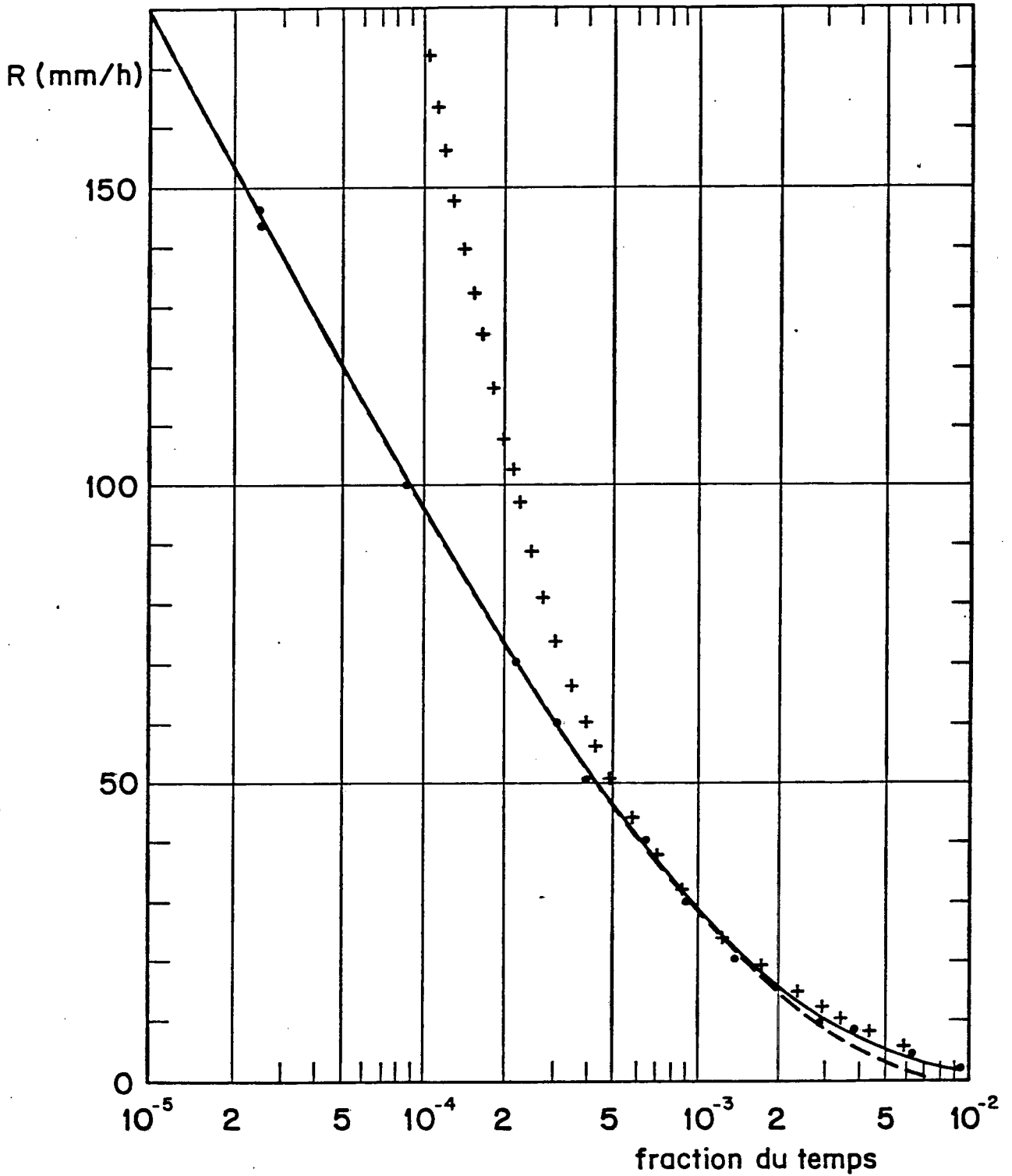


Fig. 1 (III)

Intensités de pluie mesurées à la station de BRAZZAVILLE  
de mi Avril 1980 à fin Avril 1981.  $\Delta t = 6$  min.

- +++++ loi log normale  $P_0 = 10\%$
- loi gamma  $\nu = 2,3 \cdot 10^{-3}$   $R_0 = 46$  mm/h
- modèle proposé  $\left\{ \begin{array}{l} a = 1,6 \cdot 10^{-2} \\ b = 0,6338 \\ u = 2,31 \cdot 10^{-2} \end{array} \right.$
- ..... points expérimentaux

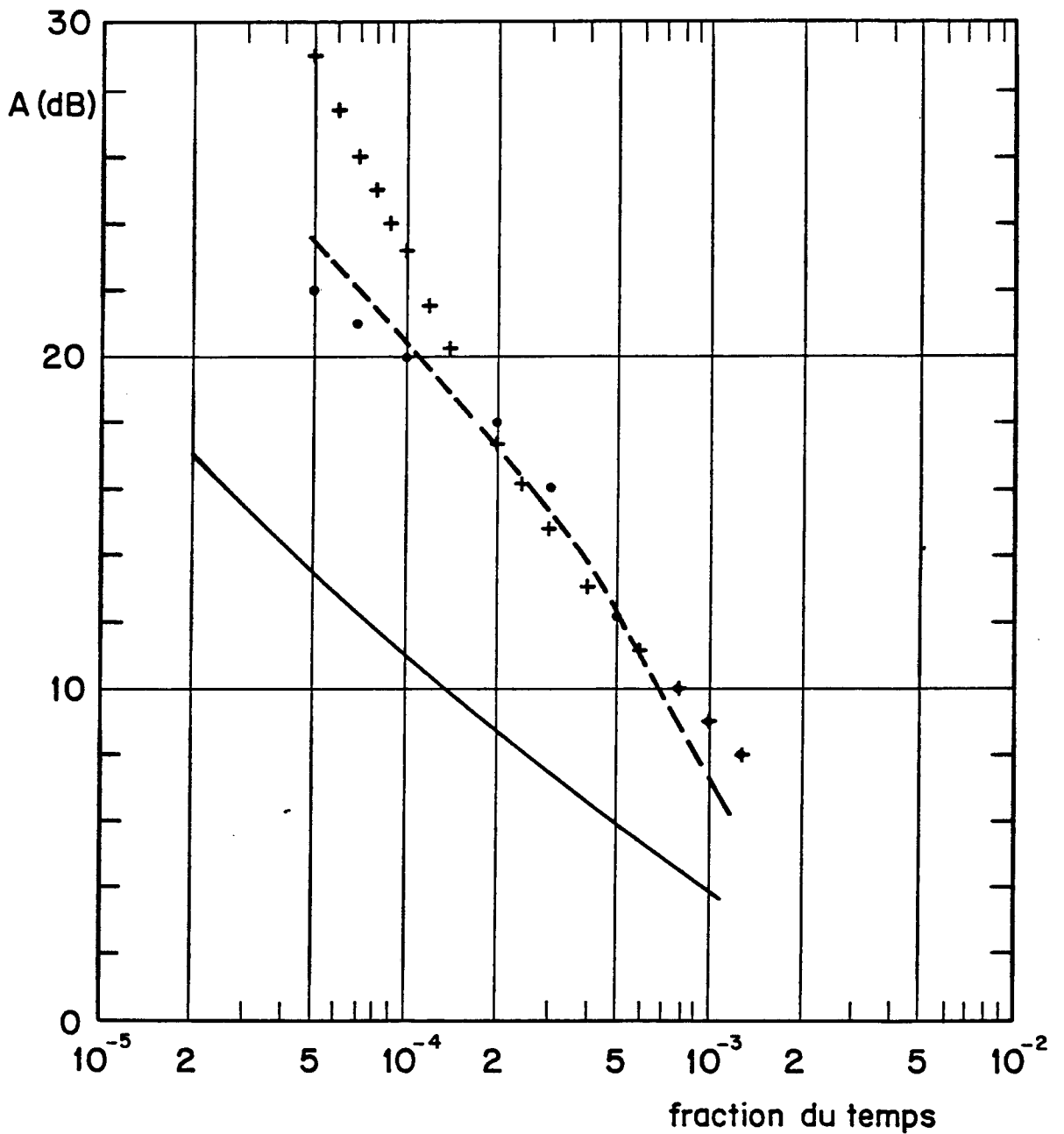


Fig. 2a(III)

Affaiblissements mesurés ••••

Affaiblissements calculés avec intensités de pluies corrigées

Affaiblissements calculés avec intensités de pluies corrigées	}	+++ (F. FEDI)	R en 1 min
		— (R. CRANE)	
		--- (S. H. LIN)	

.

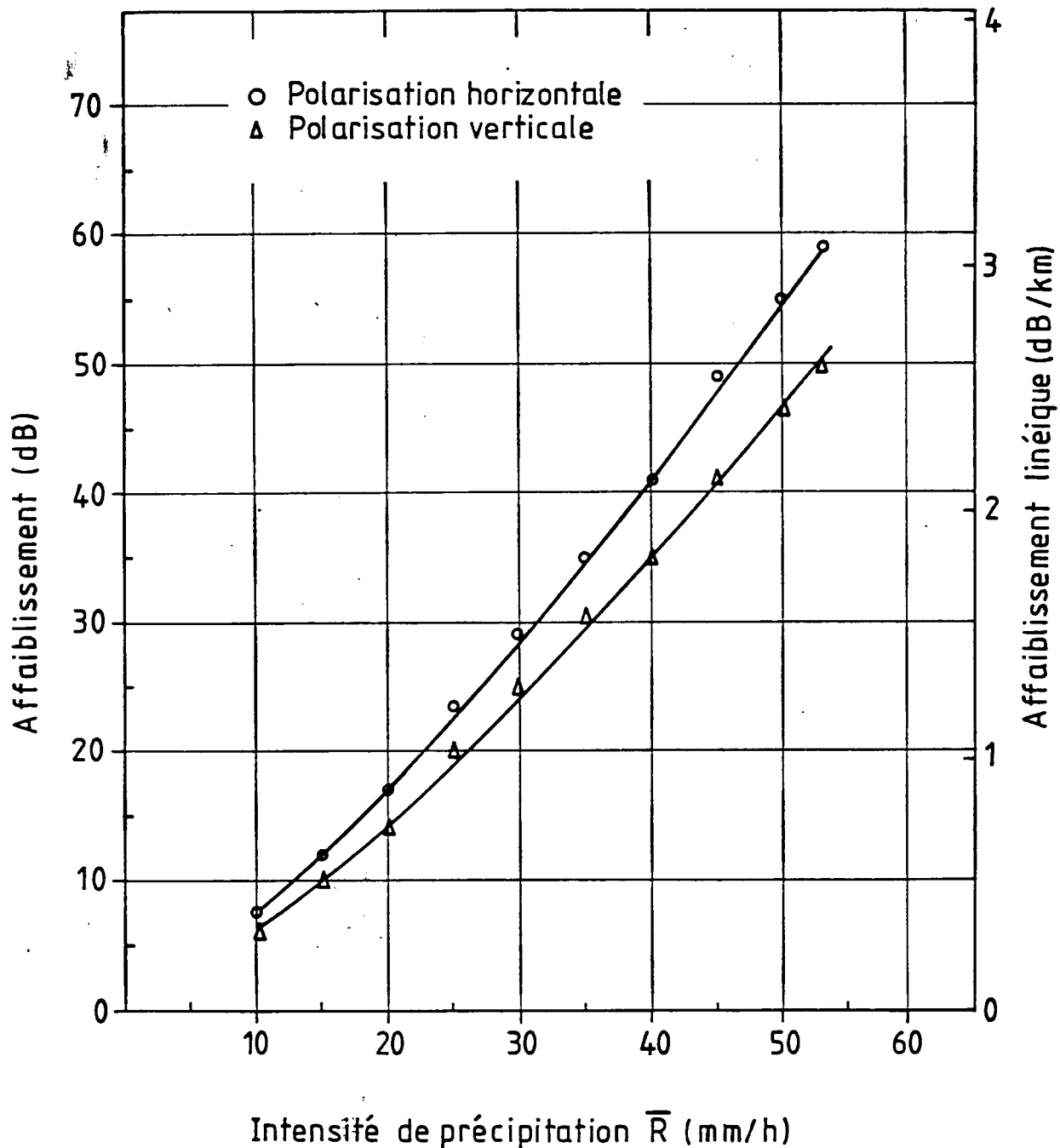


Fig.2b(III). Corrélation entre les affaiblissements de propagation à 13GHz et les intensités moyennes de précipitation au cours de la campagne COPT 81

b) L'étude de la dépolarisation par la glace a été effectuée à l'aide des résultats obtenus à partir des satellites ATS 6, SIRIO et OTS (402) et se poursuit par des mesures simultanées de champ électrostatique atmosphérique, d'affaiblissement et de dépolarisation à la fréquence de 11,6 GHz (station terrienne de Bercenay-en-Othe).

D'autre part, une mise au point sur les modèles mathématiques utilisés dans l'étude de la propagation à travers une population de cristaux de glace a été effectuée (226). Il semble que le modèle basé sur la matrice de transition soit le plus performant. Un programme de calcul permettant d'utiliser ce modèle a été implanté sur l'ordinateur du CNET.

### c) Balise 20-30-40-90 GHz

Les spécifications techniques de la balise embarquée ont été définies en collaboration avec la division ETR. Elles ont conduit au schéma synoptique de la figure 3 à partir duquel a été rédigé le cahier des clauses techniques particulières qui a été remis au constructeur retenu.

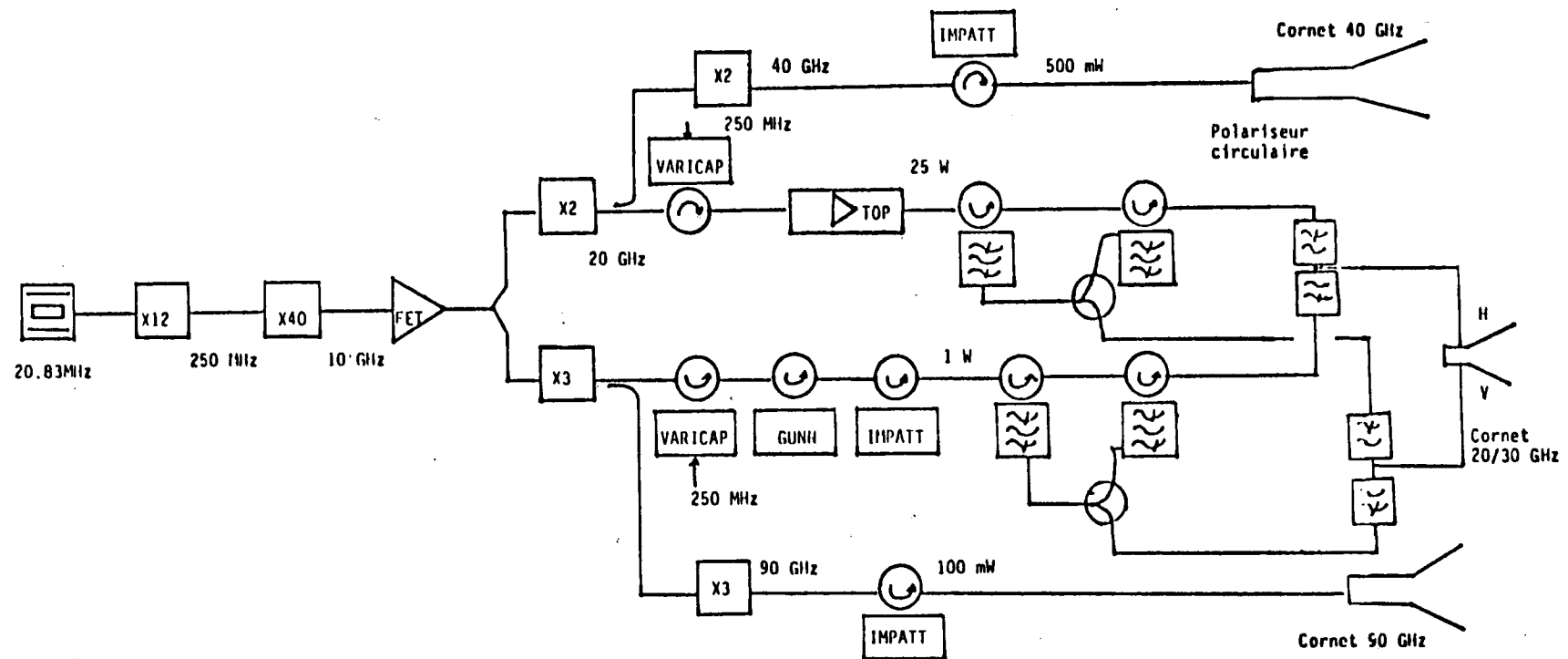
## III.2 PROPAGATION EN AIR CLAIR

III.2.1 On a généralisé les résultats précédemment obtenus sur les liaisons hertziennes numériques de 50 km à 140 Mbit/s. On a notamment systématiquement déterminé pour des liaisons fonctionnant dans la bande des 11-12 GHz, la relation entre la marge nette et la marge brute pour différents débits numériques (figure 4).

III.2.2 Un projet d'étude de la propagation en large bande a été mis au point. Il associe à une liaison à 11 GHz équipée d'un analyseur à large bande (1 GHz) d'importants moyens météorologiques (mât instrumenté, réfractomètre, sodar, mini-sodar, lidar).

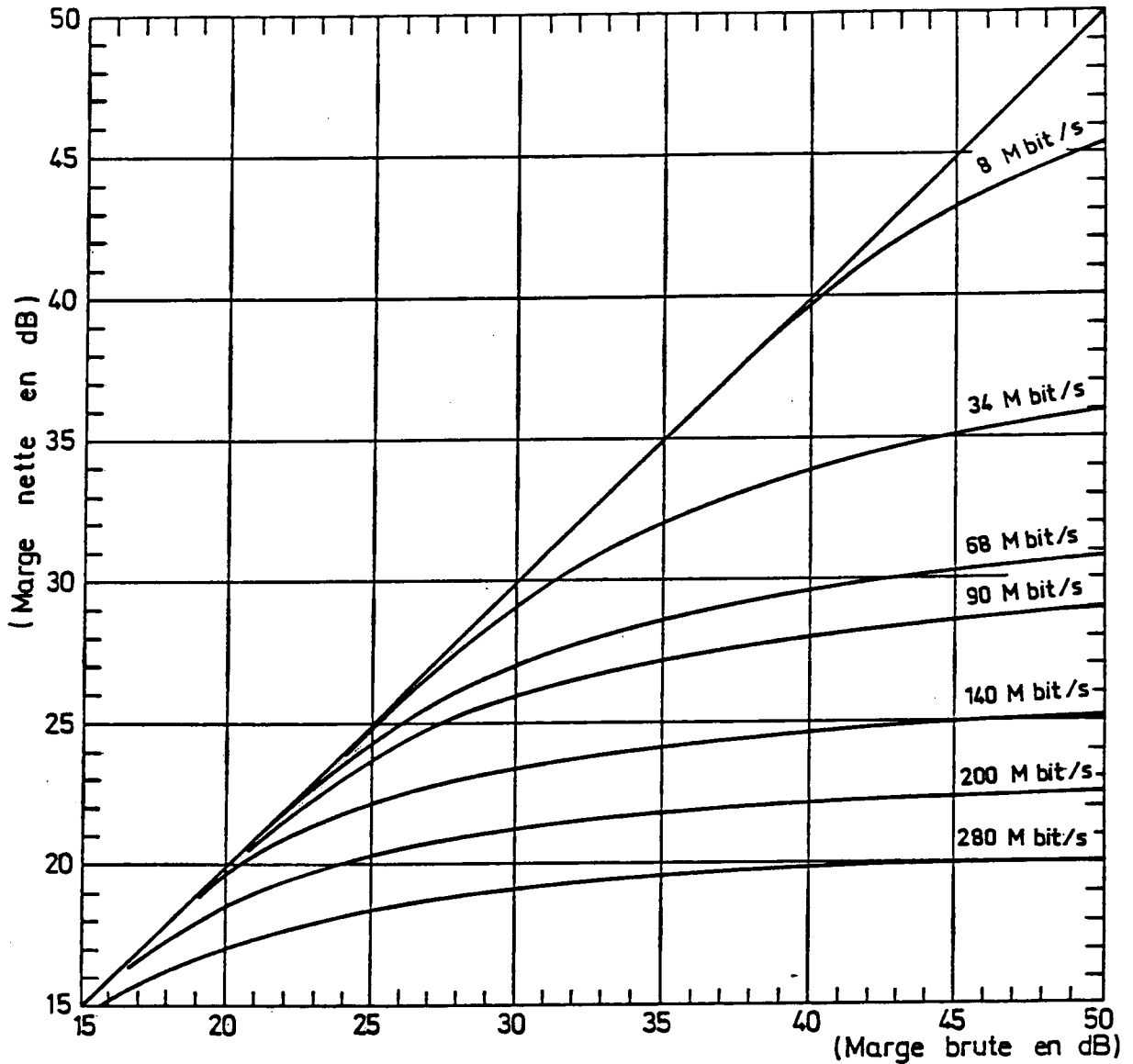
## III.3 PROPOSITIONS D'EXTENSION D'ETUDES

Un groupe de réflexion a examiné à partir du mois de juillet 1981 les modifications et les extensions possibles des travaux ayant potentiellement un intérêt pour les études de systèmes de télécommunications (508).



SCHEMA SYNOPTIQUE DE LA BALISE 20/30/40/90 GHz

Fig.3 (III)



**Fig.4 (III).** - RELATION ENTRE LA MARGE BRUTE ET LA MARGE NETTE  
POUR DIFFERENTS DEBITS NUMERIQUES. LIAISONS DE 50 à 60 km  
DANS LA BANDE 11- 12GHz .. EQUIPEMENT A 4 ETATS DE PHASE  
DEMODULATION DIFFERENTIELLE . FILTRAGE DE BUTTERWORTH  
LARGEUR DE BANDE = 1,2 BANDE DE NYQUIST

Le phénomène d'interférence intersymbole lié à la propagation par trajets multiples des ondes dans la troposphère se traduit par une dégradation importante de la qualité des liaisons hertziennes numériques. On constate sur cette figure, que pour les débits relativement importants, la marge réelle contre les évanouissements, dite "marge nette", est bien inférieure à la marge brute mesurée en laboratoire. On voit également que la marge réelle ne peut être améliorée simplement en augmentant la marge brute.

Les principaux points retenus sont les suivants :

- Etude de la diffusion multiple.
- Etude de la propagation en milieu urbain.
- Etude de l'émission d'ondes dans la gamme EBF (300 Hz - 3 KHz) au moyen de faisceaux de particules.
- Etude des transformations en nombres entiers (application aux égaliseurs adaptatifs et aux modems).
- Etude du traitement adaptatif d'antennes.
- Etude du traitement à bord des satellites de télécommunications.
- Etude des antennes à commande de phase.

#### IV. ETUDE DE L'ATMOSPHERE MOYENNE : PHYSICO-CHIMIE ET DYNAMIQUE

L'atmosphère moyenne couvre la zone allant de la tropopause à la mésopause. C'est une région où les variations des flux U.V. et I.R. disponibles en fonction de l'altitude créent un déséquilibre dans le bilan d'énergie radiative. Ce déséquilibre ne peut être compensé que par l'existence de processus dynamiques qui assurent une redistribution verticale de l'énergie, mais aussi de la matière (composés mineurs et anthropogéniques) et de la quantité de mouvement.

Ces phénomènes dynamiques sont fortement influencés par les couplages existant avec les régions limitrophes :

- interaction troposphère - stratosphère,
- interaction ionosphère - atmosphère neutre.

Inversement, la physico-chimie des régions de transition (basse stratosphère et basse mésosphère) est fortement conditionnée par la dynamique.

L'atmosphère moyenne est sans doute la région de l'atmosphère actuellement la plus mal connue. Déjà trop éloignée du sol pour que les mesures in situ y soient aisées, elle offre par ailleurs moins de prise aux mesures à distance, par moyens optiques et radioélectriques, que la thermosphère et l'ionosphère. La méconnaissance du fonctionnement dynamique et photochimique de l'atmosphère moyenne, et en particulier de son couplage avec la troposphère, rend impossible une évaluation sérieuse de l'impact de l'activité humaine dans cette région et sa répercussion sur l'évolution du climat. C'est la raison pour laquelle s'est développé au CRPE un programme d'étude de l'atmosphère moyenne qui s'inscrit dans le contexte d'un effort de coordination international (Middle atmosphere program) et répond à un appel d'offres du CNRS (ATP atmosphère moyenne). Les trois thèmes retenus par le département HMA du CRPE sont :

1) Etude et modélisation des processus de redistribution verticale de l'énergie dans l'atmosphère moyenne. Il s'agit essentiellement d'étudier la génération des ondes atmosphériques (sur l'ensemble du spectre émis), leur propagation dans l'atmosphère moyenne et leur dissipation.



2) Etude de l'interaction ionosphère - atmosphère neutre dans la mésosphère et plus spécialement des conditions de formation des ions négatifs et des agrégats en relation avec la dynamique de cette région.

3) Etude de l'interaction troposphère - stratosphère. Le but ultime de cette étude consiste à modéliser les échanges entre la troposphère et la stratosphère.

Le département HMA du CRPE a déjà depuis de nombreuses années acquis, avec les radars météoriques, une compétence aussi bien théorique qu'expérimentale dans l'étude de la dynamique de la mésosphère. Le savoir-faire et les connaissances théoriques acquises vont naturellement trouver leur emploi dans le développement de moyens nouveaux d'investigation : la diffusion incohérente dans la mésosphère (avec EISCAT et Saint-Santin), qui donne accès à la chimie et à la dynamique de la région 60-80 kilomètres, et l'utilisation de radars cohérents dans la stratosphère, qui a fait, en 1981, l'objet d'une étude faisabilité.

#### **IV.1 DYNAMIQUE DE LA HAUTE MESOSPHERE ET DE LA THERMOSPHERE**

Le dépouillement des expériences effectuées en 1979 et 1980 à Monpazier, par le radar météorique à deux émetteurs, a été définitivement achevé au cours de l'année 1981. L'analyse de cet ensemble complet de mesures faites à toutes les époques de l'année, est en cours (106).

Certaines de ces expériences avaient été coordonnées avec des expériences effectuées par d'autres appareillages :

- En septembre 1980, avec des mesures de vent faites à partir du radar de SOUSY (RFA) par J. ROTTGER. La comparaison des marées et des ondes de plus longue période à basse et haute altitude devrait donner lieu à une publication au cours de l'année 1982.

- En novembre 1980 avec la campagne européenne "Energy budget" qui a regroupé sous la responsabilité de D. OFFERMAN une somme de moyens au sol ou en vol (ballon, fusées) considérable. Une communication, écrite conjointement par les équipes française, anglaise, italienne et norvégienne, sera présentée à Ottawa (Canada) lors de la réunion du COSPAR (1982). Elle concernera des résultats obtenus par radars météoriques, sondeur à diffusion et réflexions partielles.

Dans le même temps, l'exploitation du radar météorologique du CNET implanté à Porto Rico (18°N), qui fonctionne sous la responsabilité du Pr. ROPER s'est poursuivie. Mais en raison de diverses difficultés (climat, défaillances techniques, manque de personnel) les données obtenues ont été peu nombreuses. La fin de cette expérience est envisagée après une dernière série de mesures qui aura lieu en juin 1982.

Les résultats de l'analyse de l'ensemble des données acquises par les radars météorologiques du CNET à haute, moyenne et basse latitude (Kiruna (68°N), Garchy (47°N, 3°E), Monpazier (44°N, 1°E), Porto Rico (18°N, 67°W)) ont donné lieu à diverses publications (006), (020), (010), (004), (005) (figure 1) concernant les variations longitudinales ou latitudinales des mouvements organisés de différentes échelles et de plus pour les marées les variations saisonnières et la comparaison avec des modèles théoriques (004), (005) (figure 2).

Des articles ont été écrits en collaboration avec d'autres équipes (545) et (027). L'un de ces articles utilise les résultats des marées obtenus par les radars météorologiques du CNET pour étudier la réflexion de ces ondes dans un profil de température mésosphérique. L'autre a permis de comparer les mesures de vent par radar et les variations d'intensité de la raie verte de l'oxygène atomique (5577 Å) en diverses stations. On a observé une onde de 4 heures dans les stations françaises (figure 3) et on a pu donner une caractérisation plus précise du mode d'oscillation d'une onde de période voisine de 2 jours.

Par ailleurs les mesures de vent simultanées effectuées par le radar météorologique du CNET à Porto Rico et le sondeur à 430 MHz de l'Observatoire d'Arécibo ont montré que dans leur ensemble les profils de vent obtenus par ces deux méthodes étaient en bon accord (021).

Enfin, une étude des ondes de gravité de moyenne échelle a été également entreprise avec le sondeur à diffusion de Saint-Santin en collaboration avec l'interféromètre solaire de l'Observatoire de Meudon - Nançay et le sondeur ionosphérique du département MER/GER du CNET Lannion.

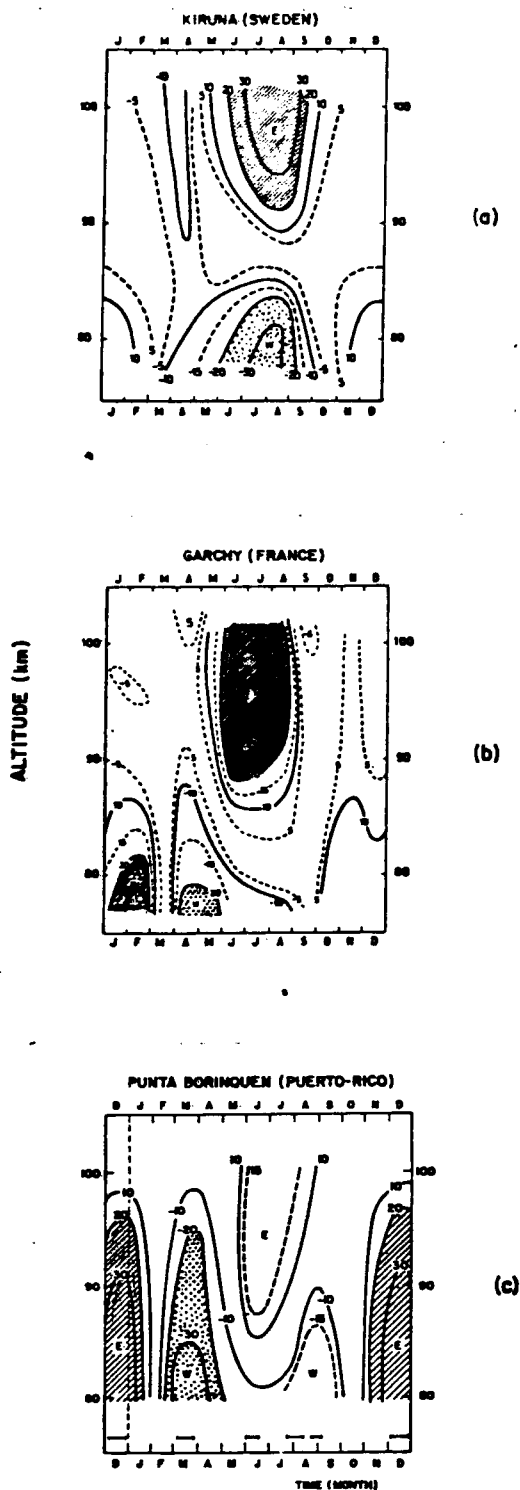


Fig.1 (IV)

Variations saisonnières du vent zonal dans la zone d'altitudes météoriques à Kiruna (68°N) Garchy (47°N) et Porto Rico (18°N). Les valeurs du vent en  $\text{ms}^{-1}$  sont positives vers l'Est (maximum noté E et hachuré  $\geq 20 \text{ms}^{-1}$ ) et négatives vers l'Ouest (maximum noté W et en pointillé  $\leq 20 \text{ms}^{-1}$ ).

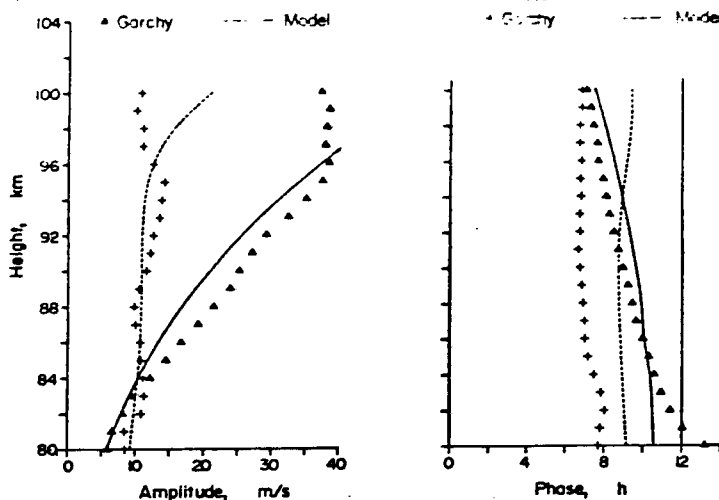


Fig.2(IV)

Vent zonal semi-diurne à 45°N.

Les valeurs observées à Garchy sont comparées aux résultats du modèle. Les plus et les tirets correspondent aux données d'été, les triangles et les traits pleins aux données d'hiver. La phase correspond au temps local pour lequel le vent vers l'Est est maximum.

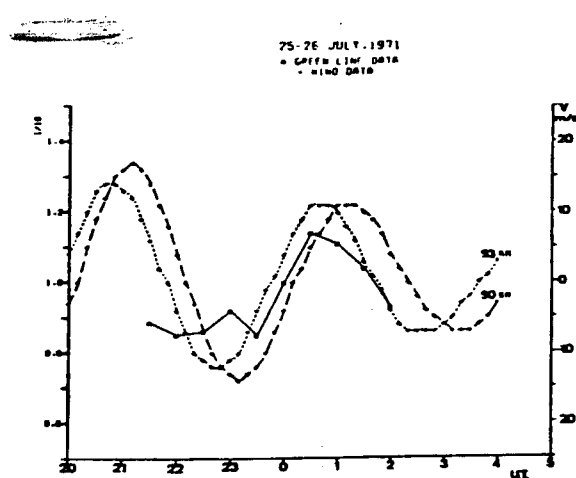


Fig. 3(IV)

Trait plein : données sur la raie verte normalisées par la valeur à minuit, les 25-26 juillet à l'OHP. Tirets : valeurs filtrées du vent à 90 et 93 km à Garchy. Le filtre numérique est centré sur la période 4 heures.

## IV.2 ETUDE PAR DIFFUSION INCOHERENTE DE LA PHOTOCHEMIE DE LA MESOSPHERE

L'étude des spectres de diffusion incohérente dans la basse mésosphère a été poursuivie sur le plan théorique et sur le plan expérimental.

**IV.2.1** Pour pouvoir interpréter les spectres de diffusion incohérente dans la région 60-80 km, KOCKARTS et WISEMBERG ont émis l'hypothèse que les fluctuations thermiques des densités des électrons et des ions négatifs étaient largement dominées par des fluctuations d'origine chimique.

A partir de cette hypothèse, et en suivant une approche hydrodynamique, un calcul analytique, développé autour des basses fréquences ( $f < 10$  Hz), de la section efficace de diffusion  $\sigma$  et de la puissance reçue  $P$  a conduit aux nouvelles expressions approchées :

$$\sigma(\omega_0 + \omega) d\omega = \frac{N_e r_e^2}{\pi} \frac{L_e}{\omega^2 + L_e^2} d\omega$$

$$P = \int_{-\infty}^{+\infty} \sigma(\omega_0 + \omega) d\omega = N_e r_e^2$$

où  $\omega_0$  est la fréquence émise,  $\omega$  l'élargissement Doppler, et  $r_e$  le rayon de l'électron.

Cette formulation théorique très simple permet d'accéder aux paramètres : densité électronique  $N_e$  et taux de perte des électrons  $L_e$ .

**IV.2.2** Sur le plan expérimental des spectres préliminaires ont été obtenus avec le radar de Saint-Santin à 74 et 76 km. La densité électronique déduite est plus élevée que celle prévue par les modèles. Une première estimation du taux de perte des électrons dans cette région conduit à une valeur également plus élevée que celle calculée par la théorie des graphes, du modèle de KOCKARTS et WISEMBERG. L'interprétation théorique des spectres mésosphériques reste donc ouverte.

L'expression approchée de la section efficace montre que la réponse du milieu est indépendante de la fréquence radar. Il sera donc intéressant de le vérifier sur le site d'EISCAT où l'on pourra mesurer des spectres mésosphériques en un même lieu avec les deux fréquences radar différentes 225 MHz et 1 GHz.

**IV.2.3** Sur le plan technique ; des travaux ont été réalisés, aussi bien sur le système de Saint-Santin - Mende, que sur le sondeur auroral EISCAT.

#### **a) Sondeur CNET**

La transformation du système émission - réception entre Saint-Santin et la station de Mende s'est poursuivie sous la direction de M. F. BAUDIN. La réalisation du codage en phase est maintenant achevée. Les essais en laboratoire ont été concluants et ont montré l'efficacité de ce système pour l'élimination des échos parasites. L'implantation en station est prévue pour le premier trimestre 1982.

#### **b) Sondeur EISCAT**

Le sondeur EISCAT a commencé à fonctionner en juillet 1981. Les premières expériences dans la région mésosphérique ont pu être réalisées en décembre 1981. Elles ont consisté à tester "en vraie grandeur" le logiciel développé à cet effet par W. KOFMAN, R. GRAS et F. BERTIN. Les premiers résultats sont en cours de dépouillement.

### **IV.3 DYNAMIQUE DE LA STRATOSPHERE : ETUDES PAR RADAR COHERENT**

Dans le cadre de l'étude de faisabilité d'un radar cohérent on a cherché à définir au mieux les caractéristiques d'un radar destiné à l'étude de l'interface troposphère - stratosphère.

L'élaboration de ce projet a comporté :

a) La visite de divers laboratoires ayant déjà développés des radars cohérents (SOUSY (RFA), POKER FLAT (Alaska)...) ce qui a permis une étude critique des avantages et des limitations des différents radars existant.

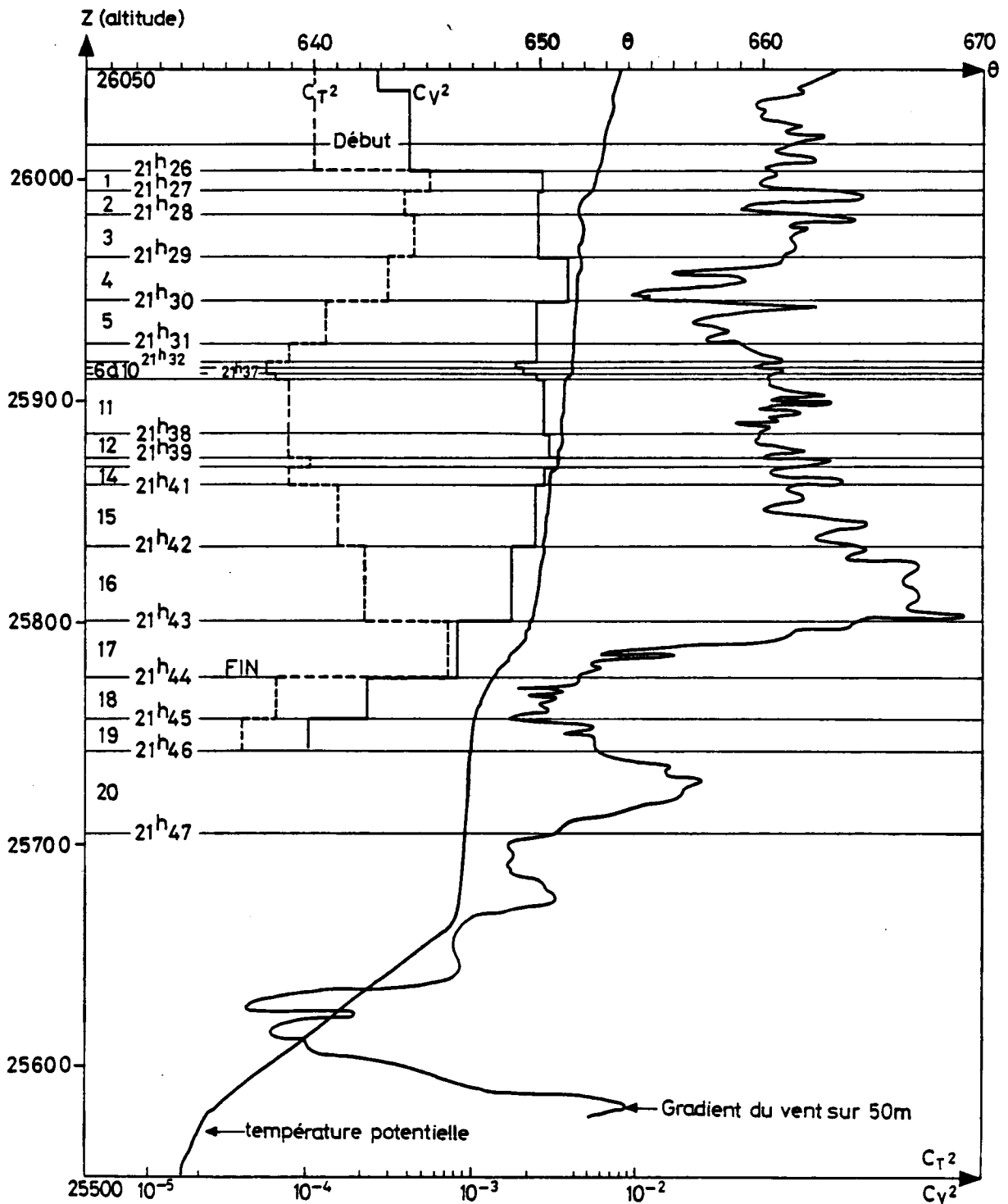


Fig.4 (IV)

Exemple de sondage fin de l'atmosphère effectué "in situ" par ballon (Barat, 1982). La nacelle a traversé une couche turbulente pendant une descente à faible vitesse du ballon entre 21 h 25 et 21 h 44. Cette couche de 240 m d'épaisseur a pu être analysée en détail. La figure montre les profils de gradient du vent et de température potentielle, ainsi que l'évolution à l'intérieur de la couche des constantes de structure turbulente du vent ( $C_V^2$ ) et de la température ( $C_T^2$ ).

b) Une étude fine de la turbulence stratosphérique mesurée "in situ" par ballon (effectuée dans le cadre de la RCP 545 en collaboration avec J. BARAT du Service d'Aéronomie de Verrières) a permis de mieux définir les liens existant entre les turbulences de vent et de température à l'intérieur des couches turbulentes stratosphériques (figure 4). La valeur des différents paramètres définissant le déclenchement, la durée et les effets de la turbulence a pu être déterminée. Le développement d'instabilités de grande échelle à l'intérieur des couches turbulentes a pu être mis en évidence.

Ceci a entraîné la définition d'un projet de radar ST qui a été soumis à l'INAG en octobre 1981. Ce projet a aussi été présenté en décembre à la conférence de Boston à laquelle participaient de nombreux spécialistes des radars cohérents.

D'autre part, deux chercheurs français effectueront en 1982 des mesures de vent dans la stratosphère avec le radar d'Arecibo à 430 MHz.



## V. ELECTRODYNAMIQUE DE L'ATMOSPHERE IONISEE

La circulation d'ensemble du plasma de l'environnement ionisé d'une planète à champ magnétique est contrôlée par le fonctionnement d'un circuit électrique reliant le vent solaire, le plasma magnétosphérique, et l'ionosphère, par l'intermédiaire des lignes de force du champ magnétique. Ce circuit est alimenté par un certain nombre de dynamos, qui dans le cas de la magnétosphère terrestre se résument à deux :

a) La dynamo vent solaire/magnétosphère, qui par le mouvement relatif du vent solaire et du champ géomagnétique produit une force électromotrice d'une centaine de kilovolts à travers la cavité magnétosphérique. Ses fluctuations temporelles commandent en grande partie l'histoire de l'activité magnétique dans la cavité.

b) La dynamo ionosphérique, qui résulte des mouvements de l'air neutre à travers les lignes de force géomagnétiques. Son fonctionnement sous l'effet des marées atmosphériques est responsable des variations régulières des champs et courants électriques et des dérives de plasma de l'ionosphère de basse et moyenne latitude.

Les expériences mises en oeuvre par le CRPE permettent d'étudier le fonctionnement de ces deux dynamos. Elles visent à échantillonner toutes les régions-clés du circuit magnétosphérique :

- la magnétopause et les régions frontières de la magnétosphère, avec ISEE 1 et 2,

- l'ionosphère aurorale, avec le sondeur à diffusion auroral EISCAT et le satellite polaire ARCAD 3,

- la magnétosphère externe dans ses régions dipolaires, avec le satellite géostationnaire GEOS 2,

- l'ionosphère des moyennes latitudes, avec le sondeur à diffusion de Saint-Santin.

L'année 1981 a vu le début du fonctionnement de deux grandes expériences d'étude des régions aurorales : le sondeur ionosphérique européen EISCAT, qui a fourni

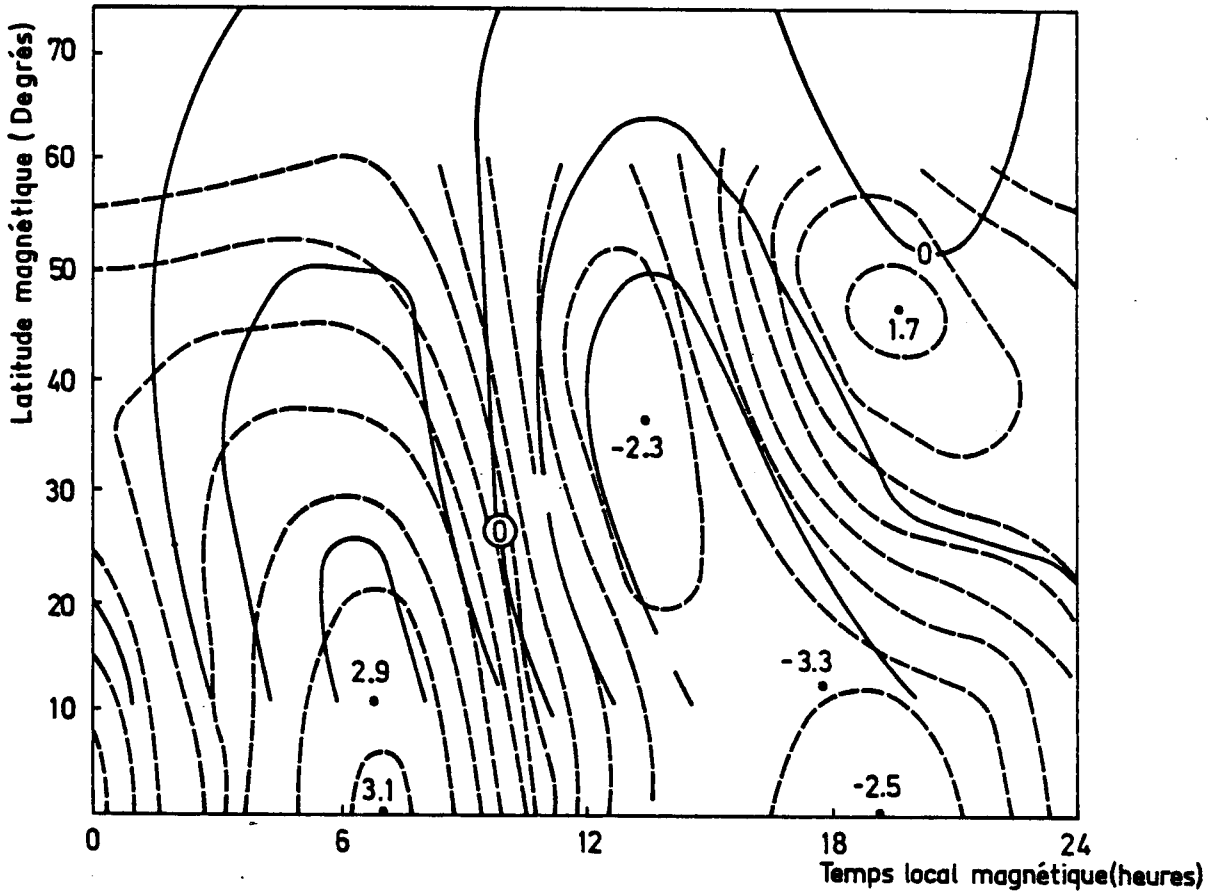


Fig.1.(V): Distributions de potentiel électrique

- Modèle de Richmond et al. L'espacement entre contours est 500V.
  - Simulation S(1,-2) + S(2,2). L'espacement entre contours est 1300V
- Les maxima et minima sont en kilovolts.

Comparaison des cartes théorique et empirique du potentiel électrostatique.

ses premières mesures en août, et le satellite franco-soviétique ARCAD 3, lancé en septembre. Ces deux événements annoncent le recentrage progressif des études d'électrodynamique autour de la physique des régions aurorales, qui sont le "carrefour" des échanges ionosphère - magnétosphère.

## **V.1 LA DYNAMO IONOSPHERIQUE, ET LES VARIATIONS DE L'IONOSPHERE EN BASSES ET MOYENNES LATITUDES**

### **V.1.1 Modélisation de la circulation régulière des courants ionosphériques**

L'effort de modélisation de la circulation des courants des jours magnétiquement calmes s'est poursuivi à deux niveaux.

Au niveau local de la latitude de Saint-Santin, un modèle saisonnier des courants en fonction de l'altitude et du temps, et de l'intégrale en altitude de ces courants, a été achevé et publié (531). Cette étude a mis en évidence que les courants circulant au-dessus de Saint-Santin au cours d'une période de 24 heures ont un flux net vers le nord en toutes saisons. Ce résultat est incompatible avec les modèles simples de la dynamo ionosphérique, qui possèdent à la fois la stationnarité en temps universel et la symétrie des hémisphères, et ne peut être que le résultat de l'asymétrie des hémisphères et/ou du mouvement en temps universel du dipôle terrestre.

Une prochaine étude modélisera cet effet. Pour la préparer, on s'est intéressé dans un premier temps à reproduire par un calcul dynamo global la circulation de jour calme des courants en janvier 1977, et en particulier la génération par une anomalie des modes de marées du contre-électrojet équatorial d'une intensité exceptionnelle qui s'est produit le 21 janvier. Ce travail, mené en collaboration avec C. HANUISE du LSEET à Toulon, a permis de montrer (figure 1) qu'une simple superposition des premiers modes diurne et semi-diurne symétriques des marées atmosphériques permettait d'engendrer une distribution du potentiel électrostatique très proche du modèle empirique déduit par RICHMOND et al. des données de champs électrique ionosphérique (voir rapport d'activité 1980).

### **V.1.2 Modélisation de la variation diurne des couches ionosphériques**

Un effort de modélisation globale, tridimensionnelle, de la distribution des ions ionosphériques a commencé en collaboration avec le département de mathéma-

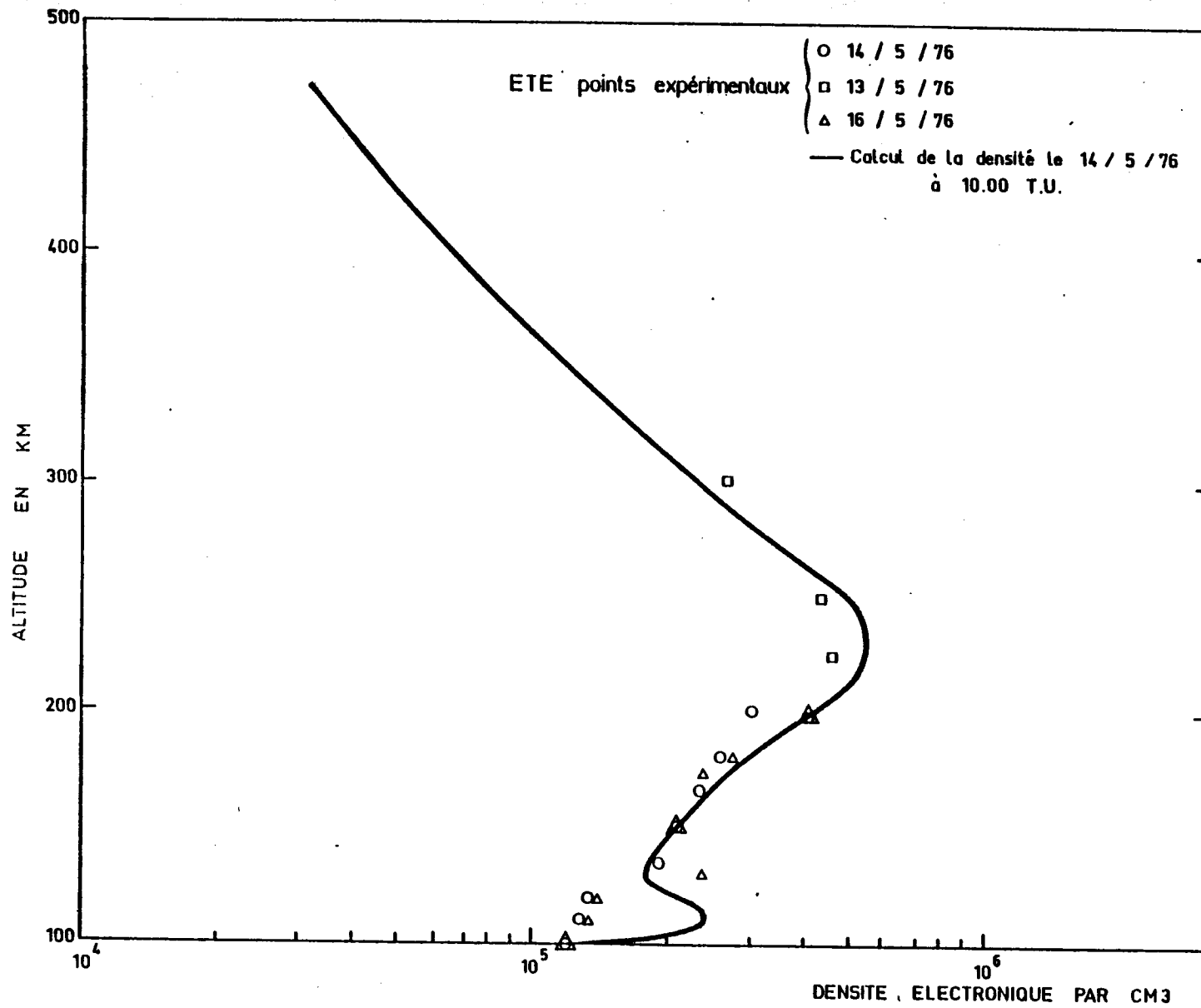


Fig.2.(V):

Comparaison du profil théorique de  $N_e$  issu du modèle unidimensionnel avec les données de Saint-Santin.



L'un des deux radars météorologiques RONSARD en opération sur le site de Korhogo (Côte d'Ivoire) pendant l'expérience COPT 81.



Représentation couleur codée de la réflectivité radar pendant l'observation d'une ligne de grains le 22 juin 1981 à 4 h 53 T.U. dans un rayon de 80 km autour de Korhogo (point rouge au centre de l'image). Les précipitations intenses (l'intensité croît du bleu au rouge), associées aux cellules convectives sont situées à l'avant du système qui se propage globalement d'Ouest en Est à environ 60 km/h en préservant sa forme générale.

tiques du CNET. Avec l'idée de tester le modèle sur les mesures de Saint-Santin, on s'est limité à quatre espèces ioniques, une dimension spatiale (l'altitude) et le temps. On a introduit dans le calcul numérique tous les processus physiques qui interviennent dans la formation de l'ionosphère des latitudes moyennes, avec quelques hypothèses restrictives mineures. C'est ainsi qu'on a considéré égales les vitesses des quatre espèces ioniques à l'exception de la vitesse due à la diffusion ambipolaire qu'on a pris en compte uniquement pour l'ion  $O^+$ .

Les processus physiques dont on a tenu compte interviennent sous forme de modèles (densité d'atmosphère neutre, flux solaire, température, etc.). Pour un même processus physique plusieurs modèles existent. Ils ont été testés.

Le choix de ces modèles ayant été arrêté, les résultats des calculs sont comparés aux mesures. La comparaison des profils calculés avec des profils de Saint-Santin montre un accord de 10 % à 15 % près (voir figure 2).

Une publication décrivant la méthode mathématique mise en oeuvre, les processus physiques responsables de la formation de l'ionosphère et montrant les résultats calculés et mesurés est en cours de rédaction et sera mise à la disposition d'utilisateurs. Elle constitue une première étape.

Il faut maintenant étendre la méthode à deux dimensions, pour pouvoir en particulier l'appliquer à l'ionosphère aurorale. Dans ce cas, certains phénomènes physiques ne sont pas aussi simples que pour le cas à une dimension.

L'effort correspondant a été mené, et on espère en 1982 atteindre une deuxième étape : mener à bien la résolution numérique des équations différentielles dépendant du temps et de deux dimensions suivant un méridien.

Le modèle uni-dimensionnel a été également appliqué à l'étude des effets de NO sur la région E. On a montré l'influence que peut avoir une quantité bien déterminée de NO dans la région E sur l'équilibre de la densité électronique et sa variation diurne (024).

Une analyse plus complète des mesures de densité obtenues à Nançay a confirmé ce résultat. Elle a aussi montré que la dissymétrie matin-soir de densité électronique n'est pas aussi systématique qu'il apparaît d'abord. En effet l'influence des vents neutres et du champ électrique qui entraînent les ions verticalement modifie la répartition de densité, certes dans des limites étroites (1 à 10 %) mais d'un ordre de grandeur qui est celui effectivement observé.

## **V.2 LA DYNAMO VENT SOLAIRE/MAGNETOSPHERE**

Les effets de l'interaction du vent solaire avec la magnétosphère sont pratiquement permanents à l'extérieur de la plasmopause, dans les régions externes de la magnétosphère et en zone aurorale. Ils sont également ressentis à l'intérieur de la plasmopause (en moyennes et basses latitudes ionosphériques) par le biais d'une large gamme de mécanismes de transferts d'énergie des hautes vers les basses latitudes (103). L'étude expérimentale de la dynamo vent solaire/magnétosphère est organisée le long de ce "chemin" de l'énergie, par l'étude de trois régions :

- l'ionosphère aurorale et la magnétosphère externe,
- les environs de la plasmopause,
- l'ionosphère des moyennes latitudes.

La richesse des données acquises a continué à nourrir une activité théorique sur la convection magnétosphérique qui a pour but de leur offrir un cadre d'interprétation physique cohérent et unitaire.

### **V.2.1 Etudes théoriques sur la convection magnétosphérique**

Elles ont pour but la compréhension des interactions entre plasmas magnétosphériques et ionosphériques, et de leurs effets sur la distribution du potentiel électrostatique de convection dans les régions dipolaires de la magnétosphère. En 1981 ces études ont été poursuivies et approfondies dans deux directions.

#### **a) L'étude de la convection à grande échelle**

Une étude entièrement analytique du profil du champ électrique de convection en zone aurorale est en voie d'achèvement. Elle montre que le modèle de convection de STERN-VOLLAND est dans sa forme simple incompatible avec les équations physiques du couplage ionosphère - magnétosphère, et aboutit à un modèle analytique modifié qui est, lui, solution de ces équations, tout en gardant la simplicité de paramétrisation des modèles STERN-VOLLAND. Une comparaison avec les mesures de champs électriques en zone aurorale produites par le radar de Millstone Hill a de plus montré un accord satisfaisant.

Dans une voie au contraire entièrement numérique, la modélisation de la dynamique des aurores diffuses par un système simple d'équations fluides a été achevée (401). Elle a permis de mettre en évidence que cette approche fluide est, au premier ordre, en bon accord avec les observations de la localisation et de l'intensité des aurores diffuses. Elle montre aussi que l'hypothèse de diffusion forte (implicitement utilisée dans cette modélisation) conduit à sous-estimer légèrement par rapport à la réalité le temps de vidage des tubes d'électrons du feuillet de plasma pendant leur convection vers le soleil.

Le système d'équations fluide développé a servi de base pour une première expérience numérique de couplage des équations de transport du plasma magnétosphérique avec les équations du circuit ionosphérique. Ce travail est en cours de réalisation grâce à une coopération avec l'INRIA et le département de mathématiques du CNET.

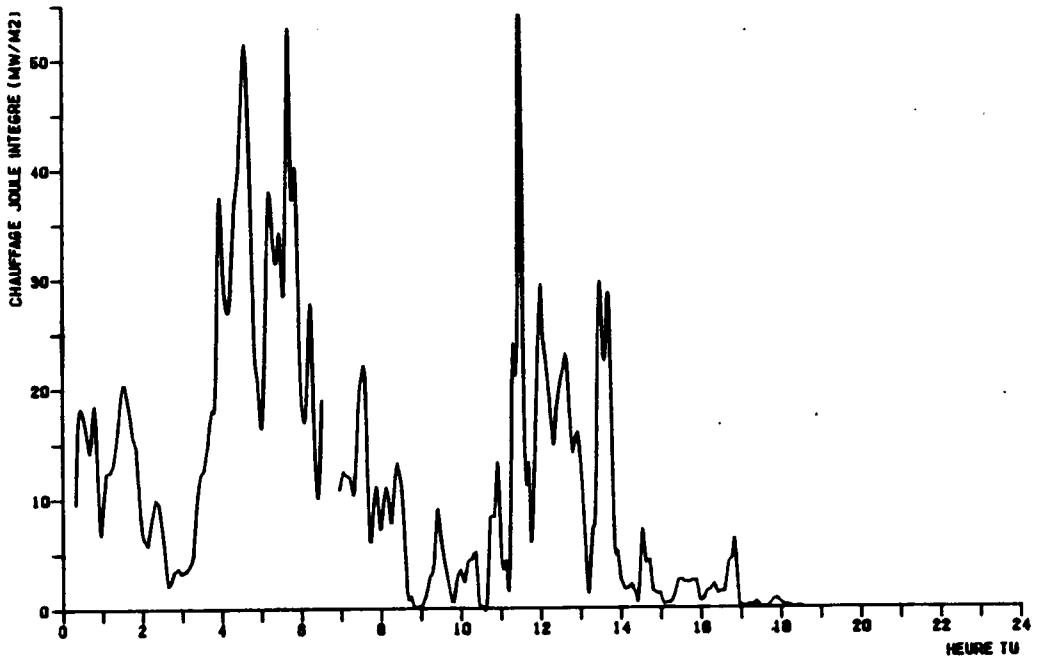
**b) L'étude de la convection à petite échelle**, qui vise essentiellement à comprendre les mécanismes de génération des régions d'accélération aurorales.

Un modèle cinétique de l'écoulement des ions chauds magnétosphériques à travers des lignes de force aurorales, est développé en collaboration avec R. PELLAT de l'Ecole Polytechnique. Il vise à étendre aux petites échelles (inférieures aux rayons de Larmor ioniques de la magnétosphère) le modèle d'"instabilité de feed-back" des arcs auroraux proposé par ATKINSON dans une approximation hydrodynamique.

A ces petites échelles, le temps fini de propagation de l'information électrique le long des lignes de force, sous forme d'ondes d'Alfven, entre source magnétosphérique et "charge" ionosphérique commence à jouer un rôle important dans leur éventuelle désadaptation qui est à l'origine de l'instabilité de feed-back, et peut-être des arcs auroraux. C'est pourquoi une étude de l'interaction électrodynamique entre Jupiter et son satellite Io a été commencée. Elle doit permettre de comprendre les relations existant entre la description ondulatoire (par superposition de réflexions multiples d'ondes d'Alfven) et la description "circuit continu" de cette interaction, les limites de ces deux descriptions, et d'aborder ultérieurement le problème du rôle que jouent les ondes d'Alfven dans la génération des régions d'accélération aurorales.



140478



140478

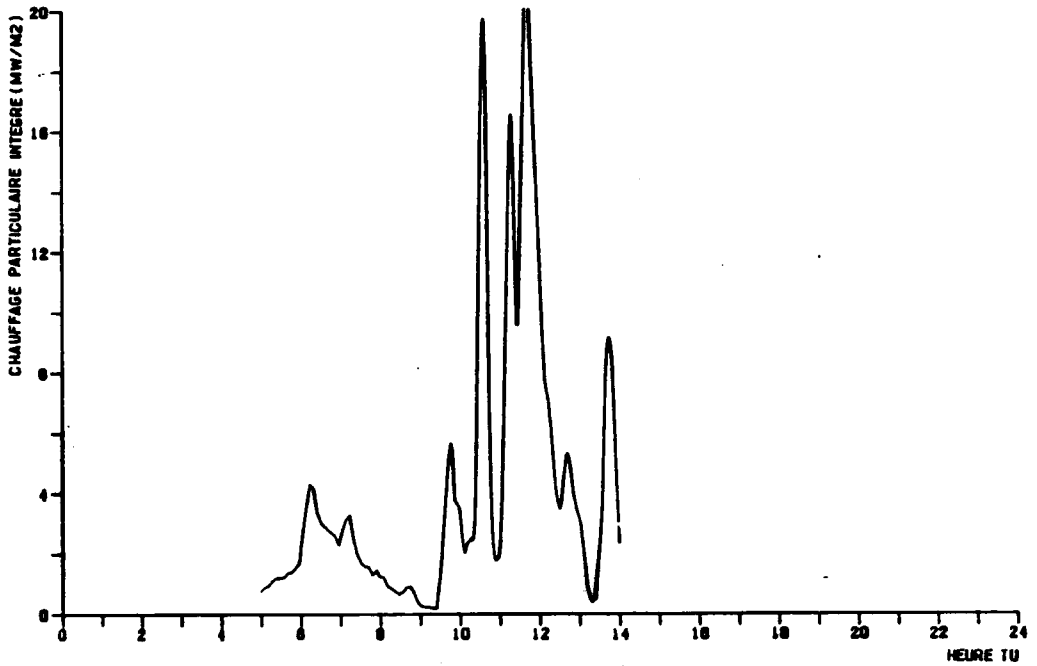


Fig.3- (V)

Distribution des profils de chauffage Joule et particulaire pendant l'orage d'avril 1978.

## **V.2.2 Etudes expérimentales de la convection magnétosphérique en région aurorale et dans le plan équatorial**

### **V.2.2.1 Mesures par radar dans l'ionosphère aurorale**

Une étude du bilan énergétique de la thermosphère aurorale pendant l'orage d'avril 1978, menée à l'aide des données du radar de Chatanika, a été achevée (405). Elle met en évidence (figure 3) l'extrême variabilité des deux sources de chauffage que sont le chauffage particulaire et le chauffage Joule, et le contraste de leurs distributions en temps local. Cette variabilité est aussi une variabilité dans l'altitude du maximum de dépôt d'énergie.

- Pour le chauffage particulaire, l'altitude du dépôt dépend de l'énergie des particules précipitées. On a montré que, cette dernière tendant à augmenter pendant les sous-orages, le dépôt se produisait alors à plus basse altitude.

- Pour le chauffage Joule, on a montré que l'altitude du dépôt peut être modulée de façon sensible par la variation en altitude du vent neutre. Une étude critique de la sensibilité de la méthode de détermination du profil Joule par radar incohérent a été menée à bien.

### **V.2.2.2 Dynamique de la plasmopause**

Les profils de densité électronique à l'orbite géostationnaire ont été utilisés conjointement aux résultats, soit d'expériences embarquées à bord du satellite GEOS 2, soit d'expériences au sol, pour l'étude des processus impliqués dans la dynamique de la plasmopause.

Les mesures de champs et de particules issues des seules expériences de GEOS 2 ont permis l'étude détaillée d'un événement caractéristique d'injection ou d'avancée de la couche de plasma sur le côté nuit de la plasmopause (513). L'événement consiste en une forte précipitation du système ionosphère - magnétosphère bien isolée et apparemment bien localisée aux environs de minuit en temps local. La localisation spatiale d'une zone où règne un champ électrique continu intense est attestée par la distribution en temps local, à la sortie de la plasmopause, de deux régions d'injections de particules énergétiques. L'une correspond à l'injection d'électrons, l'autre d'ions. Ces deux régions se recouvrent et leur partie commune coïncide exactement avec la zone

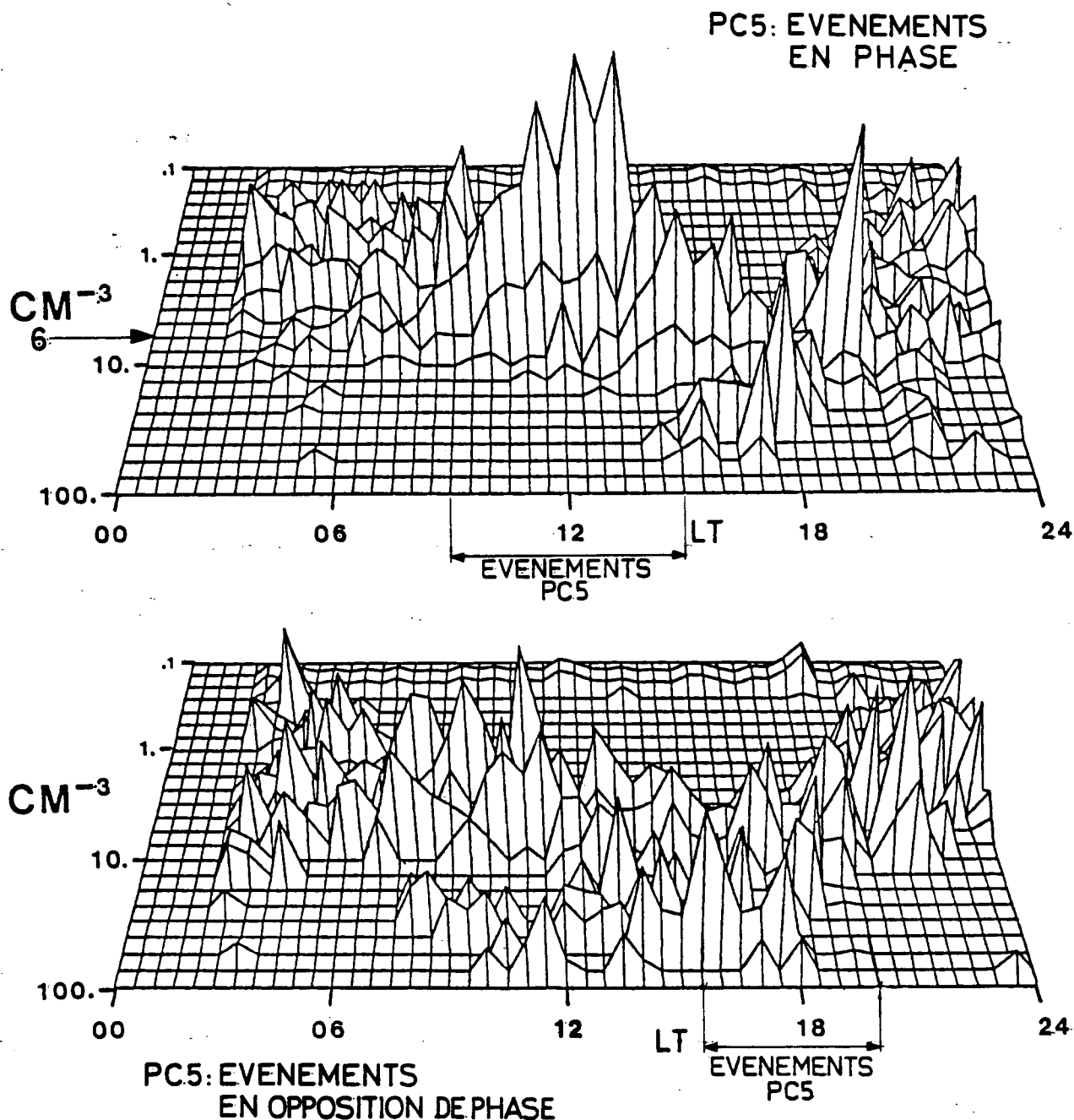


Fig.4 (V)

Distribution des valeurs de la densité électronique en fonction du Temps Local, mesurées par l'expérience GEOS 2 - S 301 (Sondeur à Relaxation) pour des jours comportant l'apparition simultanée de micropulsations du champ magnétique (gamme Pc5) et de variations périodiques du flux des particules énergétiques (expériences S 331 et S 321). Les deux figures correspondent à deux types différents de relations de phase entre champ magnétique et particules. Le relief tracé le long de la ligne de basse densité rend compte de la distribution du nombre de mesures de densité en fonction du Temps Local pour la série d'événements Pc5 considérée.

où règne le champ électrique. Lorsque le satellite quitte cette zone, des effets diamagnétiques laissent penser que le satellite pénètre dans la couche de plasma. Le satellite semble avoir traversé successivement la plasmopause et une zone de faible densité de plasma avant de pénétrer dans la couche de plasma.

Une seconde étude a été consacrée à l'analyse de micropulsations du champ géomagnétique dans la gamme de périodes de 150 à 600 secondes (Pc5). L'observation des micropulsations (expérience S 331, Frascati, Italie) accompagnées de modulations de même période des flux de particules énergétiques (ions et électrons d'énergie supérieure à 20 keV ; expérience S 321, Max Planck Institute, Lindau, RFA) a été corrélée aux mesures de densité électronique fournies par le Sondeur à Relaxation (216). L'étude statistique des fluctuations de concentration électronique pendant ces événements permet leur séparation en deux classes distinctes qui correspondent à deux types de relations de phase entre les oscillations du champ géomagnétique et celles des flux de particules. Des oscillations en phase apparaissent autour du midi local ; elles correspondent à une densité électronique stable, voisine de  $6 \text{ cm}^{-3}$ , cela pendant les quelques heures que durent les événements. A l'inverse, des oscillations en oppositions de phase apparaissent autour de 18 h TL ; elles correspondent à des concentrations typiquement plus élevées rencontrées dans l'excroissance plasmasphérique. Ces valeurs de la concentration sont très fluctuantes pendant la durée des événements. La figure 4 illustre ce résultat. Elle représente les deux distributions des valeurs de la concentration électronique en fonction du temps local au cours des journées où ces deux types d'événements Pc5 ont été observés. Ces résultats doivent être maintenant utilisés pour comprendre comment des situations aussi différentes peuvent s'accorder avec les théories existantes fondées sur la possibilité d'établissement d'ondes d'Alfvén stationnaires le long des lignes de forces magnétiques. En effet, la vitesse d'Alfvén, qui détermine la périodicité du phénomène d'oscillation, est fonction de la concentration du plasma.

L'utilisation conjointe des résultats du Sondeur à Relaxation de GEOS 2 et de ceux du sondeur auroral STARE a permis d'effectuer une troisième étude sur les relations qui existent entre la discontinuité de Harang de l'ionosphère aurorale et la limite Est de la plasmopause équatoriale au niveau de l'orbite géostationnaire (550). Les deux régions ont été corrélées avec la moyenne quotidienne des indices  $K_p$ . Il est apparu que la position de la discontinuité de Harang était un peu moins sensible à la valeur de l'indice  $K_p$  que la position du bord Est de la plasmopause vue par GEOS. Par ailleurs les positions en temps local des deux régions présentent entre elles une forte corrélation comme indiqué sur la figure 5. En outre la projection dans le plan

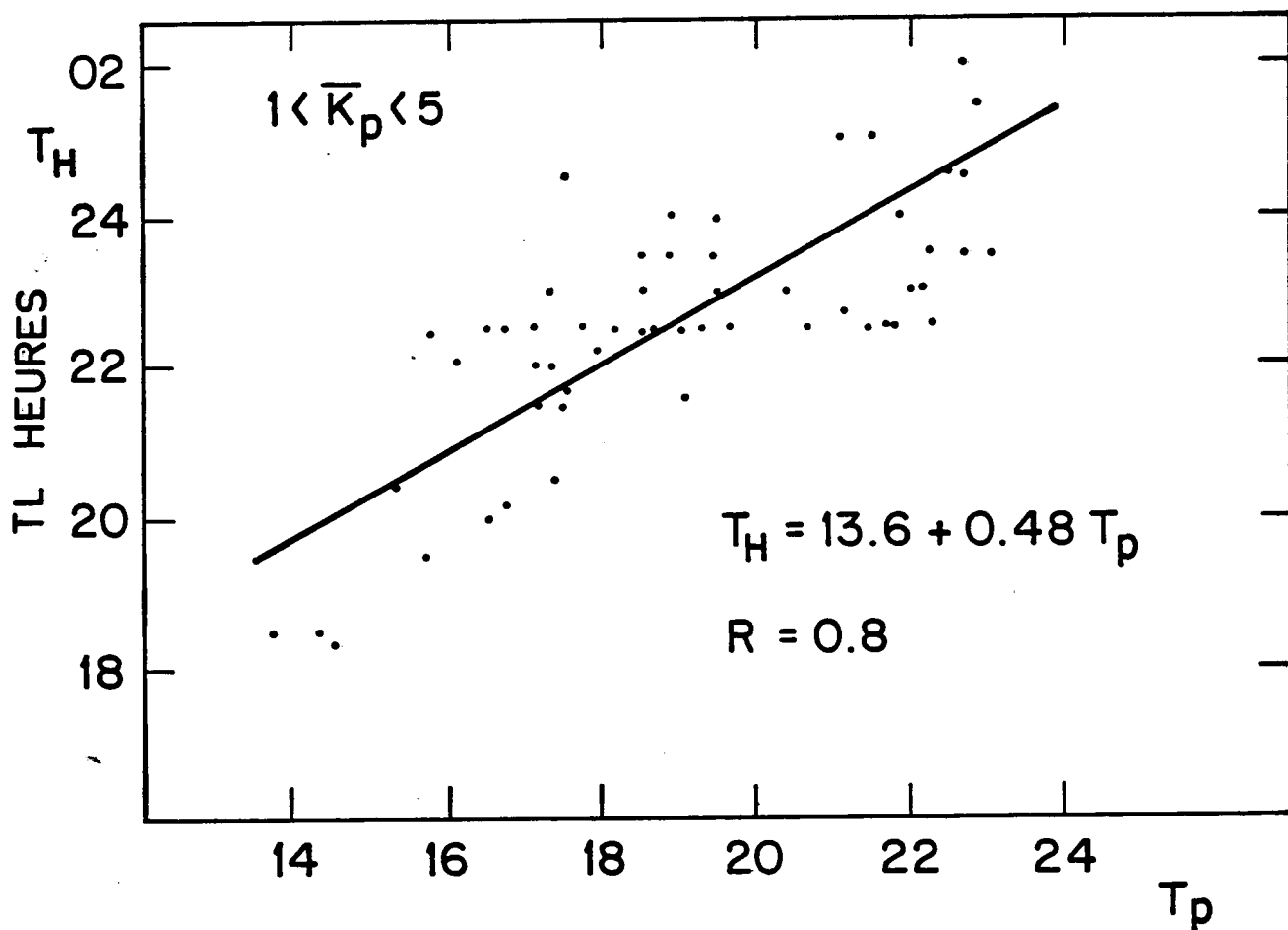


Fig. 5 (V)

Relation statistique entre la position en longitude de la discontinuité de Harang et la position du bord oriental de la plasmasphère à l'orbite géostationnaire. La comparaison cas par cas entre l'heure locale  $T_H$  d'apparition de la discontinuité de Harang dans le champ de vue du sondeur ionosphérique auroral STARE et l'heure de sortie  $T_p$  du satellite GEOS 2 de la plasmasphère est présentée sur la figure. Le coefficient de corrélation  $R$  élevé de la droite de régression des deux mesures indique une bonne relation linéaire entre la discontinuité de Harang et la position de l'excroissance plasmasphérique. Les mesures sont faites dans des conditions d'agitation magnétique modérée :  $1 < \bar{K}_p < 5$ .

équatorial de la discontinuité de Harang correspond à la limite de dérive des électrons énergétiques (énergie > 3 keV) tandis que le bord oriental de la plasmopause, au niveau de l'orbite géostationnaire, correspond à la projection de la limite vers les basses latitudes de la région aurorale.

### V.2.2.3 Convection magnétosphérique dans le plan équatorial

Les profils de concentration à l'orbite géostationnaire obtenus quotidiennement ont servi à une analyse statistique sur 128 jours consécutifs de la distribution du plasma (217). Chaque fois que cela était possible, les longitudes des traversées, vers l'intérieur et vers l'extérieur de l'excroissance plasmasphérique, ou "Bulge", ainsi que la valeur médiane de ces longitudes ont été déterminées. Elles définissent ce qu'on peut appeler la largeur et la position de cette excroissance. Les résultats montrent que la position de la plasmopause peut se situer aussi bien entre 12 h et 18 h TL (profils dits de classe A) qu'entre 18 h et 24 h TL (profils de classe B). Le gradient de concentration au bord Est de la plasmopause est plus accusé que celui du bord Ouest, sans doute à cause de la couche de plasma, du côté nuit. D'une manière générale, les profils sont plus réguliers et les densités plus fortes entre 00 et 18 h TL sur les profils de classe B. D'une manière générale les profils de classe A semblent correspondre à une activité magnétique croissante (phase principale d'un sous-orage); tandis que les profils de classe B correspondent à une activité magnétique décroissante (phase de recouvrement).

La caractérisation des profils par les deux paramètres largeur et position de l'excroissance plasmasphérique a permis une analyse des données en fonction de l'activité magnétique en faisant usage des indices  $K_p$ . Ainsi la décroissance de la largeur du "Bulge" avec l'agitation magnétique a été mise en évidence. L'aspect dynamique de l'évolution de la plasmopause a été étudié à partir des comparaisons jour à jour des concentrations pour des valeurs données de l'heure locale. Une très grande variabilité de la concentration aux environs du minuit local apparaît, contrastant avec une stabilité relative le matin. L'évolution de la concentration d'un jour sur l'autre est beaucoup plus sensible à la variation de l'activité magnétique entre 18 et 24 h TL qu'entre 12 et 18 h TL. Ainsi, en période d'activité croissante, la densité est fréquemment accrue en 24 h d'un facteur 10 avant 18 h TL et réduite d'un facteur 100 après 18 h TL. La comparaison des mesures du paramètre largeur du "Bulge", avec la valeur du même paramètre déduite d'un modèle simple de convection magnétosphérique (modèle dit en goutte d'eau) a permis une estimation de l'intensité du champ électrique de convection. La relation linéaire statistique liant la largeur du "Bulge" à

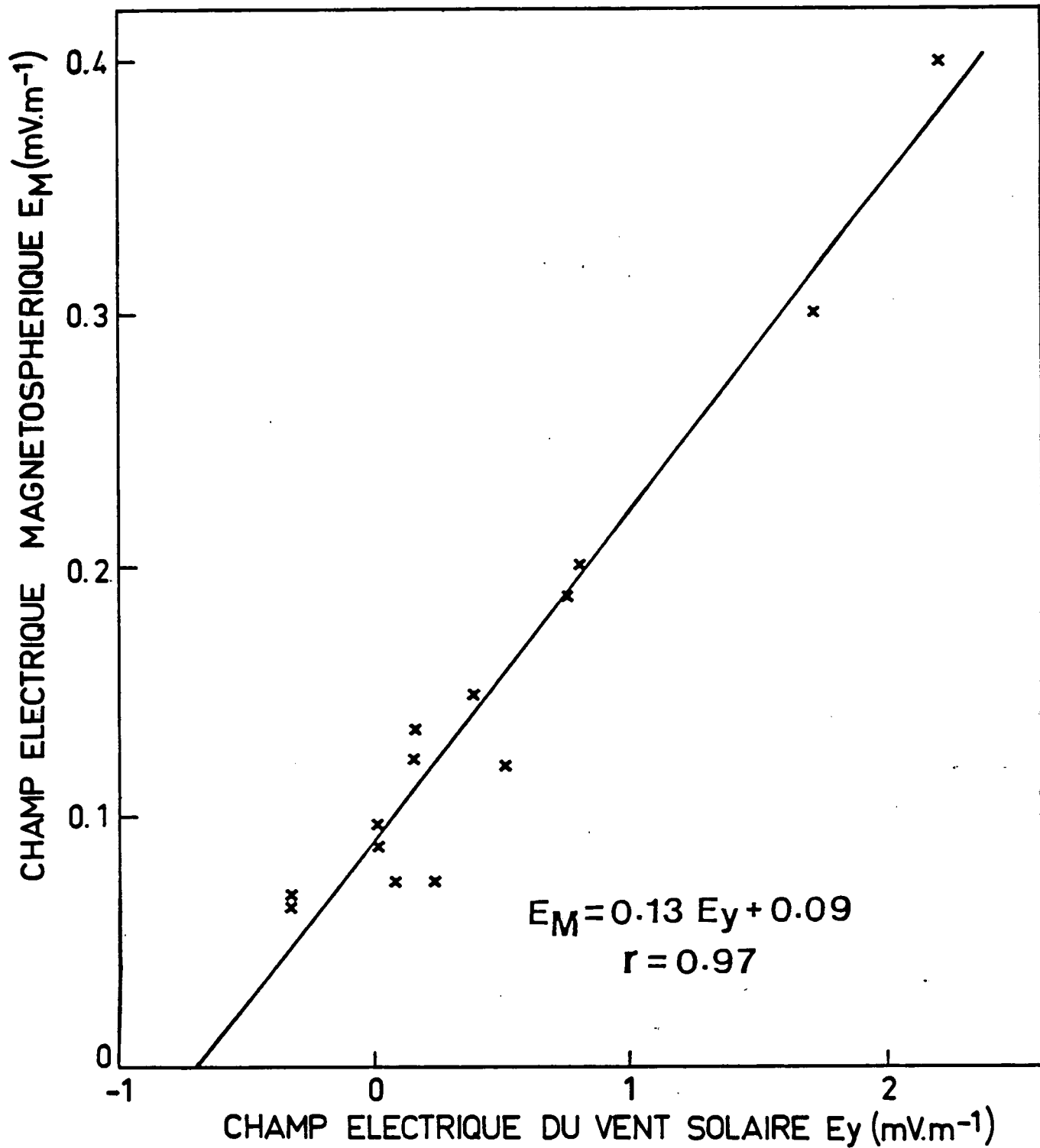


Fig. 6 (V)

Corrélation entre le champ électrique du vent solaire  $E_y$ , moyenné sur trois ou six heures, et le champ magnétosphérique de convection  $E_r$ , pour quatorze événements. La quantité  $r$  est le coefficient de corrélation pour un niveau de confiance de 99 %.

l'agitation magnétique conduit alors à une relation statistique entre l'intensité du champ de convection et l'activité magnétique mesurée par les indices  $K_p$ . Cette relation est en bon accord avec celles obtenues par des expériences précédentes fondées principalement sur des estimations indirectes à partir des caractéristiques de propagation des sifflements radioélectriques ou par des analyses théoriques de la trajectoire des particules chargées. Elle précise celle qui avait été obtenue l'an dernier en utilisant les données des satellites GEOS 1 et ISEE 1 (102).

#### **V.2.2.4 Transfert de champ électrique du vent solaire à la magnétosphère**

Les mesures de densité électronique issues des sondeurs à relaxation des satellites GEOS 1 et ISEE 1 ont permis d'étudier l'efficacité de la transmission du champ électrique du vent solaire à la magnétosphère interne (où il constitue le champ de convection) dans des situations d'agitation magnétique modérée (029). Les valeurs du champ électrique du vent solaire ont été obtenues à partir des données publiées de la vitesse du vent solaire, converties en champ électrique à l'aide de la loi bien connue de transformation des champs dans des repères en mouvement relatif de translation uniforme. Le champ magnétosphérique est celui obtenu par la méthode mentionnée au paragraphe précédent. Une étude cas par cas faite sur 14 couples de mesures met en évidence une relation linéaire entre les deux champs électriques. Le coefficient de transmission obtenu est de 0,13, comme indiqué sur la figure 6. Pour étendre ces résultats à une base de données plus large, une étude statistique a été menée en recherchant d'une part la relation statistique reliant les valeurs du champ électrique du vent solaire aux valeurs de l'indice magnétique  $K_m$ , et d'autre part une relation statistique linéaire liant la valeur du champ de convection au même indice, relation obtenue précédemment à partir des données des mêmes sondeurs à relaxation. Le rapprochement de ces deux relations conduit au même coefficient de transmission.

Une étude similaire a été faite dans des conditions de forte agitation magnétique ( $K_p > 5$ ). Le coefficient de transmission est dans ce cas beaucoup plus faible : 0,04 (548).



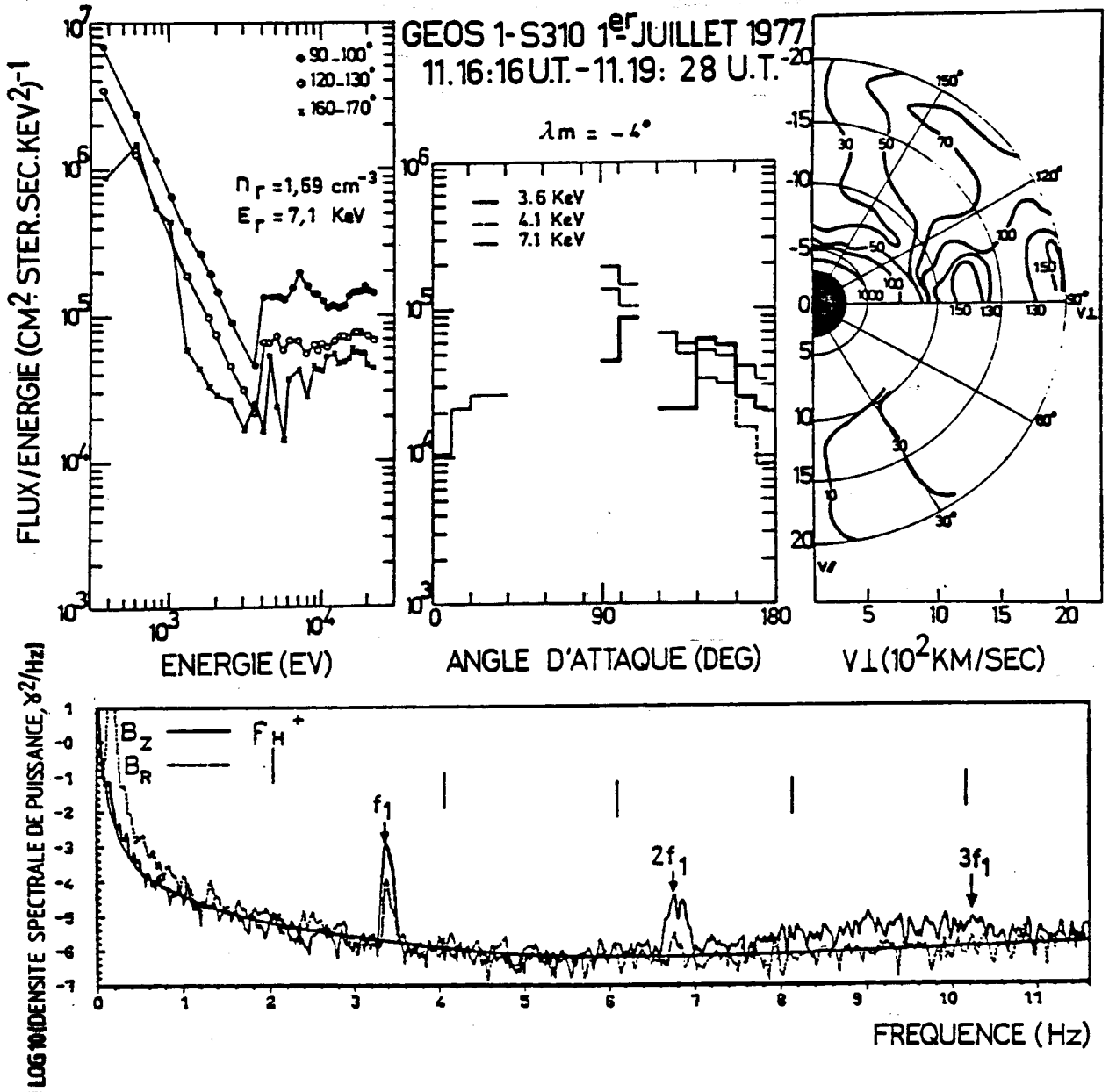


Fig.1 (VI)

Mécanisme de génération des ondes magnétosoniques. Dans la partie inférieure on a reporté le spectre d'ondes magnétosoniques observées à bord de GEOS-1. A noter l'harmonicité de cette émission et la polarisation alignée avec le champ magnétique statique  $B_0$  (la composante  $B_z$  parallèle à  $B_0$  est beaucoup plus intense que la composante  $B_R$  qui lui est perpendiculaire). Dans la partie supérieure, la fonction de distribution des protons mesurés simultanément est représentée en fonction de l'énergie ou de l'angle d'attaque, ou enfin dans le plan  $(v_{\perp}, v_{\parallel})$ . Sur cette dernière figure, en particulier, on voit qu'un ou peut-être deux anneaux sont obtenus pour  $v_{\parallel} \sim 0$  et  $v_{\perp} \sim 12 \times 10^3$  m/s et  $20 \times 10^3$  m/s.

## VI. RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE TERRESTRE ET PLANETAIRE

Le rapport précédent faisait état d'un certain nombre de thèmes de recherches qui s'étaient dégagés à partir de l'étude détaillée des données obtenues à partir des satellites GEOS 1 et 2 et ISEE 1. L'essentiel de l'activité au sein du département OPN (Ondes dans les Plasmas Naturels) a été orientée cette année vers la finalisation de ces études, qu'il s'agisse des études de transfert d'énergie non collisionnel entre les protons énergétiques et les ions  $\text{He}^+$  ou les électrons thermiques d'origine ionosphérique ou encore de l'étude (à partir des données de ISEE) des ondes "upstream". On reviendra plus loin sur les résultats originaux obtenus dans ces domaines comme dans les autres sujets amorçés l'an passé à savoir la dynamique des sous-orages magnétosphériques et le mécanisme qui conduit aux aurores diffuses.

Les données des sondeurs à relaxation de GEOS et ISEE ont été utilisées extensivement à OPN pour développer des études sur la densité et la dynamique du plasma magnétosphérique. Les résultats correspondants sont décrits par ailleurs, au chapitre "électrodynamique" (chapitre V) de ce même rapport, cependant que les études théoriques et/ou expérimentales qui concernent la physique de la mesure relative à ces mêmes sondeurs sont décrites dans un chapitre spécial intitulé "Résonances des plasmas" (chapitre VII).

### VI.1 ROLE DES ONDES D'ULTRA BASSE FREQUENCE DANS LES TRANSFERTS D'ENERGIE NON COLLISIONNELS AU SEIN DU PLASMA MAGNETOSPHERIQUE

L'un des apports importants du programme GEOS est la mise en évidence d'une turbulence d'Ultra Basse Fréquence très intense et l'analyse du rôle qu'elle joue dans la dynamique du plasma magnétosphérique.

. Au-dessus, ou au voisinage de la gyrofréquence des protons on observe, pourvu que le satellite soit proche de l'équateur magnétique (GEOS 2), des ondes, de structures harmoniques, qui se propagent dans le mode magnétosonique (compressionnel). Une étude du mécanisme de génération de ces ondes avait été entreprise en commun avec des expérimentateurs "particules" du Max Planck Institute (Lindau RFA) et du CESR (Toulouse). Le premier volet de cette étude a été finalisé (536), (220). Nous avons montré que ces ondes étaient en général émises par des "anneaux" de protons dont la fonction de distribution présente une pente positive (voir figure 1).

CLASSE III

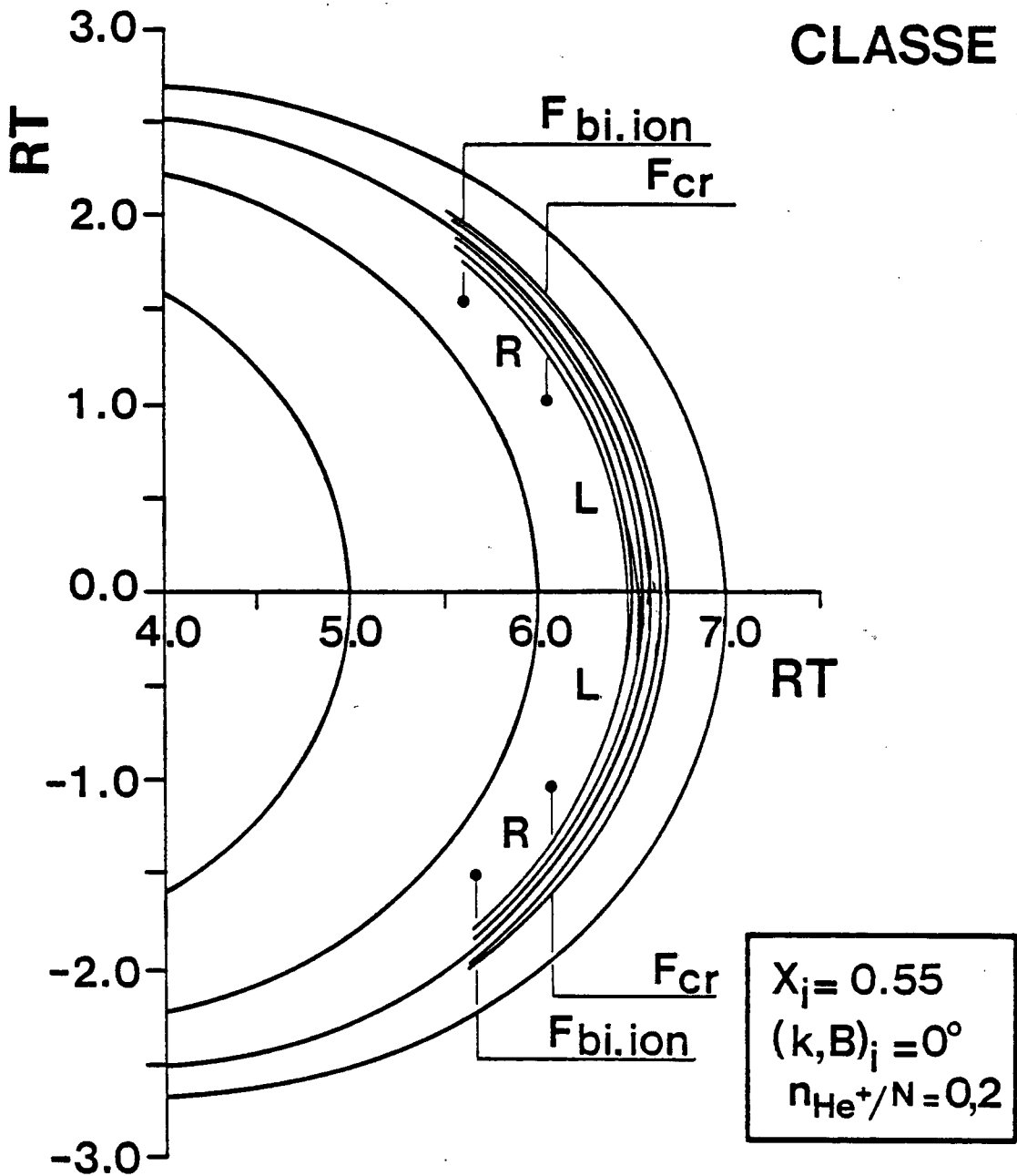


Fig. 2 (VI)

Tracé de rayon pour les ondes cyclotroniques ioniques (OCI) en présence d'ions  $\text{He}^+$ . Lorsqu'elles partent de l'équateur, dans le mode gauche, avec  $F > F_{cr}$  (fréquence de croisement à l'équateur entre mode droit et mode gauche introduite par les ions  $\text{He}^+$ ), les OCI sont guidées. Au moment où la fréquence de l'onde atteint la fréquence de croisement locale, la polarisation devient droite. Puis les ondes se réfléchissent à une latitude supérieure  $\Lambda \sim 10 - 20^\circ$  (suivant la fréquence de départ et le pourcentage d'Hélium). Il est clair que ces réflexions multiples permettent aux ondes de traverser de nombreuses fois la zone instable (la région proche de l'équateur) et conduisent à de fortes amplifications.

. A plus basse fréquence, autour de la gyrofréquence de l'ion  $\text{He}^+$ , on observe des ondes cyclotroniques ioniques (OCI) qui se propagent dans le mode torsionnel. L'étude détaillée des caractéristiques spectrales de ces ondes et leur lien avec les ions  $\text{He}^+$  et les protons énergétiques a fait l'objet d'une publication et de deux communications (030), (214), (213). Ce travail dont les résultats préliminaires avaient été décrits dans le rapport d'activité de l'an dernier, a déclenché toute une série de nouvelles études.

Dans le rapport de l'an dernier on soulignait que si les ions  $\text{He}^+$  jouaient un rôle de catalyseur, en retour ils étaient chauffés par l'intermédiaire des OCI (Ondes Cyclotroniques Ioniques), aux dépens des protons énergétiques. Le caractère universel de ce mécanisme d'échange entre plusieurs populations de particules a été étudié dans le cadre d'une théorie générale des relations entre processus d'amplification des ondes et de diffusion des particules dans des plasmas à plusieurs composantes ioniques ou électroniques (012).

Le rôle de catalyseur joué par les ions  $\text{He}^+$  a pu en particulier être compris grâce aux tracés de rayon mis en oeuvre avec succès par un étudiant de 3ème cycle (406). Il a été montré que la présence d'ions  $\text{He}^+$  minoritaires impliquait l'existence de miroirs pour les ondes OCI (cf. figure 2); l'instabilité est alors analogue à une instabilité absolue. En outre, il a été montré que l'accélération des ions  $\text{He}^+$  résultait d'un processus cohérent tel que le piégeage des ions  $\text{He}^+$  dans l'onde cyclotronique ionique (539), (231), (232).

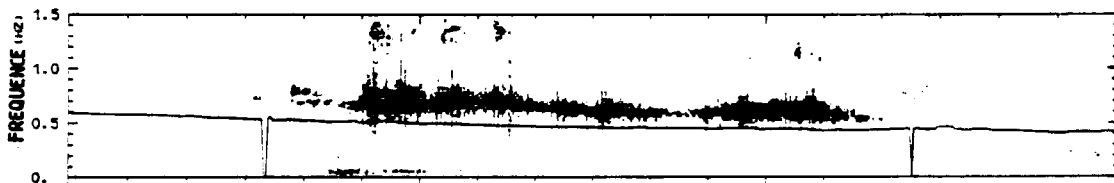
Par ailleurs, nous avons étayé sur le plan théorique et expérimental l'idée selon laquelle les électrons (initialement) thermiques étaient accélérés par les OCI lorsque celles-ci approchaient le cône de résonance. Le travail expérimental, poursuivi avec les chercheurs de l'Institut Mullard à Dorking (G.B.) vient d'être soumis pour publication (534). La partie théorique (accélération par piégeage dans une onde monochromatique) est pratiquement rédigée. Une fois accélérés, ces électrons sont susceptibles d'émettre des ondes d'extrêmement basse fréquence modulées. Ces résultats permettent d'interpréter le phénomène observé l'an dernier, selon lequel les OCI suffisamment intenses ( $\sim 0.2 \gamma^2 \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ ) étaient presque toujours associées à des ondes électrostatiques EBF (15-500 Hz) (009).

L'ensemble de ces travaux, ou des recherches annexes qu'ils ont suscités, a fait l'objet de plusieurs articles ou communications (108), (516), (535), (206), (236), (227), (212) et de deux exposés de synthèse invités au Symposium IAGA d'Edimbourg (229), (230).

14 / 8 / 1977

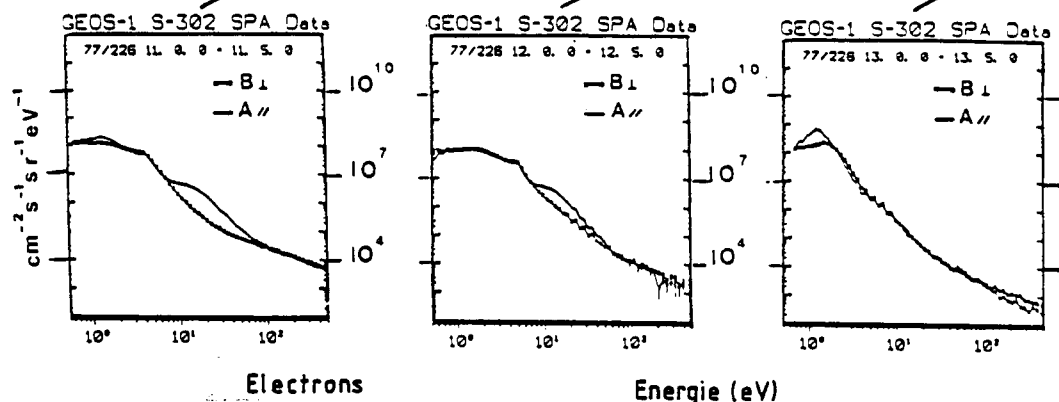
GEOS-1/S300

BL



THETA (°)	12.0	17.1	21.3	25.4	27.1	29.7	34.0
LATITUDE (°)	6.9	9.1	11.0	12.7	14.3	15.7	17.5
DISTANCE (R <sub>E</sub> )	5.97	6.22	6.60	6.81	6.94	7.00	7.00
TEMPS LOCAL	11.39	11.58	12.15	12.30	12.45	13.01	13.16
T.U.	10.00		11.00		12.00		13.00

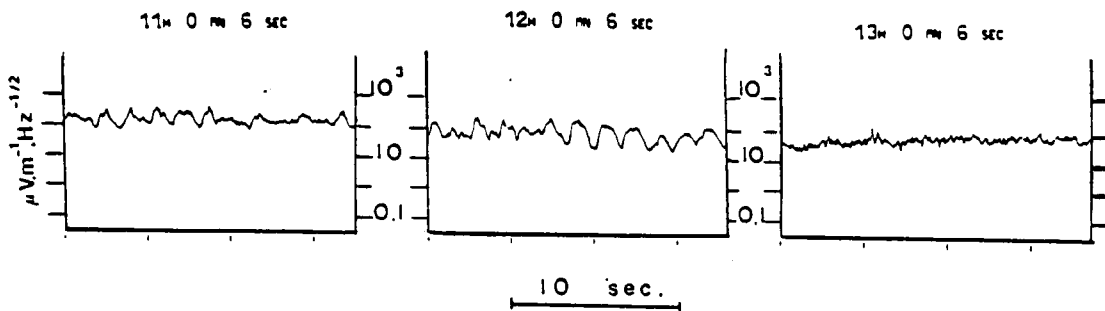
Flux différentiel



Electrons

Energie (eV)

Ey



Enveloppe des EBF (15-450Hz)

Fig 3 - (VI)

Accélération par les ondes cyclotroniques ioniques des électrons le long du champ magnétique terrestre. Dans la partie supérieure on a représenté le spectrogramme des OCI. Lorsque les OCI ont une intensité suffisante, on constate que les électrons sont accélérés le long du champ (A<sub>||</sub>) alors que perpendiculairement à celui-ci (B<sub>⊥</sub>) leur flux est inchangé. L'enveloppe d'ondes électrostatiques EBF observées simultanément (à beaucoup plus haute fréquence, entre 15 et 450 Hz) est représentée dans la partie basse de la figure ; on constate que cette enveloppe est modulée à la fréquence des OCI quand celles-ci sont présentes et intenses (cas a et b), et quand, par conséquent, les électrons thermiques sont accélérés le long du champ magnétique. En revanche, lorsque les OCI ont disparu (cas c) les ondes EBF voient leur modulation disparaître et leur intensité diminuer. De même, on remarque la disparition de l'anisotropie parallèle pour les électrons d'énergie suprathermique (~10 - 50 eV).

Signalons enfin que le rôle potentiel de l'échange de charge entre protons énergétiques et hydrogène neutre sur la régénérescence de l'anisotropie des fonctions de distribution (et par conséquent sur l'amplitude de l'amplification des ondes) a été étudié (025), (237).

Dans toutes ces études sur les ondes électrostatiques -qu'elles aient trait à la magnétosphère ou au vent solaire- on s'est servi, au moins comme élément de départ ou de contrôle, de la détermination de la densité électronique par la sonde à relaxation dont le fonctionnement a été étudié de façon critique et pour laquelle des procédures automatiques de reconnaissance des résonances ont été mises au point (voir chapitre "Résonances des plasmas").

## VI.2 ROLE DES COURANTS ALIGNES DANS LA DYNAMIQUE DU FEUILLET DE PLASMA

Le terme de "feuillet de plasma" décrit le réservoir de plasma énergétique qui est stocké principalement dans la région proche de la couche neutre et qui, lors des sous-orages magnétosphériques pénètre vers l'intérieur. Lors de ces périodes perturbées, la géométrie des lignes de force du champ magnétique terrestre est d'abord étiré vers la queue magnétosphérique et revient brusquement vers une configuration plus proche du dipôle. Lors de ces processus le plasma est accéléré et injecté vers l'intérieur. L'étude, à partir de l'expérience UBF de la dynamique des tubes de courants, que cette expérience permet de détecter, a permis d'obtenir des résultats intéressants. Deux types de signatures ont été identifiées : celles qui correspondent à une période explosive au cours de laquelle le champ magnétique redevient dipolaire et celles qui correspondent à des mouvements du feuillet de plasma. Dans le premier cas les tubes de courants se déplacent avec la vitesse  $v = \vec{E} \wedge \vec{B} / B^2$  calculée à partir du champ électrique mesuré au même instant ; dans le second cas le mouvement des tubes de courants est plutôt radial alors que le produit vectoriel  $\vec{E} \wedge \vec{B}$  pointe dans une direction plutôt azymuthale. Ce dernier cas semble correspondre à des mouvements vers la terre du gradient du feuillet de plasma.

Le traitement complexe des données magnétiques UBF et des données électriques ("DC") a permis de mettre en évidence ces signatures magnétiques de courants localisés dont l'existence dans le plan équatorial de la magnétosphère n'avait pas encore été établie. Une étude théorique est engagée pour mettre à profit ces résultats expérimentaux. Les problèmes liés à la transition entre plasmas de températures ou de densités différentes (plasmasphère - feuillet de plasma) ont déjà fait l'objet d'études qui sont décrites par ailleurs (voir chapitre V).

### **VI.3 ETUDE DES REGIONS FRONTIERES**

Le rapport de prospective, rédigé à l'occasion du colloque que le CNES a organisé en septembre 1981 aux Arcs, indiquait dans sa conclusion qu'il fallait accorder une priorité à l'étude des régions frontières : magnétopause, onde de choc et queue magnétosphérique. Les études en cours à l'aide en particulier des satellites ISEE 1, 2 et 3 sont bien adaptées à la réalisation de cet objectif.

En particulier les études qui avaient été engagées sur les ondes naturelles observées en amont du choc de la Terre ont été poursuivies (208). Notons cependant qu'il subsiste un désaccord important en ce qui concerne l'origine de ces émissions. Nos mesures semblent devoir être interprétées en terme de rayonnement incohérent par les électrons réfléchis par le choc, tandis que nos collègues américains continuent à interpréter par des processus de cascade turbulente les mêmes mesures. Seule l'identification, à ce jour hypothétique, d'une inversion de population dans la distribution des électrons réfléchis permettrait de conclure. En tout état de cause les champs relativement faibles observés paraissent difficilement compatibles avec des processus fortement non linéaires de cascade.

Notons également que nous avons démarré, sur la base des données de GEOS, une étude sur les processus de reconnexion magnétique qui semblent se produire au "nez" de la magnétopause. Cette étude s'appuie sur les mesures de tubes de courants et de turbulence qui ont été réalisées lors des traversées de la magnétopause par les satellites GEOS 1 et 2.

L'étude des régions frontières a également fait l'objet d'un investissement important au plan de la modélisation, qu'il s'agisse de simulations numériques des doubles couches des régions aurorales ou de l'étude théorique des mécanismes de reconnexion dans la queue magnétosphérique (529). Ces deux types de travaux sont entrepris en liaison avec des chercheurs du Centre de Physique Théorique de l'Ecole Polytechnique.

### **VI.4 ROLE DES ONDES ELECTROSTATIQUES DE HAUTE FREQUENCE**

Les études de l'an dernier avaient montré que les émissions électrostatiques excitées par la sonde à relaxation pouvaient être interprétées si l'on admettait l'existence de deux (au moins) populations d'électrons de température différentes. La finalité de cette étude était de déterminer la fréquence exacte des émissions

naturelles les plus intenses, par rapport aux fréquences caractéristiques du plasma. Une étude statistique sur les propriétés de ces ondes intenses a été entreprise à partir des données du satellite GEOS 2. Outre la description morphologique de ces émissions naturelles il s'agissait de savoir si la diffusion en angle d'attaque qui est provoquée par ces ondes, pouvait rendre compte des aurores diffuses observées en région aurorale. Ce rôle était d'ailleurs suggéré par une étude de modélisation récemment effectuée au département HMA (D. FONTAINE). Au stade actuel de notre recherche, il semble que ce mécanisme soit effectivement lié aux ondes électrostatiques, néanmoins les intensités mesurées pour la turbulence électrostatique sont marginales par rapport à ce processus.

## VI.5 RAYONNEMENT RADIOELECTRIQUE PLANETAIRE

Grâce aux observations de rayonnement électromagnétique de type "continuum non thermique" effectuées simultanément à bord de GEOS et ISEE, on peut localiser la source de cette émission. Deux exemples de rayonnement continuum respectivement piégé (par une irrégularité de densité), et non piégé, sont présentés sur la figure 4. L'origine de ce continuum n'est pas éclaircie, mais tout laisse à penser que ce rayonnement est engendré sous forme d'ondes électrostatiques au voisinage du gradient de la plasmopause. Une étude théorique de la transition entre mode électrostatique et mode électromagnétique au voisinage de tels gradients a été menée à bien (528). A plus haute fréquence, un rayonnement électromagnétique très intense est émis dans la région aurorale. Ce rayonnement correspond à la relaxation partielle de l'énergie libre des électrons auroraux.

Les autres planètes magnétisées : Jupiter et Saturne sont également de puissants émetteurs radio. Une étude théorique du processus d'émission de ce rayonnement a été effectuée. Le mécanisme proposé est l'instabilité Maser Synchrotron pour lequel l'effet relativiste sur la gyrofréquence électronique permet au mode extraordinaire d'être résonant avec les électrons du faisceau auroral, au-dessus de la coupure de ce mode.

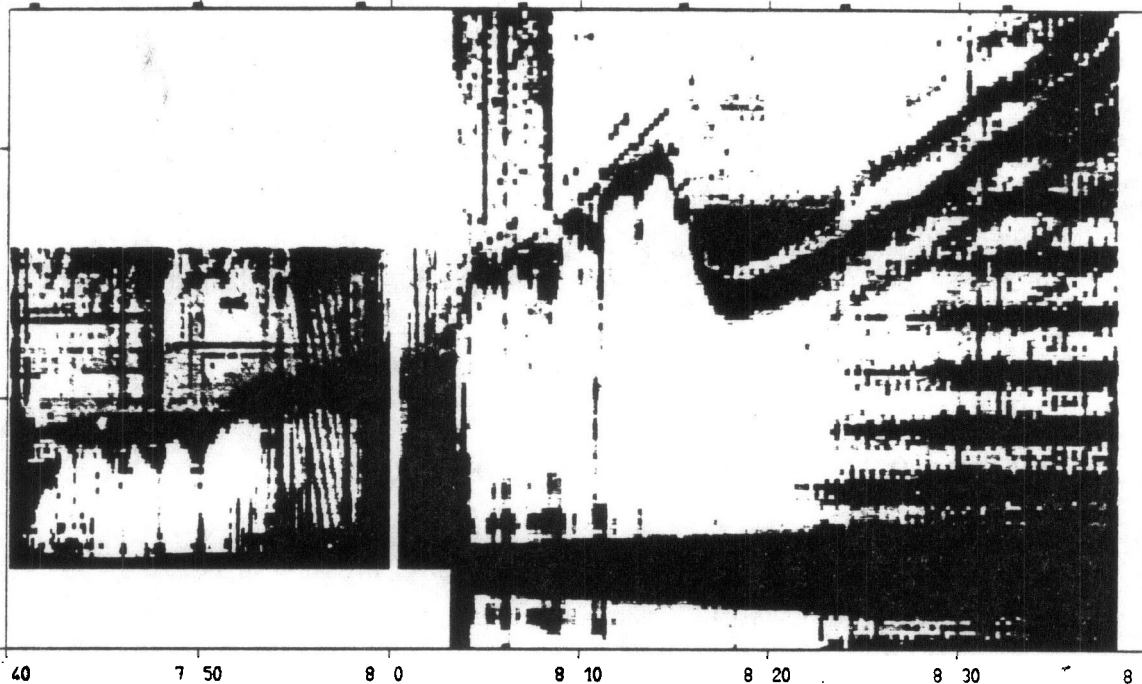
Signalons enfin une étude détaillée (521) sur le processus d'émission à distance par les électrons d'un faisceau de faible extension radiale (expérience ARAKS).

Ces deux derniers travaux ont été réalisés en collaboration avec des chercheurs de l'Ecole Polytechnique, Centre de Physique Théorique.



ISEE 1 D 88 78/3 /29 L 0. FLT 3.48 GFL -3.4 GSE -2.7 -3.5 0.4

LBR  
125 MS  
8 MS  
64 KZ  
NON  
400 KZ



ISEE 1 D 2 78/1 /2 L 9.2 FLT 7.90 GFL -3.4 GSE 4.0 -7.7 3.1

LBR  
125 MS  
8 MS  
64 KZ  
NON  
400 KZ

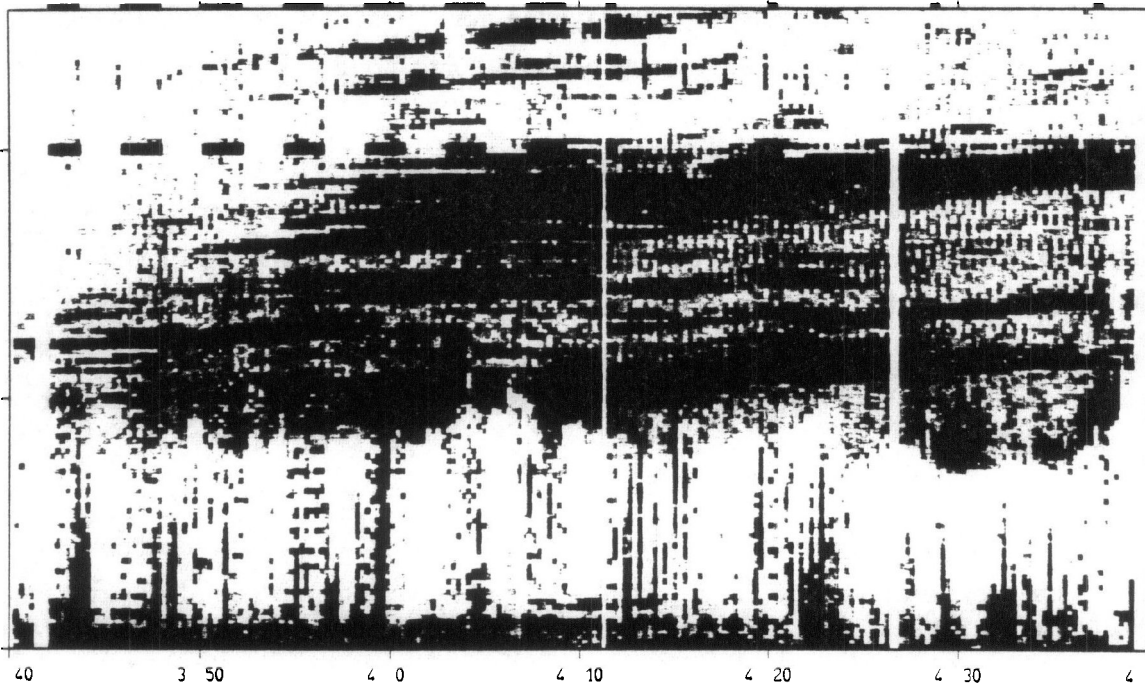


Fig. 4 (VI)

Spectrogrammes dynamiques des données du sondeur à relaxation embarqué à bord du satellite ISEE. Sur le spectre du haut (respectivement du bas), l'échelle de fréquence est linéaire de 0 à 350 kHz (resp. 50 kHz). Le niveau de noircissement maximum est 35 dB (resp. 60 dB) au-dessus de  $10^{-9} \text{ V.m}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ , les niveaux de gris successifs étant séparés de 3 dB (resp. 4 dB).

En haut : exemple de "continuum" piégé dans un trou de densité proche de la plasmopause, observé entre 8 h 14 et 8 h 32. La fréquence de coupure basse du continuum, au voisinage de 200 kHz, est nettement visible au-dessus du bruit naturel à bande étroite situé à la fréquence hybride haute. La différence de fréquence correspond à l'écart attendu entre la fréquence de coupure du mode extraordinaire et la fréquence hybride haute, montrant que, pour le cas étudié, le continuum se propage dans le mode extraordinaire.

En bas : exemple de "continuum" non piégé. Son spectre contient des structures fines dont la fréquence évolue à l'échelle de la dizaine de minutes. Une analyse détaillée de ces raies montre qu'elles sont très étroites en fréquence (quelques dizaines de Hertz). Ceci montre que le mécanisme qui émet ce bruit est très sélectif en fréquence. Loin de la source, les différentes raies sont observées simultanément et si elles sont suffisamment nombreuses, on observe un spectre continu.

## VI.6 CONCLUSION

Comme on l'a souligné d'emblée, en 1981 nous avons essentiellement finalisé des études entreprises sur la base de données acquises à bord de GEOS et ISEE. En parallèle nous avons commencé la préparation des expériences futures. En particulier nous poursuivons avec nos collègues scandinaves la mise au point de l'expérience ondes du satellite VIKING qui doit traverser la discontinuité aurorale à haute altitude. Par ailleurs nous nous sommes engagés dans la définition du dépouillement de l'expérience ISPM. Cette expérience élargira nos thèmes d'études à l'exploration du vent solaire hors du plan de l'écliptique. L'expérience Galiléo à laquelle nous participerons ouvre le champ à des études de planétologie. Enfin, conformément aux recommandations issues du colloque des Arcs nous avons commencé un effort de réflexion pour définir le projet ESSAIM. Il s'agit d'un essaim de quelques petits satellites simples, idéalement quatre satellites formant un trièdre, destinés à l'étude, par des corrélations spatiales et temporelles, des régions frontières telles que l'onde de choc de la terre, la magnétopause et la queue magnétosphérique.

En résumé, nous avons tiré un excellent parti de l'expérience GEOS qui a permis en particulier de mieux comprendre le rôle des ondes dans les transferts énergétiques entre particules ainsi que certains processus des sous-orages magnétosphériques. Nous nous tournons maintenant vers des sujets différents : la dynamique des régions aurorales, l'étude de la reconnexion magnétique et des chocs et, enfin des études exploratoires du vent solaire hors de l'écliptique et dans la magnétosphère Jovienne.

## VII. RESONANCES DES PLASMAS

La détermination "in situ" des paramètres caractéristiques des plasmas ionosphériques et magnétosphériques par des méthodes actives d'excitation des résonances constitue depuis longtemps un des domaines d'activités du CRPE, tant à Issy-les-Moulineaux qu'à Orléans. Deux techniques complémentaires de mesure ont été développées : le Sondage à Relaxation (Issy-les-Moulineaux) et le sondage par sonde à Impédance Mutuelle (Orléans). Ces techniques permettent une précision et une fiabilité des mesures de densité et de température électronique qui ne peuvent être atteintes à l'aide de détecteurs de particules, compte tenu de phénomènes perturbateurs liés aux photoélectrons ou à la charge des satellites.

Les données ainsi obtenues ont déjà permis d'obtenir des résultats de grand intérêt. En outre, les mesures de densité et de température électronique sont indispensables pour toutes les études géophysiques, qu'il s'agisse de processus macroscopiques comme la dynamique de la plasmopause (voir le chapitre "convection") ou microscopiques comme les interactions ondes-particules (voir le chapitre "rayonnement électromagnétique terrestre et planétaire").

De fait une part de nos activités a consisté à fournir à la communauté scientifique le maximum de données géophysiques obtenues grâce aux Sondeurs à Relaxation des satellites GEOS et ISEE. D'une part, ceci s'est traduit par l'implantation de certaines données dans les banques mondiales et européennes créées pour des événements particuliers (CDAW - Coordinated Data Analysis Workshop, 5<sup>th</sup> IMS Workshop in Northern Europe). D'autre part, les données de GEOS ont été utilisées conjointement avec celles d'autres instruments. On peut citer, en particulier, la mise à la disposition d'une équipe du CRC (Communication Research Center) d'Ottawa, Canada, du Sondeur à Relaxation de GEOS 2 pour tenter de détecter des conduits d'ionisation, en conjugaison avec des expériences de propagation embarquées sur le satellite canadien ISIS, l'utilisation des données de GEOS en liaison avec les expériences embarquées sur les satellites SCATHA et JIKKIKEN, ou encore avec le système de radars auroraux STARE.

Une autre part de nos activités a consisté à rendre opérationnels les systèmes de reconnaissance automatique des résonances de plasma de façon à automatiser les dépouillements.

Par ailleurs, un effort a été fait pour étendre les possibilités de diagnostic à la grande diversité des paramètres de plasmas rencontrés dans le vent solaire, la magnétosphère ou l'ionosphère aurorale. En particulier nous avons essayé de rendre compte de l'existence de dérives du plasma ou de distributions non Maxwelliennes ; toutefois dans ces domaines, il est nécessaire de poursuivre des recherches en physique de la mesure.

Enfin, en amont de toutes ces études, des travaux ont été consacrés à l'étude théorique du rayonnement d'une antenne ponctuelle dans un plasma et de la propagation des ondes au voisinage des résonances du plasma.

## VII.1 RECONNAISSANCE DES RESONANCES

Parmi l'ensemble des signaux reçus par les Sondeurs à Relaxation, seul un petit nombre correspond à une réponse résonante du plasma. Il est donc nécessaire de les reconnaître. Cette tâche est particulièrement difficile pour le satellite ISEE 1, d'une part parce qu'il traverse des régions où le plasma possède des caractéristiques très différentes, depuis la plasmasphère interne jusqu'au vent solaire, d'autre part parce qu'un très petit nombre d'informations est transmis au sol pour chaque palier de sondage.

Des programmes de reconnaissance des résonances ont été mis au point (028). Ils sont actuellement opérationnels pour les données correspondant au vent solaire et à la magnétogaine. Dans ces régions la seule résonance à la fréquence de plasma est observée. Elle est identifiée en utilisant une reconnaissance de formes du type "analyse discriminante de SEBESTYEN". L'efficacité de cette méthode repose sur la constitution d'un échantillon d'apprentissage bien représentatif et suffisamment fourni. Un test sur un ensemble de plus de 1 000 résonances donne le taux de réussite remarquable de 90 % (figure 1).

Après enrichissement de l'échantillon le programme est passé en phase d'exploitation. Les résultats obtenus sur plus d'un an de données ne montrent aucune dérive majeure des caractéristiques des résonances, ce qui confirme que l'échantillon d'apprentissage est bien représentatif.

Dans la magnétogaine, sur un ensemble de 1 300 résonances étudiées, le taux de reconnaissances réussies s'élève à 88 %.

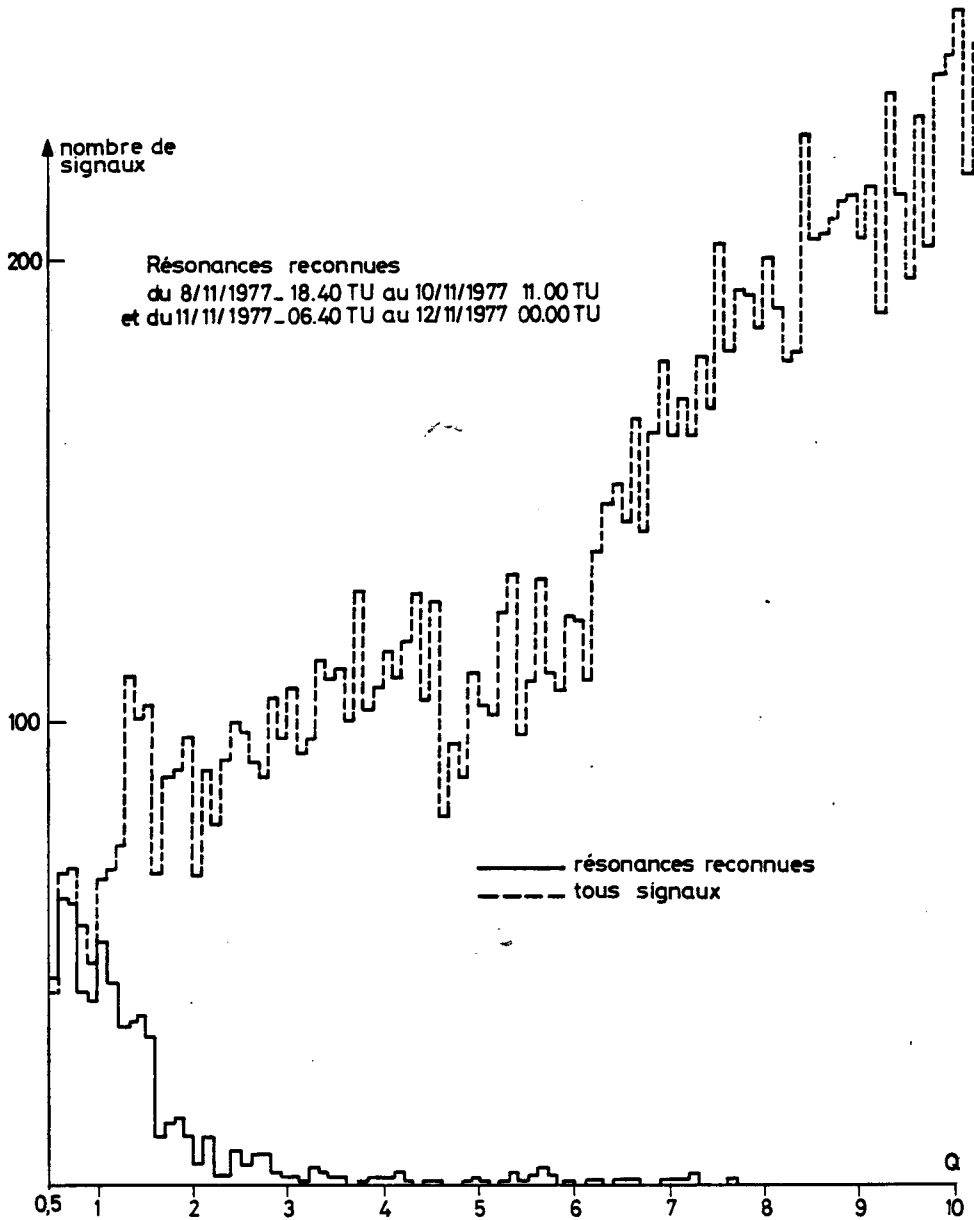


Fig.1(VII)

### Reconnaissance automatique des résonances

La figure montre l'histogramme d'un échantillon de plus de 1 000 signaux classés en fonction d'un facteur de qualité  $Q$ . Les signaux résonants peuvent être représentés par un point dans l'espace multidimensionnel défini par un ensemble de paramètres. Les vraies résonances forment un nuage bien localisé dans cet espace. Le facteur  $Q$  d'un élément à classer sera le rapport de la distance moyenne de l'élément à tous ceux du groupe des résonances et de la distance moyenne des éléments de ce groupe. Ce facteur est en moyenne égal à 1 pour les individus du groupe des résonances et sa valeur minimum est 0,5. Plus  $Q$  sera petit, plus grande sera la probabilité pour l'élément d'appartenir au groupe des résonances. La figure représente l'histogramme des individus du groupe de résonances comparé à celui de l'ensemble des individus à classer.

Dans la magnétosphère, le nombre des résonances observées est beaucoup plus élevé : à la résonance plasma il faut ajouter principalement les harmoniques de la gyrofréquence électronique " $nf_{ce}$ " et la série quasi harmonique des résonances " $f_{qn}$ ". Il a été néanmoins possible de mettre au point des algorithmes permettant une reconnaissance automatique de la résonance à la fréquence de plasma. Un test portant sur 250 balayages montre que, dans 93 % des cas, la fréquence plasma déduite se situe à moins de 10 % d'une estimation à partir de l'examen visuel des sonagrammes et, pour 63 % des cas à moins de 5 % de cette estimation.

Un traitement identique peut être utilisé pour les mesures faites dans la queue magnétosphérique. Du fait du plus grand resserrement des résonances (faible valeur du champ géomagnétique), la procédure d'estimation de la fréquence de plasma devrait être plus efficace encore.

## VII.2 CARACTERISATION DES PLASMAS

Les possibilités d'utilisation du sondage à relaxation pour caractériser les plasmas géophysiques, que ce soit dans l'ionosphère, la magnétosphère ou le vent solaire, ont été décrites dans une publication (105). Un développement particulier a été consacré au sondage dans le vent solaire. Dans ce milieu, la gyrofréquence électronique est très faible devant la fréquence plasma de sorte que l'anisotropie des propriétés dispersives du plasma provient essentiellement de sa vitesse de dérive. Dans ces conditions les théories classiques d'échos obliques deviennent inadaptées et il faut s'orienter vers des mécanismes d'ondes qui accompagnent le satellite, c'est-à-dire dont la vitesse de groupe égale celle du vent solaire. Cette possibilité est corroborée par l'analyse de la direction des normales d'onde, qui sont parallèles au champ électrique de l'onde dans le cas d'ondes électrostatiques ; l'étude de plus de 600 résonances montre une orientation nette des vecteurs d'onde autour de la ligne Terre - Soleil ; de même la loi de décroissance des signaux résonants est voisine de ce qu'elle devrait être pour un strict accompagnement du satellite par les ondes.

Dans la magnétosphère, et plus particulièrement au voisinage de l'orbite géostationnaire, l'observation des résonances au voisinage des fréquences  $f_{qn}$  a permis de compléter la caractérisation du plasma bien que la fonction de distribution des électrons fasse apparaître deux populations d'énergies différentes. L'apparition de plusieurs raies spectrales, alors que la théorie n'en prévoyait qu'une pour des plasmas Maxwelliens autour des fréquences  $f_{qn}$  a conduit à penser qu'une population

suprathermique pouvait en être la cause. L'équation de dispersion des ondes électrostatiques en propagation perpendiculaire au champ magnétostatique a été résolue, en particulier pour un plasma constitué de deux populations électroniques Maxwelliennes de températures et densités différentes. Il a été montré que lorsque les populations sont bien séparées en énergie moyenne, deux séries quasi-harmoniques de fréquences de résonances s'intercalent entre les harmoniques de la gyrofréquence.

L'étude de ces deux séries de résonance permet, dans certains cas, de déterminer la valeur de la densité du plasma "froid" et celle du plasma total, donc de déduire la concentration du plasma d'énergie suprathermique (003), (202).

Un programme de traitement automatique des résonances a été mis au point pour distinguer et caractériser les deux populations. Il met en oeuvre un jeu d'abaques dit "diagramme de Hamelin" qui fournit la position en fréquence des  $f_{qn}$  d'un plasma Maxwellien en fonction du rapport de la fréquence plasma à la gyrofréquence électronique. Les fréquences de résonances observées par le sondeur des satellites GEOS sont placées automatiquement sur ce diagramme et la (ou les) densité(s) électronique(s) est (sont) déterminée(s) avec précision lorsque le plasma n'est pas Maxwellien.

Cette caractérisation fine du plasma a été utilisée pour localiser les fréquences des émissions électrostatiques naturelles. Il a été montré en particulier que les émissions les plus intenses se produisent systématiquement à une fréquence supérieure à la fréquence plasma de la population la plus froide ; vraisemblablement à la fréquence plasma ou hybride haute correspondant à la densité totale. Par ailleurs, les émissions naturelles faibles, souvent décrites dans la littérature ont été localisées comme coïncidant très précisément avec les fréquences  $f_{qn}$  correspondant à la population d'énergie la plus basse. Ce travail fait l'objet d'une thèse de 3ème cycle en cours. La figure 2 présente un exemple d'observation de telles émissions ainsi que leur localisation en fréquence.

Les études théoriques conduites au CRPE sur le rayonnement d'une antenne ponctuelle dans un magnétoplasma chaud ont mis en évidence le rôle particulier joué par les fréquences caractéristiques du plasma dites " $f_{cyl}$ ", ainsi qu'il sera exposé plus bas. Elles ont permis de compléter l'interprétation de la fonction de transfert du quadripôle que constitue une sonde à Impédance Mutuelle. Il a été montré que l'impédance de transfert de l'appareil présentait un maxima à ces fréquences. Un tel appareil avait été embarqué, en particulier, sur les fusées lancées dans l'ionosphère aurorale au cours de la campagne PORC-EPIC. L'interprétation récente des données



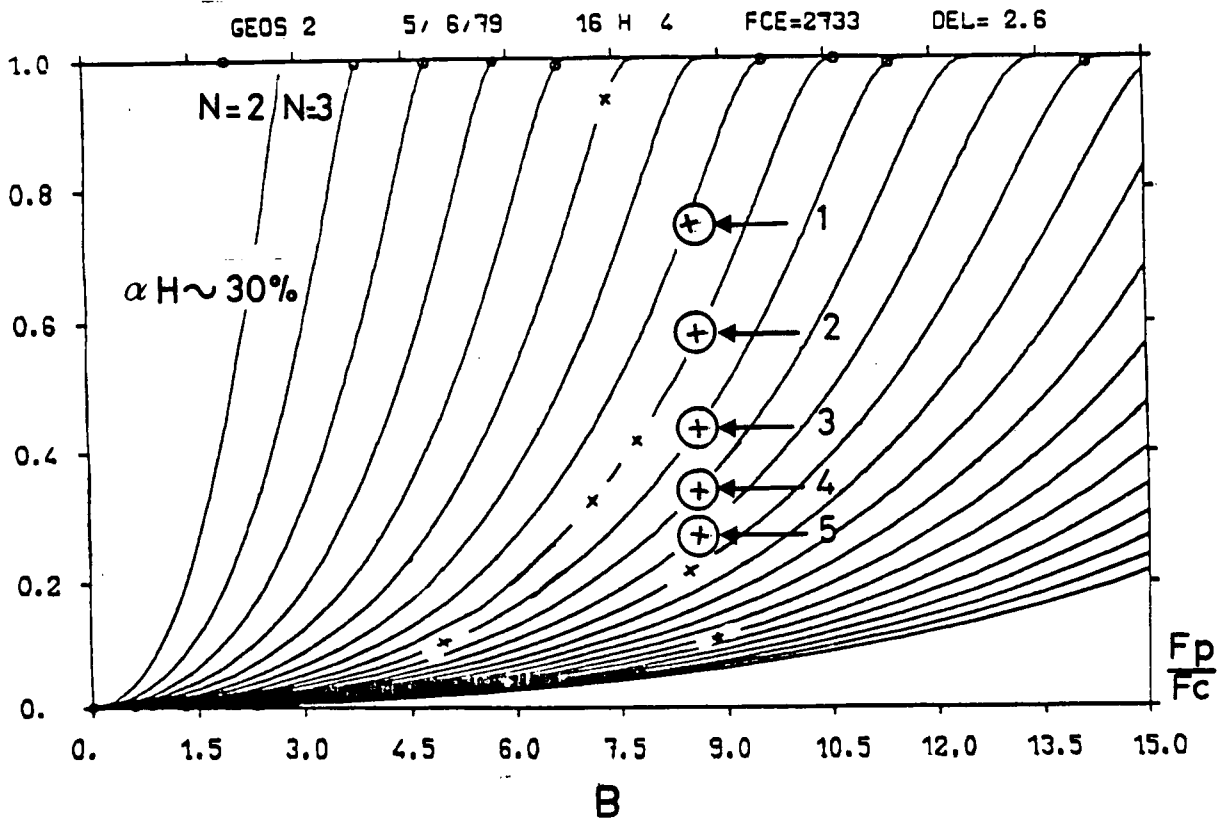
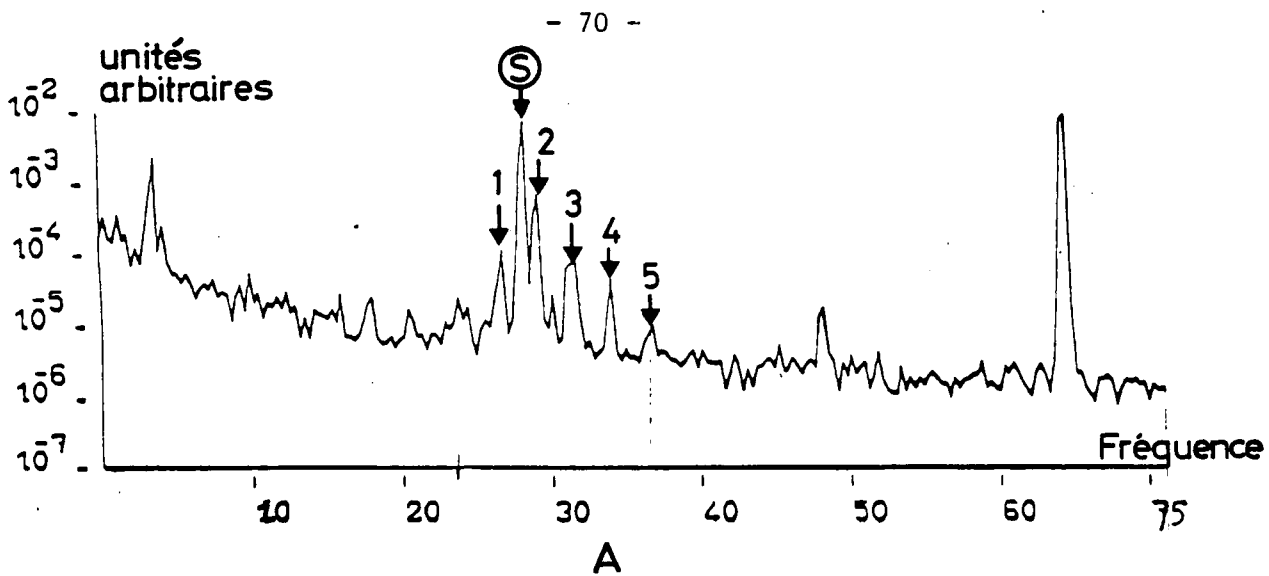


Fig 2(VII)

Panneau A : Spectre d'ondes naturelles observées par le Sondeur à Relaxation du satellite GEOS 2 en mode passif. Les émissions numérotées de 1 à 5 correspondent à des résonances identifiées par la technique présentée sur le panneau B. Les émissions intenses à 48 et 63 kHz sont des parasites engendrés par le satellite.

Panneau B : Identification des résonances présentées au panneau A. Le balayage actif suivant immédiatement celui présenté sur le panneau A présente des signaux résonnants aisément identifiable. Les émissions naturelles du spectre A se font à des fréquences correspondant exactement aux résonances aux  $F_{qn}$  du balayage actif caractéristique de la population la moins énergétique. Leur alignement sur le réseau d'abaque permet de déterminer la densité de cette population, lue sur l'échelle des abscisses de la figure B. Ici  $F_{pf} = 8.6 f_{ce}$  où  $F_{pf}$  est la fréquence plasma de la population froide et  $f_{ce}$  la gyrofréquence électronique.

L'émission naturelle la plus forte (S) ne correspond pas à une résonance observée. Les autres résonances sont attribuées à une composante plus chaude de la population électronique dont l'abondance  $\alpha_H$  est estimée à 30 %.

expérimentales obtenues au cours d'un de ces tirs a été effectuée en collaboration avec les chercheurs du CRPE Orléans. Elle a permis de mettre en évidence l'excellent accord entre les valeurs théoriques et expérimentales, représentant le module de l'impédance mutuelle en fonction de la fréquence (figure 3). La densité et la température du plasma ont pu ainsi être déterminées avec précision ; les températures ainsi mesurées sont en très bon accord avec celles déterminées à l'aide des sondes de Langmuir embarquées sur les mêmes fusées. Par ailleurs, les décalages en fréquence entre les maxima aux fréquences  $f_{qn}$  des courbes théoriques et ceux des courbes expérimentales ont été interprétés comme dus à un effet Doppler induit par une dérive du plasma transversalement au champ géomagnétique. Une estimation de la vitesse de dérive a pu ainsi être faite. Ces résultats ont fait l'objet d'une publication (023).

### VII.3 ETUDES SUR LA PROPAGATION DES ONDES RESONANTES

Les études théoriques sur la propagation des ondes au voisinage des fréquences de résonance du plasma permettent de prévoir l'évolution temporelle du spectre reçu au cours de la phase de réception d'un palier de sondage. Ces théories ont été développées pour des plasmas Maxwelliens isotropes. Elles n'ont pas encore été étendues à des plasmas non Maxwelliens et, de plus, les résonances aux fréquences  $f_{qn}$  n'ont pas encore été complètement interprétées. La possibilité d'étendre le diagnostic du plasma à l'aide des données du sondeur reste donc ouverte. Les Sondeurs à Relaxation des satellites GEOS fournissent un matériau expérimental indispensable pour guider ou tester les théories. Il est nécessaire, pour analyser l'évolution temporelle des spectres reçus, d'en calculer les transformées de Fourier sur des intervalles de temps convenablement choisis à l'intérieur des phases de réception. Ce travail ne peut se faire que sur les données "haute cadence", c'est-à-dire celles contenant les formes d'ondes originales des signaux de résonance, fournies par la chaîne de traitement ESOC et le CNES. Deux types de traitement ont donc été développés. En premier lieu un programme de sélection et d'archivage des paliers de sondage intéressants a été mis au point : la sélection se fait à partir des bandes de données comprimées ; on recherche les paliers correspondants sur les bandes des données "haute cadence" et on constitue un fichier contenant à la fois les données comprimées et les spectres complets des paliers sélectionnés. Par la suite on pourra utiliser ce fichier pour des tracés graphiques. En second lieu un programme de traitement a été mis au point pour calculer la transformée de Fourier rapide du signal d'un palier déterminé en prenant en compte les données correspondant à un intervalle de temps choisi sur la période de réception. Ce traitement a permis d'amorcer une étude sur le dédoublement des résonances  $f_{qn}$ . Cette étude est entreprise afin de

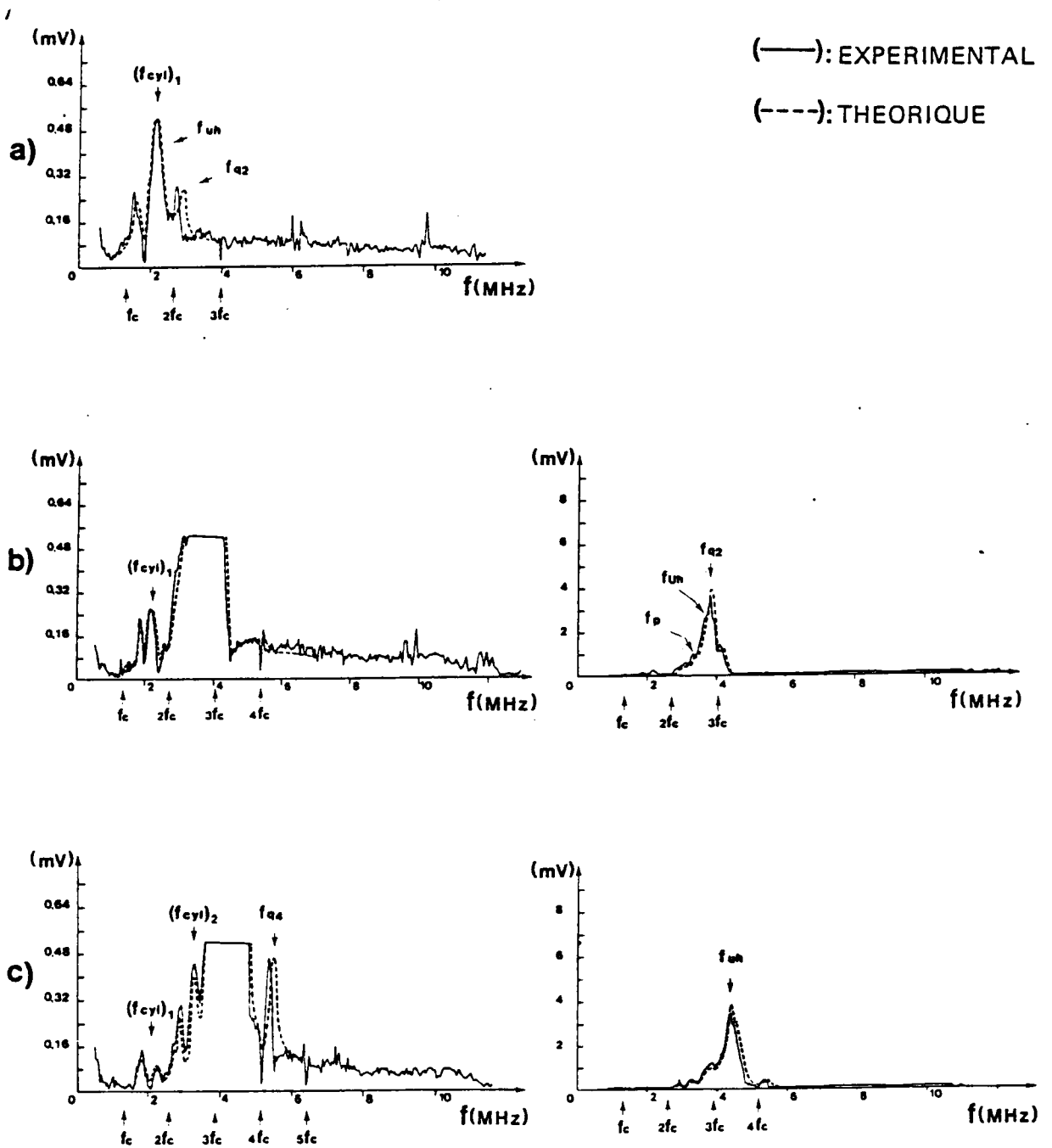


Fig.3(VII)

Expérience PORC-EPIC. Comparaison des courbes expérimentales (—) et théoriques (---) de la réponse de l'impédance de transfert (axe des ordonnées) en fonction de la fréquence émise  $f$  (axe des abscisses). Les cas (a), (b) et (c) correspondent aux couples de valeurs de  $f_c/f_c^p$  et de la température électronique  $T_e$  respectivement égales à (1.43, 2900°K), (2.597, 3100°K) et (3.22, 3300°K); les figures de droite correspondent aux courbes de bas niveaux d'enregistrement.

déterminer si ce dédoublement est dû à un effet Doppler (induit par une dérive du plasma par rapport au satellite), à un effet de trajectoires multiples des ondes ou à la présence d'une population d'électrons suprathermiques.

Par ailleurs les propriétés de directivité du signal reçu aux fréquences  $f_{qn}$  ont été utilisées pour estimer la longueur d'onde des ondes reçues et, par conséquent, leur vitesse de groupe et la température présumée des plasmas ; il a été montré que deux domaines étaient possibles pour les valeurs de ces paramètres. La comparaison des ordres de grandeurs ainsi obtenus pour la température avec les valeurs déterminées par d'autres moyens expérimentaux ont permis de déterminer si les mécanismes de propagation des ondes étaient du type "écho-oblique" ou "accompagnement". Il semble qu'il n'y ait pas de réponse générale à cette question et qu'il faille examiner les résonances cas par cas. Ce travail a donné lieu à une communication (210).

#### VII.4 RAYONNEMENT D'UNE SOURCE PONCTUELLE DANS UN PLASMA

On a vu que dans le vent solaire, les effets du champ magnétique interplanétaire sur les propriétés de dispersion du plasma étaient négligeables. Par contre, la vitesse de dérive du plasma joue un rôle déterminant pour la sélection des ondes donnant naissance à un effet résonant. Il est donc important de bien connaître les propriétés de dispersion d'un plasma non magnétisé, mais animé d'une vitesse de dérive.

Une telle étude a été menée au CRPE pour des vecteurs d'onde parallèles à la vitesse de dérive (527). Les fréquences ont été choisies réelles et les vecteurs d'onde complexes. Le mode dominant (mode de Landau-Debye) et les premiers modes non dominants -au sens de la classification de Simonen- ont été pris en compte. Il a été montré qu'un mode évanescent, c'est-à-dire qui ne se propage pas en l'absence de dérive du plasma, peut devenir complexe lorsque le plasma est en mouvement par rapport à l'émetteur ; il peut alors se propager bien qu'étant amorti. Pour les grandes vitesses de dérive, les propriétés de dispersion du plasma tendent vers celles du mode de faisceau. Il a été montré, d'autre part, que le mode de Landau, déformé par la dérive du plasma peut se coupler à l'un ou l'autre des modes non dominants, modifiés eux aussi par la dérive. La condition de couplage étant que les vecteurs d'onde des deux modes soient proches dans le plan complexe et donc que leurs coefficients d'excitation soient voisins.

L'étude a été partiellement étendue aux plasmas magnétisés (221). Le rayonnement d'une antenne ponctuelle plongée dans un magnétoplasma Maxwellien homogène, dont la température est isotrope et qui est dépourvu de vitesse de dérive, a été étudié en détail pour des fréquences comprises entre les deux premiers harmoniques de la gyrofréquence électronique. Les calculs du potentiel rayonné ont été menés en ne prenant en compte que les contributions des modes les moins amortis. Les résultats ont été interprétés lorsque la distance d'observation à l'antenne était grande devant la longueur d'onde.

Il a été montré que le mode dit "principal" et le mode cyclotronique électronique fournissaient la contribution principale au potentiel bien que le mode "principal" soit fortement amorti.

Le calcul du potentiel dans une direction perpendiculaire au champ magnétique a fait l'objet d'une étude détaillée (525), (526). Il apparaît que l'évolution du potentiel avec la distance, dans la direction perpendiculaire au champ magnéto-statique  $B_0$ , ne pouvait être comprise en prenant en compte les seules contributions des vecteurs d'onde perpendiculaires à  $B_0$ . Cet effet est renforcé aux fréquences dites  $f_{cyl}$  pour lesquelles la vitesse de groupe reste perpendiculaire au champ magnétique statique pour un grand domaine angulaire de direction de normales d'onde (523). Pour chacun des modes évoqués plus haut, un faisceau de vecteurs d'onde contribue à ce potentiel ; la composition des ondes élémentaires de ces faisceaux peut donner lieu à des phénomènes de diffraction ; de plus les deux modes peuvent interférer. Tout ceci donne naissance à une distribution complexe du potentiel présentant des variations oscillatoires avec plusieurs périodes spatiales. Ainsi l'intensité de la réponse du plasma est fonction non seulement d'effets résonants mais aussi d'effets complexes d'interférence, de diffraction et de directivité du rayonnement émis.

Ces effets ont été explorés pour des directions d'observation obliques par rapport à la direction du champ magnéto-statique (543). L'examen des courbes de dispersion pour des vecteurs d'onde obliques par rapport au champ magnéto-statique a permis d'établir que le mode principal est continument défini quand la fréquence est inférieure à la gyrofréquence électronique ou lorsqu'elle est située dans la branche dite "hybride haute". Les ondes cyclotroniques électroniques peuvent être observées dans tout l'espace de détection, ce qui correspond aux mesures expérimentales faites en laboratoire. La structure oscillatoire de la distribution du potentiel a été interprétée en terme de battements auxquels se superposent éventuellement des effets d'interférence entre les modes les moins amortis. La localisation résultant des surfaces

isophasse du potentiel a été trouvée en excellent accord avec des expériences antérieures. En plus des calculs numériques, une expression analytique du potentiel a été obtenue ; elle donne une bonne représentation de la distribution du potentiel autour de l'émetteur et donc dans tout l'espace de détection. Le domaine de validité de ces calculs a été bien délimité.

En prolongement de cette analyse, les effets d'interférence et de diffraction ont fait l'objet d'une étude particulière (514). Il a été montré que les effets de diffraction trouvaient leur origine dans la présence, sur la surface des indices, de zones, autour de la perpendiculaire au champ magnétostatique, de vecteurs d'ondes à très faible partie imaginaire environnés de vecteurs d'ondes à forte partie imaginaire. Tout se passe comme si, dans l'espace de propagation, les ondes transmises étaient diffractées par une ouverture. L'énergie des modes se trouve ainsi diffusée dans des régions d'"ombre" géométrique. La structure en lobes résultante est fonction de la température du plasma (voir la figure 4). Une méthode de mesure de ce paramètre peut ainsi être imaginée. Les effets de directivité peuvent modifier ce schéma de base. Cette structure du rayonnement devrait être prise en compte pour étudier la directivité du rayonnement des ondes naturelles.

## VII.5 CONCLUSION

L'exploitation des données des Sondes à Relaxation des satellites GEOS et ISEE a permis d'obtenir une vaste moisson de résultats tant au plan de la géophysique qu'au plan de la théorie de la propagation des ondes dans un plasma. Les études se poursuivront en 1982 sur ces deux plans. Notre participation à l'expérience suédoise VIKING impose d'une part de parfaire les modèles théoriques du fonctionnement des antennes dans les plasmas pour lesquels  $f_{pe} < f_{ce}$ , d'autre part de mettre au point les algorithmes de reconnaissance en temps réel. Notre compétence en la matière est reconnue puisque nous avons joué le rôle de consultant auprès de l'Institut Copernic de Torun (Pologne) pour le projet INTERBALL et que deux stagiaires (en provenance de Chine et du Japon) viendront au CRPE en 1982 pour se familiariser avec les techniques que nous avons mises au point dans ce domaine.

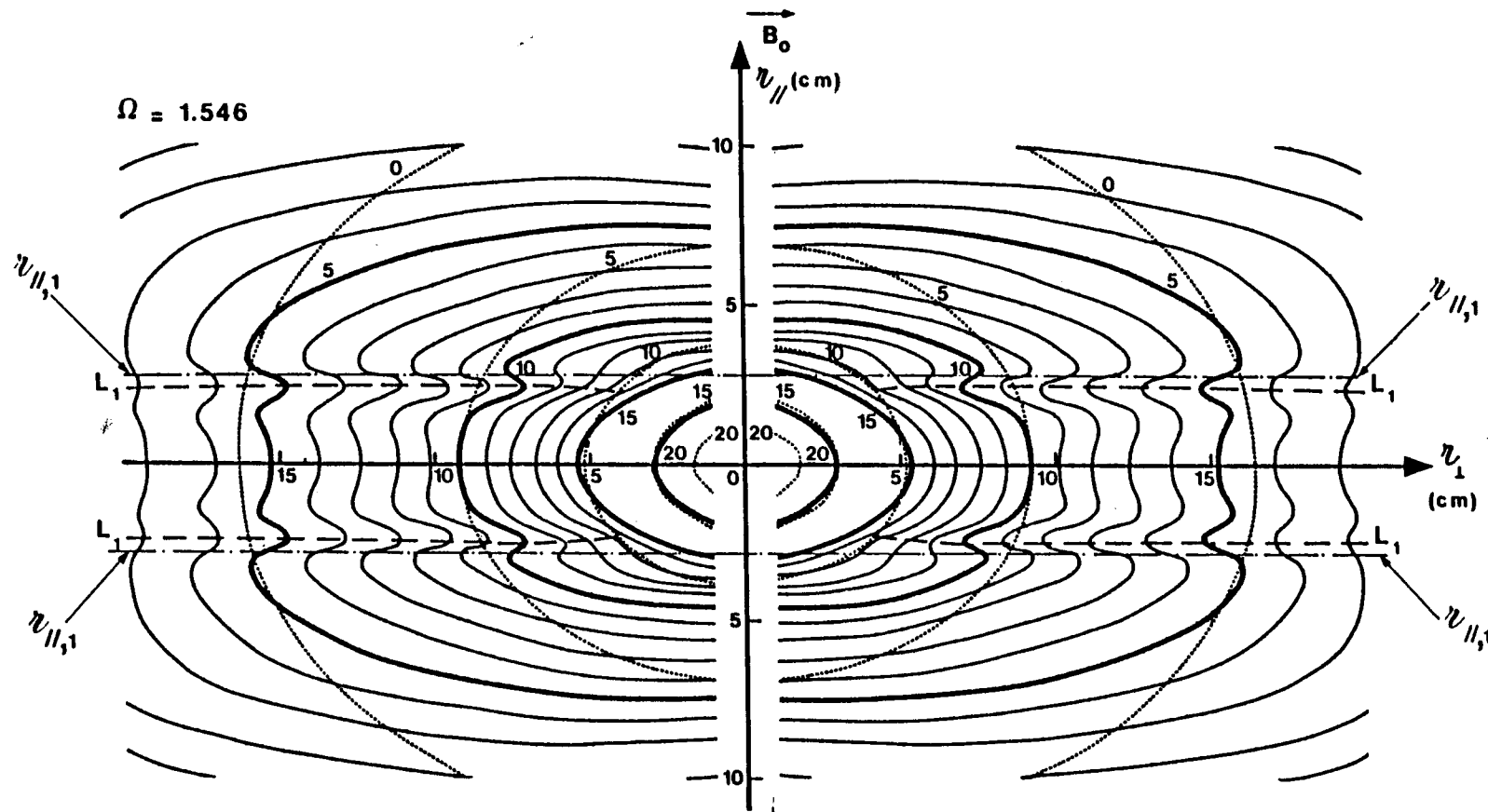
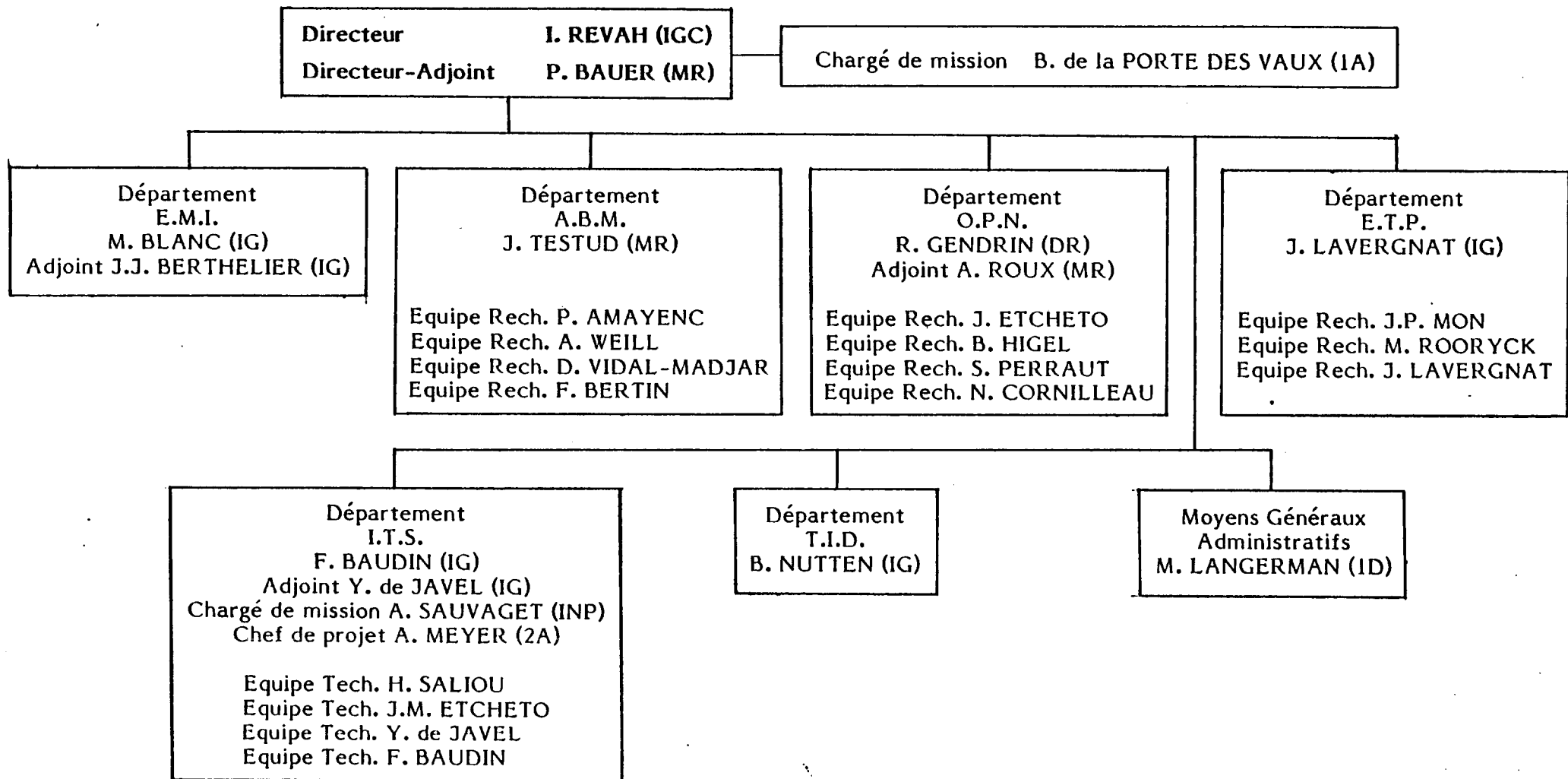


Fig. 4. (VII)

Diffraction intrinsèque des plasmas au voisinage des fréquences  $f_{cyl}$ . La figure représente les courbes iso-amplitude de potentiel rayonné par une antenne ponctuelle dans un magnéto-plasma chaud. L'axe des ordonnées indique les distances à l'antenne émettrice, couplées dans la direction du champ magnétostatique  $B_0$ . La structure du potentiel rayonné est de révolution autour de cet axe. Il apparaît des minima de diffraction suivant les lignes  $L_1$  et  $L_2$ . Cette structure a pour origine un phénomène de diffraction lié à un domaine de taille finie de vecteurs d'onde non amortis. Un calcul analytique simple prévoit des minima de potentiel suivant les lignes  $r_{//,1}$  dont la position est fonction de la température du plasma. Le bon accord entre les positions des lignes  $r_{//,1}$  et  $L_1$  permet d'espérer une détermination de la température électronique du plasma.

**Organigramme du Centre de Recherches en Physique de l'Environnement Terrestre et Planétaire (C.R.P.E.)**





**DEPARTEMENT ELECTRODYNAMIQUE DES MILIEUX IONISES (EMI)**

Responsable : M. BLANC, Ingénieur CNET  
Adjoint : M. BERTHELIER, Ingénieur CNET

M. BAROUCH	Maître de Recherches CNRS
M. BERTHELIER	Ingénieur 3A CNET
Mme BERTHELIER	Chargée de Recherches CNRS
Mme BOUVET	Technicienne 2B
M. CAUDAL	Ingénieur CNET
M. CERISIER	Professeur
Mme DUBOIN	Maître Assistante
Mme FONTAINE	Attachée de Recherches
M. GIRARD	Stagiaire Ecole Polytechnique
Mme GUERIN	Ingénieur 2A
Mme LAFEUILLE	Attachée Scientifique CNET
Mme MAZAUDIER	Attachée de Recherches
M. POTTELETTE	Chargé de Recherches
M. ROUX	Assistant CNAM
M. TAIEB	Maître de Recherches
M. VILA	Ingénieur CNET

## DEPARTEMENT ATMOSPHERE BASSE ET MOYENNE (ABM)

Responsable : J. TESTUD, Maître de Recherches

### Equipe Convection nuageuse tridimensionnelle et précipitations

Responsable :	M. AMAYENC	Chargé de Recherches CNRS
	M. CHONG	Attaché de Recherches CNRS
	Mme HAUSER	Ingénieur CNET
	M. LORAND	Scientifique du Contingent
	M. ROUX	Attaché de Recherches CNRS
	M. SCIALOM	Ingénieur 2A

### Equipe Convection tridimensionnelle des couches limites

Responsable :	M. WEILL	Chargé de Recherches CNRS
	Mme EYMARD	Attachée de Recherches CNRS
	M. KLAPISZ	Maître Assistant
	M. SEN GUPTA	Chercheur Etranger Boursier CNES

### Equipe Télédétection

Responsable :	M. VIDAL-MADJAR	Ingénieur 1A
	M. BERNARD	Chargé de Recherches CNRS
	Mme TACONET	Boursière CNES

### Equipe Atmosphère moyenne

Responsable :	M. BERTIN	Ingénieur CNET
	Mme CREMIEU	Maître Assistante
	M. FELLOUS	Ingénieur 2A
	Mme FREZAL	Ingénieur 2A
	Mme MASSEBEUF	Ingénieur 2A
	M. GLASS	Professeur Université



**DEPARTEMENT ELECTROMAGNETISME, THEORIE DES COMMUNICATIONS  
ET PROPAGATION (ETP)**

Responsable : J. LAVERGNAT, Ingénieur CNET

**Equipe Etudes fondamentales en propagation**

Responsable :	M. MON	Professeur
	M. CHEMOUL	Scientifique du Contingent
	Mme MAYRARGUE	Ingénieur CNET
	M. MOUPFOUMA	Stagiaire Etranger
	M. OLLIVIER	Ingénieur CNET
	M. ROUX	Boursier
	M. SPANJAARD	Ingénieur CNET
	M. TIFFON	Ingénieur CNET

**Equipe Etudes de l'influence de la propagation sur les systèmes**

Responsable :	M. ROORYCK	Ingénieur CNET
	Mme JUY	Ingénieur CNET

**Equipe Théorie des communications**

Responsable :	M. LAVERGNAT	Ingénieur CNET
	M. BRANDT	Boursier DGRST
	Mme DECHAMBRE	Ingénieur 2A
	M. DELAHAYE	Ingénieur 2A ORSTOM
	M. DUHAMEL	Ingénieur CNET
	M. JOUVEAU	Inspecteur PTT
	M. LEVY	Ingénieur CNET
	M. SYLVAIN	Ingénieur 1A
	Mme TRESSENS	Ingénieur CNET

## DEPARTEMENT INSTRUMENTATION TERRESTRE ET SPATIALE (ITS)

Responsable : F. BAUDIN, Ingénieur CNET

Adjoint : Y. de JAVEL, Ingénieur CNET

### Equipe Stations SONDEUR

Responsable :	M.	SALIOU	Inspecteur Central PTT
	M.	DURBE	Technicien 2B
	Mme	FAYNOT	Technicienne 4B
	M.	REGIS	Ouvrier d'Etat PTT
	M.	ROQUEJOFFRE	Technicien 4B
	M.	RUIN	Technicien 2B
	M.	SUBSOL	ATP CNET
	M.	WELFELE	Technicien des Installations PTT

### Equipe Radar RONSARD

Responsable :	M.	ETCHETO	Ingénieur
	M.	CARPENTIER	Adjudant Chef
	M.	FAROUX	Technicien 1B
	M.	RIGUET	Ingénieur 2A
	M.	VINSON	Technicien 2B

### Equipe Instrumentations spatiales

Responsable :	M.	de JAVEL	Ingénieur CNET
	M.	BLONDEAU	Inspecteur Central PTT
	M.	COVINHES	Ingénieur 3A
	M.	DELACROIX	Ingénieur CNET
	M.	DESCHANCIAUX	ATP CNET
	M.	GODEFROY	Technicien 2B ORSTOM
	M.	GOGLEY	Ingénieur 2A
	M.	MARQUE	Inspecteur Central PTT
	M.	MEYER	Ingénieur 2A
	M.	THEVENET	Ingénieur 2A

### Equipe Instrumentation sol et logistique

Responsable :	M.	BAUDIN	Ingénieur CNET
	M.	BILBILLE	ATP CNET
	M.	BORIE	Technicien 2B
	M.	CAMUS	Ingénieur CNET
	M.	CLEMENT	Ingénieur CNET
	Mme	CROCQUEVIELLE	Technicienne 5B
	M.	DEMESSANCE	Ingénieur CNET
	M.	DUBOIS	AT.3 CNET
	M.	DURREMBERGER	ATP CNET
	M.	FEVRE	Technicien des Installations PTT
	M.	GABISON	Technicien 3B ORSTOM
	M.	LAURENT	Technicien 1B bis
	M.	MOUGINOT	Inspecteur Central PTT
	M.	NEY	Ingénieur 2A
	M.	PEURE	ATP CNET

**DEPARTEMENT TRAITEMENT INFORMATIQUE DE DONNEES (TID)**

Responsable : M. NUTTEN, Ingénieur CNET

Mme BOUVARD	Documentaliste CNET
M. DAUTRICHE	Technicien 1B
M. FRENOD	Technicien 1B
Mme KOSSA	Technicienne 3B
Mme LEMAULF	Technicienne 5B
Mme MOREAU	Technicienne 3B
Mme PARIS	Ingénieur 3A
M. PAWELA	Ingénieur 2A
Mme PIRON	Technicienne 1B
M. PRON	Ingénieur CNET
Mme PORTENEUVE	Ingénieur 2A
M. QUELEN	Contrôleur PTT
M. STZEPOURGINSKI	AT.3 CNET
Mme TIFFON	Secrétaire Technique CNET

## MOYENS GENERAUX DU CRPE

Responsable : Mme LANGERMAN, 1D

Mme ADANE	Technicienne 3B
Mme BELHACENE	Contrôleur PTT
M. BROUSSEAU	Agent d'Exploitation PTT
Mme CHAUVET L.	Secrétaire Principale 3D
Mme CHAUVET F.	Bibliothécaire 6B
M. CLAVERO	Technicien des Installations PTT (Chauffeur)
Mme GUITTARD	Agent d'Administration PTT
Mme DUPIN	Secrétaire Principale H.C. 2D
Mme FROMAGER	Sténodactylographe PTT
Mme GIORGIS	Technicienne 5B (Cantine Saint-Maur)
Mme JABOIN	Technicienne 3B (Bibliothécaire)
Mme LEFLOCH	Secrétaire Principale 3D
Mme PENNEC	Sténodactylographe PTT
M. RUSSEIL	Agent d'Exploitation PTT (Chauffeur)
Mme SEDONI	Secrétaire 4D
Mme VACHER	Contrôleur PTT

## BIBLIOGRAPHIE

### REVUES

- (001) BAROUCH E., Energy spectra of incident electrons from auroral ionisation profiles, J. Atmos. Terr. Phys., 43 (11), 1155-1164, 1981.
- (002) BAROUCH E., Solar wind data potential, Science, 211 (4483), 731, 1981.
- (003) BELMONT G., Characteristic frequencies of a non-maxwellian plasma : A method for localizing the exact frequencies of magnetospheric intense natural waves near  $f_{pe}$ , Planet. Space Sci., 29 (11), 1251-1266, 1981.
- (004) BERNARD R., Seasonal variations in mesospheric semi-diurnal tide. Comparison of meteor radar observations and results from an excitation source model, J. Atmos. Terr. Phys., 43 (4), 101-109, 1981.
- (005) BERNARD R., Variability of the semi-diurnal tide in the upper mesosphere, J. Atmos. Terr. Phys., 43 (7), 663-674, 1981.
- (006) BERNARD R., FELLOUS J.L., MASSEBEUF M., GLASS M., Simultaneous meteor radar observations at Monpazier (France 44°N) and Punta Borinquen (Puerto Rico 18°N), I- Latitudinal variations of atmospheric tides, J. Atmos. Terr. Phys., 43 (5/6), 525-533, 1981.
- (007) BERNARD R., VAUCLIN M., VIDAL-MADJAR D., Possible use of active microwave remote sensing data for prediction of regional evaporation by numerical simulation of soil water movement in the unsaturated zone, Water Resour. Res., 17 (6), 1603-1610, 1981.
- (008) CHAUZY S., RAIZONVILLE P., HAUSER D., ROUX F., Electrical and dynamical description of a frontal storm deduced from Landes 79 experiment, J. Rech. Atmos., 14 (3-4), 457-467, 1980.
- (009) CORNILLEAU-WEHRLIN N., A new ULF-modulated electrostatic wave detected in the extremely low frequency range onboard GEOS, J. Geophys. Res., 86 (A3), 1365-1373, 1981.



- (010) FREZAL M.E., GLASS M., FELLOUS J.L., MASSEBEUF M., Simultaneous meteor radar observations at Monpazier (France 44°N) and Punta Borinquen (Puerto Rico 18°N), III- Latitudinal variations of the energy of gravity waves (2-8 h) in the high mesosphere, J. Phys. Terr. Phys., 43 (5/6), 543-547, 1981.
- (011) GENDRIN R., Le soleil et l'environnement terrestre, La Recherche, n° 125, 942-951, 1981.
- (012) GENDRIN R., General relationships between wave amplification and particle diffusion in a magnetoplasma, Rev. Geophys. Space Phys., 19 (1), 171-184, 1981.
- (013) GOLE P., DAUTRICHE M., HAMELIN J., MON J.P., RAMAT P., VERNET M., Radar and atmospheric electricity measurements associated with microwave attenuation and cross-polarization observed on a slant path, Ann. Télécomm., 36 (1-2), 111-116, 1981.
- (014) HAUSER D., AMAYENC P., Drop-size distributions and vertical air motions in a thunderstorm as inferred from Doppler radar observations at vertical incidence, J. Rech. Atmos., 14 (3-4), 439-455, 1980.
- (015) HAUSER D., AMAYENC P., A new method for deducing hydrometeor-size distributions and vertical air motions from Doppler radar measurements at vertical incidence, J. Appl. Meteor., 20 (5), 547-555, 1981.
- (016) HOLZWORTH R., WYGANT J., MOZER F.S., GONZALES C., GREENWALD R., BLANC M., VICKREY J., KISHI A., Global ionospheric electric field measurements in April 1978, J. Geophys. Res., 86 (A8), 6859-6868, 1981.
- (017) KOFMAN W., LEJEUNE G., HAGFORS T., BAUER P., Electron temperature measurements by the plasma line technique at the French incoherent scatter radar facilities, J. Geophys. Res., 86 (A8), 6795-6801, 1981.
- (018) LAVERGNAT J., LEQUEAU D., PELLAT D., ROUX A., Nonlinear mechanism for the production of the low frequency electrostatic waves, Ann. Géophys., 36 (3), 439-442, 1980.

- (019) MARTIN Ph., Direct determination of the two-dimensional image spectrum from raw synthetic aperture radar data, IEEE Trans., GE-19 (4), 194-203, 1981.
- (020) MASSEBEUF M., BERNARD R., FELLOUS J.L., GLASS M., Simultaneous meteor radar observations at Monpazier (France 44°N) and Punta Borinquen (Puerto Rico 18°N), II- Mean zonal wind and long period waves, J. Atmos. Terr. Phys., 43 (5/6), 535-542, 1981.
- (021) MATHEWS J.D., SULZER M.P., TEPLEY C.A., BERNARD R., FELLOUS J.L., GLASS M., MASSEBEUF M., GANGULY S., HARPER R.M., BEHNKE R.A., WALKER J.C.G., A comparison between Thomson scatter and meteor radar wind measurements in the 65-105 km altitude region at Arecibo, Planet. Space Sci., 29 (3), 341-348, 1981.
- (022) MON J.P., SPANJAARD N., La propagation des ondes millimétriques sur les trajets Terre  $\rightleftharpoons$  Espace, Echo Rech., n° 105, 49-61, 1981.
- (023) POTTELETTE R., HAMELIN M., LEMBEGE B., ILLIANO J.M., Interpretation of the fine structure of electrostatic waves excited in space, Phys. Fluids, 24 (8), 1517-1526, 1981.
- (024) SENIOR C., BAUER P., TAIEB C., PETIT M., Le rôle de l'oxyde d'azote dans la distribution de densité électronique de la région E en fonction de l'angle zénithal solaire, C.R. Acad. Sc. Paris, 292 (17), 1195-1202, 1981.
- (025) SOLOMON J., PICON O., Charge exchange and wave-particle interaction in the proton ring current, J. Geophys. Res., 86 (A5), 3335-3344, 1981.
- (026) TAIEB C., BLANC M., Field line equipotentiality and ion neutral collision frequencies in the dynamo region deduced from St-Santin ion drift measurements, J. Geophys. Res., 86 (A8), 6843-6852, 1981.
- (027) TEITELBAUM H., MASSEBEUF M., FELLOUS J.L., PETITDIDIER M., CHRISTOPHE J., BLANCO F., Simultaneous measurements of meteor winds and green line intensity variations: gravity wave and planetary waves, J. Geophys. Res., 86 (A9), 7767-7770, 1981.

- (028) THOUVENIN J.P., TROTIGNON J.G., Automatic resonance recognition method in solar wind, Nuovo Cimento, 3C (6.1), 696-710, 1981.
- (029) WU LEI, GENDRIN R., HIGEL B., BERCHEM J., Relationships between the solar wind electric field and the magnetospheric convection electric field, Geophys. Res. Lett., 8 (10), 1099-1102, 1981.
- (030) YOUNG D.T., PERRAUT S., ROUX A., de VILLEDARY C., GENDRIN R., KORTH A., KREMSER G., JONES D., Wave-particle interactions near  $\Omega_{\text{He}^+}$  observed on GEOS-1 and -2 : I- Propagation of ion cyclotron waves in  $\text{H}_e^+$  - rich plasma, J. Geophys. Res., 86 (A8), 6755-6772, 1981.

## OUVRAGES COLLECTIFS

- (101) BAUER P., Thermospheric neutral composition changes and their causes, (27ème Symposium du Groupe "Propagation des Ondes Electromagnétiques"), AGARD Conference Proceedings, n° 295, 19.1-19.6, 1981.
- (102) BERCHEM J., ETCHETO J., Experimental study of magnetosonic convection, in Advances in Space Research, 1 (1), on "Physics of Planetary Magnetospheres", Ed. K. KNOTT, 179-184, Pergamon Press, 1981.
- (103) BLANC M., The effects of auroral activity on the midlatitude ionosphere, (27ème Symposium du Groupe "Propagation Electromagnétique"), AGARD Conference Proceedings, n° 295, 12.1-12.11, 1981.
- (104) CHONG M., TESTUD J., Three-dimensional wind field from dual-Doppler radar, in 20th Conference on Radar Meteorology, 588-593, A.M.S., 1981.
- (105) ETCHETO J., de FERAUDY H., TROTIGNON J.G., Plasma resonance stimulation in space plasmas, in Advances in Space Research, 1 (2), on "Active Experiments in Space Plasmas" (COSPAR), Ed. C.T. RUSSELL, 183-196, Pergamon Press, 1981.
- (106) FELLOUS J.L., FREZAL M.E., The random wind component in the lower thermosphere, in "M.A.P." Handbook 2, Ed. S.K. AVERTY, 323-332, 1981.
- (107) FELLOUS J.L., PETITDIDIER M., MASSEBEUF M., TEITELBAUM H., Simultaneous observations of meteor winds and green line intensity variations, in "M.A.P." Handbook 2, Ed. S.K. AVERTY, 131-137, 1981.
- (108) GENDRIN R., Wave-particle interactions in multicomponent plasmas, in US-Japan Seminar on Wave-Particle Interactions in Space Plasmas, Eds. D.J. WILLIAMS & I. KIMURA, 129-134, Kyoto Univ., 1981.
- (109) HAUSER D., AMAYENC P., Exponential size distributions of raindrops and vertical air motions deduced from zenith-pointing Doppler radar in a frontal precipitation, in 20th Conference on Radar Meteorology, 91-97, A.M.S., 1981.

- (110) KLAPISZ C., STRAUSS B., WEILL A., The budget of turbulent kinetic energy in convection mixed layers, in International Symposium on Acoustic Remote Sensing on the Atmosphere and Oceans (Calgary, Canada, 1981), Ed. T. MATHEW, 1981.
- (111) MON J.P., MAYRARGUE S., Sodar monitoring of the lower atmosphere and prediction of propagation anomalies on line of sight paths, in Proceedings ICC, 68.6.1-68.6.4, IEEE, 1981.
- (112) NUTTEN B., HAUSER D., AMAYENC P., WALDTEUFEL P., An improved optical spectra pluviometer : technical description and first results, in 20th Conference on Radar Meteorology, 232-238, A.M.S., 1981.
- (113) SCIALOM G., CHONG M., TESTUD J., Evidence and characteristics of wave-like motions deduced from single Doppler radar measurements, in 20th Conference on Radar Meteorology, 435-439, A.M.S., 1981.
- (114) TACONET O., Convective cells as observed with an acoustic sounder, in International Symposium on Acoustic Remote Sensing on the Atmosphere and Oceans (Calgary, Canada, 1981), Ed. T. MATHEW, 1981.
- (115) WEILL A., Sodar micrometeorology, in International Symposium on Acoustic Remote Sensing on the Atmosphere and Oceans (Calgary, Canada, 1981), Ed. T. MATHEW, 1981.

## COMMUNICATIONS A DES COLLOQUES

- (201) ANDERSON R.R., HARVEY C.C., HOPPE M., TSURUTANI B.T., EASTMAN T.E., ETCHETO J., Plasma waves near the magnetopause, IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.
- (202) BELMONT G., Characteristic frequencies of a non-maxwellian plasma. A method for localizing the exact frequencies of magnetospheric intense natural waves near  $f_{pe}$ , IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.
- (203) BERNARD R., MARTIN Ph., VIDAL-MADJAR D., THONY J.L., VAUCLIN M., Application of the microwave remote sensing of soil moisture to the monitoring of soil water and latent heat flux, XXth General Assembly of URSI, Washington, D.C., U.S.A., 10-19 août 1981.
- (204) BLANC M., MAZAUDIER M., HANUISE C., CROCHET M., Dynamo simulation and radar observations of the January 21, 1977, counter-electrojet, IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.
- (205) CHONG M., TESTUD J., Three-dimensional wind field from dual-Doppler radar data: Application of variational concept for integrating the continuity equation, 20th Conference on Radar Meteorology, Boston, U.S.A., 30 novembre - 03 décembre 1981.
- (206) CORNILLEAU-WEHRLIN N., ROUX A., RAUCH J.L., Acceleration of thermal electrons by quasi-electrostatic ULF waves, IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.
- (207) CREMIEU A., BERTIN F., Incoherent scattering measurements in the mesosphere, XXth General Assembly of URSI, Washington, D.C., U.S.A., 10-19 août 1981.
- (208) ETCHETO J., FAUCHEUX M., SOLOMON J., FITZENREITER R., A study of plasma waves and electrons upstream of the bow shock, IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.

- (209) EYMARD L., Study of clear air convection heterogeneity in the planetary boundary layer using a dual-Doppler radar and a Doppler sodar, IIIrd Scientific Assembly of IAMAP, Hambourg, R.F.A., 17-28 août 1981.
- (210) FERAUDY H. de, DERIEUX A., FRECAUT A., HIGEL B., Electrostatic waves near the FQN resonances stimulated in the magnetospheric plasma by the GEOS active wave relaxation experiment, XXth General Assembly of URSI, Washington, D.C., U.S.A., 10-19 août 1981.
- (211) FONTAINE D., BLANC M., BAUER P., BAROUCH E., de la BEAUJARDIERE O., A theoretical study of the morphology and dynamics of diffuse auroral zone and its equatorial boundary, IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.
- (212) GENDRIN R., GEOS as an IMS spacecraft, 3rd Symposium on IMS Coordinated Observations in Polar Regions, Tokyo, Japon, 22-25 février 1981.
- (213) GENDRIN R., Wave-particle interactions in multicomponent plasmas, US-Japan Seminar on Wave-Particle Interactions in Space Plasma, Kyoto, Japon, 16-21 mars 1981.
- (214) GENDRIN R., ROUX A., YOUNG D.T., Heating of thermal He<sup>+</sup> ions at the expense of energetic anisotropic protons via ion cyclotron waves (ICW), IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.
- (215) HAUSER D., AMAYENC P., Exponential size distributions of raindrops and vertical air motions deduced from zenith-pointing Doppler radar in a frontal precipitation, 20th Conference on Radar Meteorology, Boston, U.S.A., 30 novembre - 03 décembre 1981.
- (216) HIGEL B., Direct electron density measurements onboard GEOS during pulsation events, IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.
- (217) HIGEL B., WU LEI, FERAUDY H. de, Electron density measurements at 6.6 RE from the GEOS-2 relaxation sounder, IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.

- (218) KLAPISZ C., STRAUSS B., WEILL A., The budget of turbulent kinetic energy in convection mixed layers, International Symposium on Acoustic Remote Sensing on the Atmosphere and Oceans, Calgary, Canada, 22-25 juin 1981.
- (219) KOFMAN W., LEJEUNE G., HAGFORS T., BAUER P., Electron temperature effect on the plasma line frequency by incoherent scatter radar technique, XXth General Assembly of URSI, Washington, D.C., U.S.A., 10-19 août 1981.
- (220) KORTH A., KREMSER G., PERRAUT S., ROUX A., VILLEDARY de C., YOUNG D.T., Energy source for ion cyclotron waves, IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.
- (221) LEMBEGE B., Drift effect on electrostatic waves in a hot magnetoplasma, XVth International Conference on Phenomena in Ionized Gases, Minsk, U.R.S.S., 14-18 juillet 1981.
- (222) MARTIN Ph., BERNARD R., VIDAL-MADJAR D., Direct numerical estimation of the two-dimensional ocean wave spectrum from raw seasat sar data, XXth General Assembly of URSI, Washington, D.C., U.S.A., 10-19 août 1981.
- (223) MAZAUDIER C., BLANC M., Extension of convection electric fields and currents to midlatitude on 22 March 1979, Vth Workshop "IMS", Helsingor, Danemark, 12-16 octobre 1981.
- (224) MAZAUDIER C., BLANC M., Seasonal variations of the electrodynamic parameters and of the resulting current flow over St-Santin on quiet days, IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.
- (225) MAZAUDIER C., BLANC M., DUBOIN M.L., An incoherent scatter study of mid-latitude ionospheric parameters disturbances (electric field, neutral wind, temperatures and electric currents) during a magnetic storm, IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.



- (226) MON J.P., Backward and forward scattering of microwaves by ice particles, XXth General Assembly of URSI, Washington, D.C., U.S.A., 10-19 août 1981.
- (227) NORRIS A.J., JOHNSON J.F.E., WRENN G.L., CORNILLEAU-WEHRLIN N., ROUX A., Experimental evidence of the acceleration of thermal electrons by quasi-electrostatic VLF waves, IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.
- (228) NUTTEN B., HAUSER D., AMAYENC P., WALDTEUFEL P., An improved optical spectro pluviometer : Technical description and first results, 20th Conference on Radar Meteorology, Boston, U.S.A., 30 novembre - 03 décembre 1981.
- (229) PERRAUT S., Results of conjugated wave observations on the ground and onboard GEOS-1 and GEOS-2 satellites in the ULF and VLF frequency ranges, IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.
- (230) PERRAUT S., Wave-particle interactions in the ULF range : GEOS-1 and GEOS-2 results, IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.
- (231) RAUCH J.L., ROUX A., PERRAUT S., Ray-tracing of Pcl waves in an inhomogeneous multicomponent plasma, IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.
- (232) ROUX A., CORNILLEAU-WEHRLIN N., PERRAUT S., RAUCH J.L., Ray paths of ion cyclotron waves in a multicomponent plasma, XXth General Assembly of URSI, Washington, D.C., U.S.A., 10-19 août 1981.
- (233) ROUX F., L'expérience COPT 81 - Résultats préliminaires, IIIrd Scientific Assembly of IAMAP, "Symposium on Cloud Dynamics", Hambourg, R.F.A., 17-28 août 1981.
- (234) SCIALOM G., CHONG M., TESTUD J., Evidence and characteristics of wave-like motions deduced from single Doppler radar measurements, 20th Conference on Radar Meteorology, Boston, U.S.A., 30 novembre - 03 décembre 1981.

- (235) SENIOR C., BLANC M., On the control of the magnetospheric convection by the latitude and local time distribution of ionospheric conductivities, XXth General Assembly of URSI, Washington, D.C., U.S.A., 10-19 août 1981.
- (236) SOLOMON J., CORNILLEAU-WEHRLIN N., KORTH A., KREMSER G., Experimental evidence of the relationships between the temperature anisotropy of energetic electrons and electromagnetic ELF waves in the magnetosphere, IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 03-15 août 1981.
- (237) SOLOMON J., PICON O., Charge exchange and wave particle interaction in the proton ring current, IVth Scientific Assembly of IAGA, Edinburgh, Grande-Bretagne, 1981.
- (238) TACONET O., Convective cells as observed with an acoustic sounder, International Symposium on Acoustic Remote Sensing on the Atmosphere and Oceans, Calgary, Canada, 22-25 juin 1981.
- (239) TESTUD J., AMAYENC P., The Ronsard system : A dual Doppler facility, Cost 72 Workshop/Seminar of the European Weather Radar Project, Reading, Grande-Bretagne, 09-11 mars 1981.
- (240) WEILL A., Sodar micrometeorology, International Symposium on Acoustic Remote Sensing on the Atmosphere and Oceans, Calgary, Canada, 22-25 juin 1981.

## DOCUMENTS INTERNES

- (301) ALCAYDE D., BLANC M., DUBOIN M.L., MAZAUDIER C., PONTHEU J.J., SENIOR C., Programme d'électrodynamique - Actualisation : juillet 1981, Note Technique CRPE/107, août 1981.
- (302) AMAYENC P., SCIALOM G., Expérience "COPT 81" (Korhogo, Côte d'Ivoire, mai-juin 1981), Document de Travail CRPE/1085, novembre 1981.
- (303) BERNARD R., MARTIN Ph., VIDAL-MADJAR D., Spécifications des performances minimales pour un diffusiomètre hélicopté en bande C destiné à la mesure de l'humidité des sols, Document de Travail CRPE/1075, mars 1981.
- (304) BERNARD R., MARTIN Ph., VIDAL-MADJAR D., THONY J.L., VAUCLIN M., La télédétection active en hyperfréquence - Premiers résultats, Note Technique CRPE/101, mai 1981.
- (305) BLANC M., JAMIN E., Description autocohérente de la convection du plasma dans la magnétosphère interne et l'ionosphère, Note Technique CRPE/92, janvier 1981.
- (306) COLLECTIF, Rapport d'Activité pour l'année 1980, Note Technique CRPE/105, juillet 1981.
- (307) COLLECTIF, Objectifs du département BAP en recherches atmosphériques 1981-1985, Document de Travail CRPE/1079, mai 1981.
- (308) COLLECTIF (Comités Scientifique et Technique COPT), Expérience COPT 81 : Procédures opérationnelles - acquisition et qualification des données, Document COPT n° 4, avril 1981.
- (309) COLLECTIF (Comité Technique COPT), Expérience COPT 81 : Organisation logistique générale pendant la campagne, Document COPT n° 5, avril 1981.
- (310) COLLECTIF (Comité Scientifique COPT), Thèmes de recherche des équipes, Document COPT n° 6, décembre 1981.

- (311) COLLECTIF (Comité Scientifique COPT), Compte-rendu de la campagne, Document COPT n° 7, novembre 1981.
- (312) DELACROIX E., BLONDEAU R., Essais d'un dispositif à transfert de charges pour l'analyse spectrale de signaux en temps réel, Document de Travail CRPE/1084, septembre 1981.
- (313) DUBOIN M.L., Interféromètre de Michelson à grande angle, Note Technique CRPE/109, septembre 1981.
- (314) GIRARD L., BLANC M., Structure des arcs auroraux, Actes du Séminaire EISCAT d'Authon-du-Perche, 1981.
- (315) HAUSER D., AMAYENC P., A new method for deducing hydrometeor-size distributions and vertical air motions from Doppler radar measurements at vertical incidence, Note Technique CRPE/95, février 1981.
- (316) HAUSER D., AMAYENC P., Drop-size distributions and vertical air motions in a thunderstorm as inferred from Doppler radar observations at vertical incidence, Note Technique CRPE/96, février 1981.
- (317) KLAPISZ C., WEILL A., Mean horizontal wind in inversion-capped convective boundary layer, Note Technique CRPE/97, février 1981.
- (318) MAZAUDIER C., Etude expérimentale des perturbations de courants ionosphériques à St-Santin (Traitement des données), Note Technique CRPE/100, mars 1981.
- (319) MAZAUDIER C., BLANC M., Electric currents above St-Santin. I- Data; II- Model, Note Technique CRPE/108, août 1981.
- (320) MAZAUDIER C., BLANC M., Documentation des programmes permettant d'éditer les données de St-Santin, Document de Travail CRPE/1081, septembre 1981.
- (321) ROORYCK M., Recueil de statistiques d'affaiblissements mesurés sur les liaisons à point nodal de Montparnasse (novembre 1979 à décembre 1980), Document de Travail CRPE/1088, décembre 1981.

- (322) TACONET O., WEILL A., Vertical velocity field and convective plumes in the atmospheric boundary layer as observed with an acoustic Doppler sodar, Note Technique CRPE/98, mars 1981.
- (323) WEILL A., Sodar micrometeorology : a review, Note Technique CRPE/104, juillet 1981.
- (324) WEILL A., VIDAL-MADJAR D., LOUIS J.F., Dissipation length in a stable layers, Note Technique CRPE/102, mai 1981.

## THESES

- (401) FONTAINE D., Etude théorique de la morphologie et de la dynamique des zones aurorales diffuses, Thèse de 3ème cycle, Paris VI, 27 avril 1981.
- (402) GOLE P., Dépolarisation des ondes hyperfréquences par les cristaux de glace atmosphérique sur des trajets satellite-terre, Thèse de 3ème cycle, Université de Nice, 22 mai 1981.
- (403) LEMAITRE Y., Etude thermodynamique et dynamique des lignes de grains observées à Korhogo pendant l'expérience COPT 79, Thèse de 3ème cycle, Paris VII, 15 décembre 1981.
- (404) MARTIN Ph., Traitement de signaux géophysiques, procédé de calcul du spectre d'une image de radar de télédétection à ouverture synthétique, Thèse de Docteur-Ingénieur ENST, 23 juin 1981.
- (405) PONTHEIU J.J., Les sources d'énergie de la thermosphère en région aurorale : une étude par diffusion incohérente, Thèse de 3ème cycle, Paris VI, 23 octobre 1981.
- (406) RAUCH J.L., Contribution à l'étude du rôle des ondes cyclotroniques ioniques observées à bord des satellites GEOS-1 et GEOS-II. Trace de rayon dans un magnétoplasma à trois composantes, Thèse de 3ème cycle, Paris VI, 10 septembre 1981.

REVUES A PARAITRE EN 1982

- (501) ALCAYDE D., BERNARD R., Modelling of the lower thermosphere : contributions of incoherent scatter observations, J. Atmos. Terr. Phys., 44 (2), 95-109, 1982.
- (502) ANDERSON R.R., HARVEY C.C., HOPE M., TSURUTANI B.T., EASTMAN T.E., ETCHETO J., Plasma waves near the magnetopause, J. Geophys. Res., 1982.
- (503) BERNARD R., MARTIN Ph., THONY J.L., VAUCLIN M., VIDAL-MADJAR D., A C band radar calibration for determining surface soil moisture, Remote Sensing Environm., 1982.
- (504) BLANC M., Magnetospheric convection effects at midlatitudes. I- Saint-Santin observations, J. Geophys. Res., 1982.
- (505) BLANC M., Magnetospheric convection effects at midlatitudes. III- Theoretical interpretation, J. Geophys. Res., 1982.
- (506) BLANC M., ALCAYDE D., KELLY J.D., Magnetospheric convection effects at midlatitudes. II- A joint Chatanika - Saint-Santin study of the April 12, 1978, magnetic storm, J. Geophys. Res., 1982.
- (507) CHONG M., ROUX F., TESTUD J., Three-dimensional air motions from dual Doppler radar data, in "Recent Progress in Radar Meteorology", Atmospheric Technology n° 13, NCAR, 1982.
- (508) COLLECTIF, Groupe de réflexion, Projet d'extension des études "Télécom" de la division RPE, Document de Travail CRPE/1090, janvier 1982.
- (509) DEL POZO C., Etude théorique de la convection aurorale et comparaison avec des mesures par radar à diffusion incohérente, Thèse de 3ème cycle, Paris VI, mars 1982.
- (510) ETCHETO J., CHRISTIANSEN P.J., GOUGH M.P., TROTIGNON J.G., Dual spacecraft studies with GEOS-1 and ISEE-1 of generation regions and mechanisms for non thermal continuum radiation, J. Geophys. Res., 1982.

- (511) ETCHETO J., CHRISTIANSEN P.J., GOUGH M.P., TROTIGNON J.G., Dual spacecraft studies with GEOS-1 and ISEE-1 of generation regions and mechanisms for non thermal continuum radiation, Symposium sur les Résultats des Satellites IMS, Ottawa, mai 1982.
- (512) EYMARD L., WEILL A., Investigation of clear air convective structures in the P.B.L. using a dual Doppler radar and a Doppler sodar, J. Appl. Meteo., 1982.
- (513) FERAUDY H. de, HIGEL B., Plasma boundaries at  $6.6 R_e$  as observed by GEOS-2 : Large plasmopause discontinuity and injection events. Discussion of diamagnetic effects, Planet. Space Sci., 30 (5), 483-489, 1982.
- (514) FERAUDY H. de, LEMBEGE B., Electrostatic radiation in a hot magnetoplasma : intrinsic diffraction or interference effects, Phys. Fluids, 1982.
- (515) FONTANARI J., BAUER P., ALCAYDE D., Seasonal changes in thermospheric molecular oxygen : a solar activity control, Geophys. Res. Lett., 9 (5), 551-554, 1982.
- (516) GENDRIN R., ROBERT P., Temps de groupe et largeur de bande de signaux modulés simultanément en amplitude et en fréquence, Ann. Télécomm., 1982.
- (517) GOLE P., MON J.P., Etude statistique de la dépolarisation par la glace, Ann. Télécomm., 1982.
- (518) HAUSER D., AMAYENC P., Exponential size distributions of raindrops and vertical air motions deduced from vertically pointing Doppler radar data by using a new method, J. Appl. Meteo., 1982.
- (519) HIGEL B., WU LEI, Geosynchronous electrodensity and plasmopause characteristics : first statistical studies from the measurements of GEOS-2 active wave relaxation sounder, J. Geophys. Res., 1982.
- (520) KLAPISZ C., WEILL A., Mean horizontal wind in inversion-capped convective boundary layer, J. Appl. Meteor., 1982.



- (521) LAVERGNAT J., LEQUEAU D., PELLAT D., ROUX A., Non linear radiation of an electron beam in the whistler range : Tentative theoretical model, Phys. Fluids, 1982.
- (522) LEMAITRE Y., Etude dynamique et thermodynamique de lignes de grain tropicales observées à Korhogo pendant l'expérience COPT 79, J. Rech. Atmos., 1982.
- (523) LEMBEGE B., Contribution à l'étude des ondes électrostatiques électroniques dans un plasma maxwellien : Expérience en laboratoire, théorie et applications à la géophysique spatiale, Thèse de Doctorat d'Etat, Paris VII, 18 février 1982.
- (524) LEMBEGE B., Drift effect on electrostatic modes in a hot magnetoplasma, Plasma Phys., 1982.
- (525) LEMBEGE B., Perpendicular distribution of electrostatic electron cyclotron radiation. Part I : Very dense and dense plasma conditions, Phys. Fluids, 1982.
- (526) LEMBEGE B., Perpendicular distribution of electrostatic electron cyclotron radiation. Part II : Medium and low dense plasma conditions, Phys. Fluids, 1982.
- (527) LEMBEGE B., DEBRIE R., Drift effect on electrostatic modes in an unmagnetized plasma. Part I : Parallel propagation, Phys. Fluids, 1982.
- (528) LEMBEGE B., JONES D., Propagation of electrostatic upper hybrid emissions and Z-mode waves at the geomagnetic equatorial plasmopause, J. Geophys. Res., 1982.
- (529) LEMBEGE B., PELLAT R., Stability of a thick two-dimensional quasi-neutral sheet, Phys. Fluids, 1982.
- (530) MAZAUDIER C., Electric currents above St-Santin. Part I : Data, J. Geophys. Res., 87 (A4), 2459-2464, 1982.

- (531) MAZAUDIER C., BLANC A., Electric currents above St-Santin. Part II : Model, J. Geophys. Res., 87 (A4), 2465-2480, 1982.
- (532) MON J.P., Backward and forward scattering of microwaves by ice particles : a review, Radio Sci., 1982.
- (533) MOUPFOUMA F., Distribution statistique des intensités de pluie et des affaiblissements dus à la pluie en climats équatorial et tropical, Ann. Télécomm., 1982.
- (534) NORRIS A.J., JOHNSON J.F.E., SOJKA J.J., WRENN G.L., CORNILLEAU-WEHRLIN N., PERRAUT S., ROUX A., Experimental evidence for the acceleration of thermal electrons by ion cyclotron waves in the magnetosphere, J. Geophys. Res., 1982.
- (535) PERRAUT S., Wave-particle interactions in the ULF range : GEOS-1 and -2 results, Planet. Space Sci., 1982.
- (536) PERRAUT S., ROUX A., ROBERT P., GENDRIN R., SAUVAUD J.A., BOSQUED J.M., KREMSEK G., KORTH A., A systematic study of ULF waves above  $F_{H^+}$  from GEOS-1 and -2 measurements and their relationships with proton ring distributions, J. Geophys. Res., 1982.
- (537) RAMAT P., JUY M., ROORYCK M., Effets de la propagation sur les liaisons Terre-Satellite dans les bandes 11 et 14 GHz, Ann. Télécomm., 1982.
- (538) ROBERT P., GENDRIN R., PERRAUT S., ROUX A., PEDERSEN A., GEOS-2 identification of fastly moving field-aligned current tubes at substorm onsets, J. Geophys. Res., 1982.
- (539) ROUX A., PERRAUT S., RAUCH J.L., VILLEDARY C. de, KREMSEK G., KORTH A., YOUNG D.T., Wave particle interactions near  $\Omega_{He^+}$  onboard GEOS-1 and -2. 2- Generation of ion cyclotron waves and heating of  $He^+$  ions, J. Geophys. Res., 1982.
- (540) ROUX F., TESTUD J., Pressure and temperature fields from dual-Doppler radar measurements, J. Atmos. Sci., 1982.

- (541) TACONET O., WEILL A., Vertical velocity field in the convective boundary layer as observed with an acoustic Doppler sodar, Boundary Layer Meteo., 1982.
- (542) TACONET O., WEILL A., Convective plumes in the atmospheric boundary layer as observed with an acoustic Doppler sodar, Boundary Layer Meteo., 1982.
- (543) THIEL J., LEMBEGE B., Electrostatic electron cyclotron radiation from a point source, Phys. Fluids, 25 (3), 551-565, 1982.
- (544) VAUCLIN M., VIEIRA S.R., BERNARD R., HATFIELD J.L., Spatial variability of surface temperature along two transects of a bare soil, Water Resour. Res., 1982.
- (545) VIAL F., FELLOUS J.L., Réflexion des ondes de marée dans un profil de température mésosphérique, C.R. Acad. Sci., 294 (2), 95-98, 1982.
- (546) WEILL A., Techniques de mesure, limitations, représentativité dans la couche limite atmosphérique, European Center for Medium Range Forecasts, 1982.
- (547) WEILL A., VIDAL-MADJAR D., LOUIS J.F., Dissipation length in stable layers, Boundary Layer Meteo., 1982.
- (548) WU LEI, GENDRIN R., HIGEL B., Behaviour of the interplanetary and magnetospheric electric fields during very intense storms, Ann. Géophys., 1982.
- (549) WU LEI, GENDRIN R., HIGEL B., Relationships between the polar wind electric field and the magnetospheric convection electric field, Geophys. Res. Lett., 1982.
- (550) ZI MIN-YUN, WU LEI, GENDRIN R., HIGEL B., The Harang discontinuity and the evening plasmopause boundary : a STARE-GEOS intercomparison, J. Atmos. Terr. Phys., 1982.

DIFFUSION NOTE TECHNIQUE CRPE/115 - RAPPORT D'ACTIVITÉ CRPE - 1981

<b>CNET</b>		<b>CEPHAG</b> - Grenoble	M. LACOUME
M. le Directeur	<b>DIR</b>	<b>CERGA</b> - Grasse	M. le Directeur
M. le Directeur Adjoint	<b>DIR</b>	<b>CESR</b> - Toulouse	M. le Directeur
M. COLONNA	<b>DIR</b>	<b>CNES</b> - Paris	MM. SACOTE (34) BRACHET
M. VINCENT CARREFOUR	<b>DIR</b>		
M. DESLANDES	<b>SG</b>		
MM. BLOCH	<b>DICET</b>		
LEMEZEC	<b>DICET</b>	Toulouse	M. le Directeur Bibliothèque
THUE	<b>DICET</b>		
Mme. PILLET	<b>DICET</b>	<b>CNRS</b> - Paris	M. le Directeur Général Scientifique
M. DUQUESNE	<b>DIGAT</b>		M. AUBRY Bibliothèque
MM. CONRUYT	<b>PAA</b>		MM. DAMGE (5e AD) BELVAUX (3e AD)
SPIZZICHINO	<b>PAA</b>		
MM. DUBOS	<b>PAB</b>		
BOITHIAS	<b>PAB</b>	<b>CRG</b> - Garchy	M. le Directeur
EYMARD	<b>PAB</b>		
FELDMANN	<b>PAB</b>	<b>DGRST</b> - Paris	M. DE LAMARE
LANGER	<b>PAB</b>		
LAURETTE	<b>PAB</b>	<b>DRET</b> - Paris	MM. BONGRAIN BRISAUD
LOMBARD	<b>PAB</b>		Mme. SPITZLEÏ
NOBLANC	<b>PAB</b>		
PAYET	<b>PAB</b>	<b>EERM</b> - Boulogne	MM. PASTRE ANDRE
SOULIER	<b>PAB</b>		
M. MEREUR	<b>LAA</b>		
MM. JERPHAGNON	<b>LAB</b>	<b>ESA</b> - Paris	Documentation
DUPUIS	<b>LAB</b>		
HANBABA	<b>LAB</b>	<b>GRGS</b> - Toulouse	M. le Directeur
JOINDOT	<b>LAB</b>		
LASSUDRIE	<b>LAB</b>	<b>INAG</b> - Paris	MM. PETIT AUBERT
VASSALO	<b>LAB</b>		
M. CAMUS	<b>GRENOBLE</b>		
MM. SCHWARTZ	<b>RENNES CCETT</b>	<b>LAMP</b> - Aubière	MM. SOULAGE ISAKA ROSSET
PONCIN	<b>RENNES CCETT</b>		
M. GUEGUEN	<b>ENST</b>	<b>LMD</b> - Palaiseau	MM. BERROIR SADOURNY
Bibliothèques	<b>SDI (2) - EDB</b>		
M. REVAH	<b>PAB/RPE</b>	<b>LOAA</b> - Lille	M. le Directeur
M. BAUER	<b>PAB/RPE</b>		
Chefs/Départements	<b>PAB/RPE (07)</b>	<b>LPAEA</b> - Toulouse	MM. FONTAN GUEDALIA
Chefs/Groupes	<b>PAB/RPE (18)</b>		
Labos	<b>PAB/RPE (08)</b>	<b>LPCE</b> - Orléans	M. le Directeur MM. BEGHIN FEIX Bibliothèque (2)
Bibliothèque	<b>PAB/RPE (15)</b>		
Comité/Direction	<b>CRPE (21+10)</b>		
<b>DAII</b>		<b>LPSP</b> - Verrières	M. le Directeur
MM. BUSTARRET			
ROZEMARYN		<b>LSEET</b> - Toulon	M. CROCHET
<b>DTRN</b>			
M. le Directeur		<b>S.A.</b> - Verrières	M. le Directeur

