



Rapport d'activité CRPE pour l'année 1982

- 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 1982. Note technique CRPE n°128. 1983. hal-02191921

HAL Id: hal-02191921

<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02191921>

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 (55)

**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 / 128**

**RAPPORT D'ACTIVITE CRPE
POUR L'ANNEE 1982**

120



16 SEP. 1983

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

NOTE TECHNIQUE CRPE/128

**RAPPORT D'ACTIVITE CRPE
POUR L'ANNEE 1982**

PAB/RPE

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



Le Directeur

I. REVAH

Le Directeur Adjoint

P. BAUER

Mai 1983

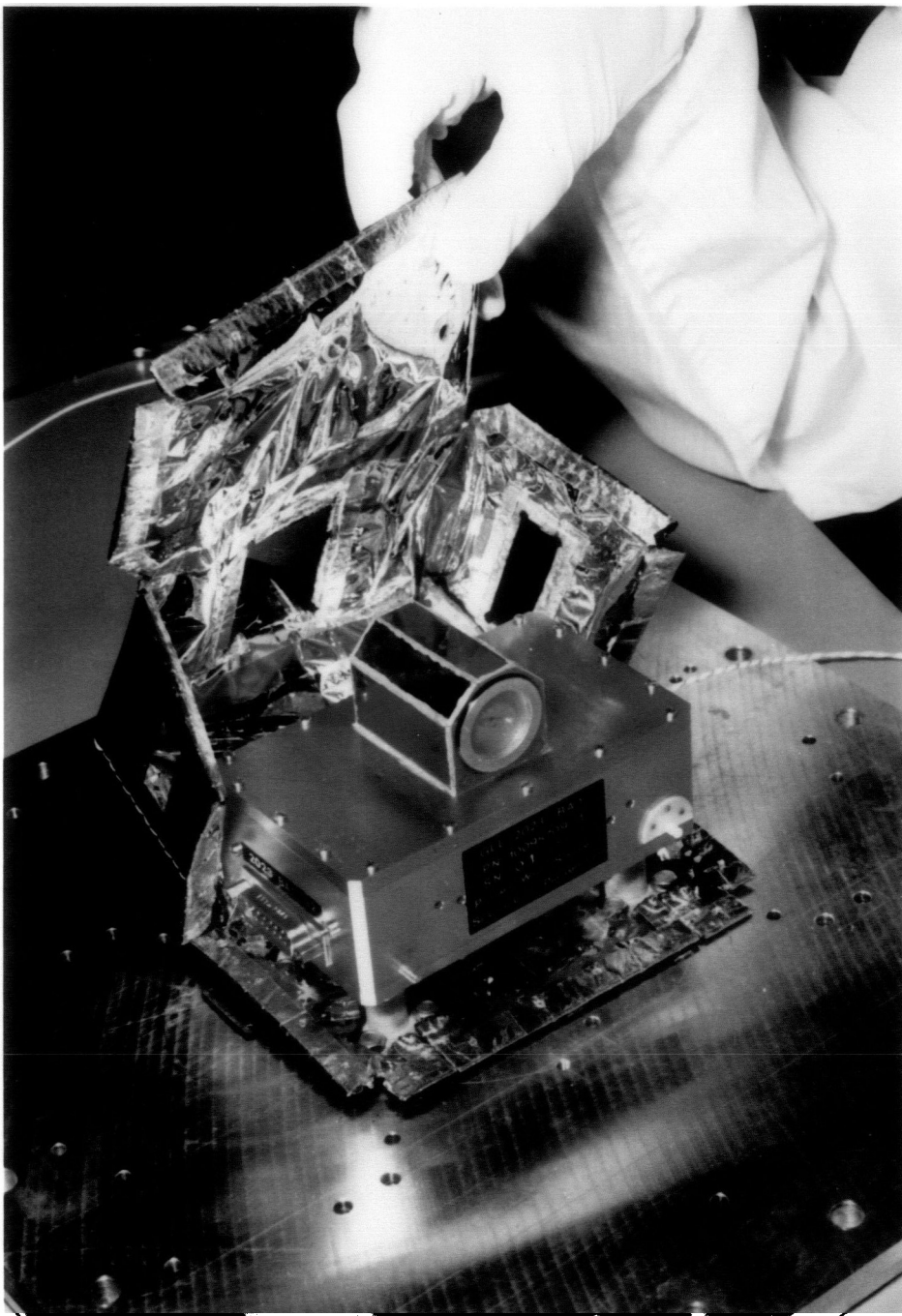
TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	1
II.	ATMOSPHERE BASSE ET MOYENNE	7
II.1	ETUDE PAR TELEDETECTION DE LA SURFACE TERRESTRE	7
II.1.1	Etude par télédétection du bilan hydrique des sols et de ses relations avec la couche de surface atmosphérique	8
II.1.2	Application à l'océanographie de la télédétection hyperfréquence	10
II.2	DYNAMIQUE DES ECHANGES ENERGETIQUES DANS LA BASSE TROPOSPHERE PAR SONDAGE ACOUSTIQUE DOPPLER	11
II.2.1	Cadre général de l'étude	11
II.2.2	Principaux résultats obtenus	12
II.2.3	Développement instrumental	15
II.2.4	Activités futures et collaboration internationale	15
II.3	DYNAMIQUE DE LA CONVECTION NUAGEUSE ET DES PRECIPITATIONS	16
II.3.1	Objectifs scientifiques et moyens mis en oeuvre	16
II.3.2	Analyse et publications de résultats antérieurs	16
II.3.3	Exploitation scientifique de l'expérience COPT 81	17
II.3.4	Amélioration du matériel	21
II.3.5	Projets	22
II.4	ETUDE DE L'ATMOSPHERE MOYENNE : PHYSICO-CHIMIE ET DYNAMIQUE	22
II.4.1	Dynamique de la haute mésosphère et de la basse thermosphère	23
II.4.1.1	Radars météoriques	23
II.4.1.2	Sondeurs	27

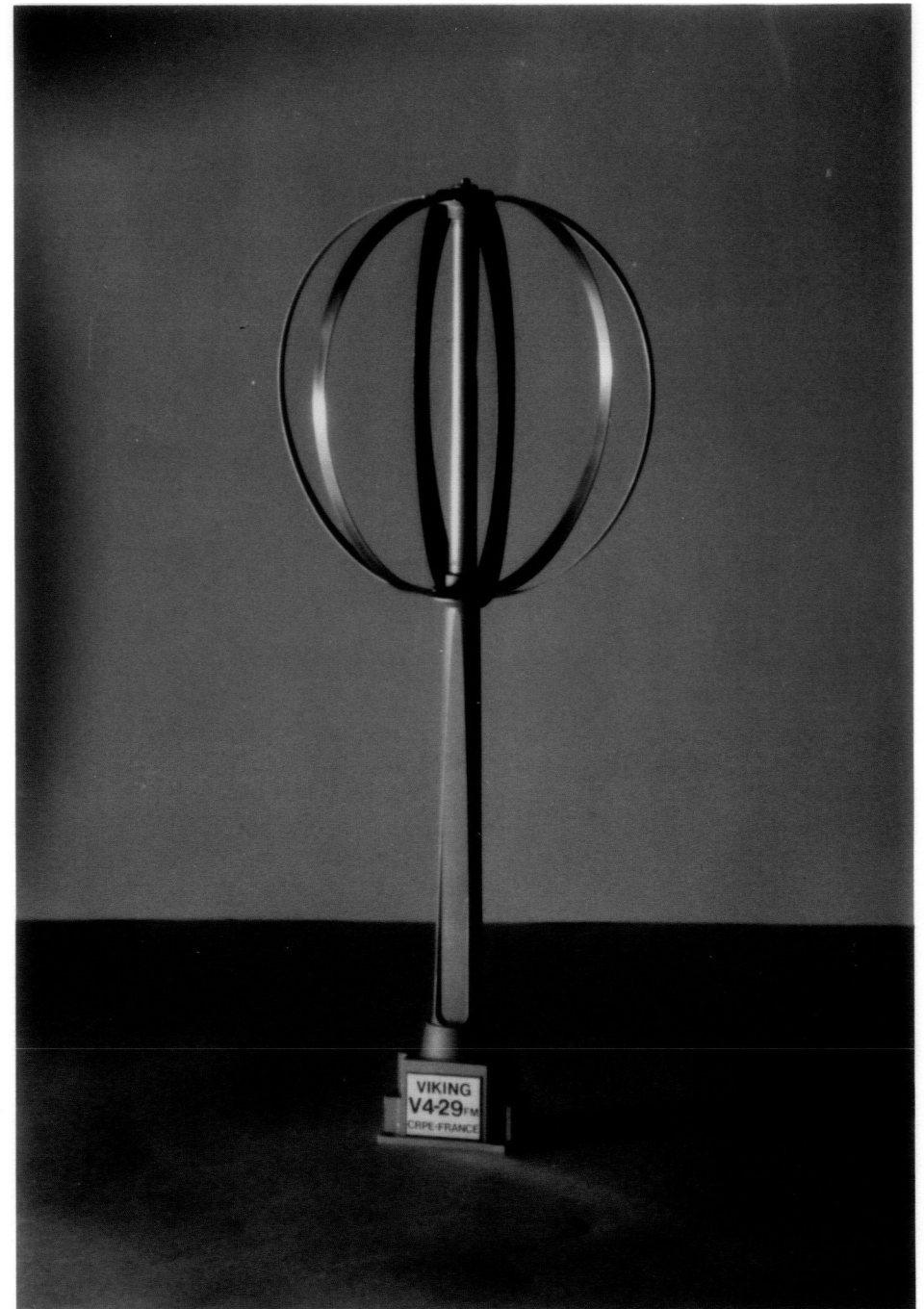
II.4.2	Etude par diffusion incohérente de la photochimie de la mésosphère	28
II.4.3	Radar cohérent. Etude des interactions troposphère-stratosphère	29
III.	ELECTROMAGNETISME, THEORIE DES COMMUNICATIONS ET PROPAGATION	33
III.1	PROPAGATION	33
III.1.1	Propagation en air clair	33
III.1.2	Propagation en présence d'hydrométéores	35
III.2	TRAITEMENT DE SIGNAL APPLIQUE AUX COMMUNICATIONS	40
III.2.1	Transformées en nombres entiers	40
III.2.2	Taux d'erreur dans un système numérique en présence d'interférence intersymbole	40
III.2.3	Traitement adaptatif d'antennes	41
III.2.4	Mesure de la fréquence d'un signal bruité par comptage du nombre de passages par zéro du signal et de sa dérivée	42
IV.	ELECTRODYNAMIQUE A GRANDE ECHELLE DE L'ATMOSPHERE IONISEE	45
IV.1	ETUDES EXPERIMENTALES	46
IV.1.1	Moyens sol	46
IV.1.1.1	EISCAT	46
IV.1.1.2	Morphologie de la région aurorale	46
IV.1.1.3	Orage magnétique. Effet dynamo à moyenne latitude	49
IV.1.2	Expériences embarquées	51
IV.1.2.1	Satellite ARCAD 3	51
IV.1.2.2	Expériences nouvelles : GIOTTO, INTERBAL, OPEN	55
IV.1.2.3	Satellites GEOS 2	55

IV.2 ETUDES THEORIQUES ET MODELISATION	58
IV.2.1 Modélisation de la répartition des particules ionisées de l'ionosphère	58
IV.2.2 Théorie et modélisation de la convection magnétosphérique	60
IV.2.2.1 Calculs linéaires analytiques et semi-analytiques	60
IV.2.2.2 Simulation numérique	62
V. RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE TERRESTRE ET PLANETAIRE RESONANCE DES PLASMAS	63
V.1 IONOSPHERE	63
V.1.1 Sondes à impédance mutuelle EBF	63
V.1.2 Etude de la dynamique d'un faisceau d'ions dans l'ionosphère	65
V.1.3 Rayonnement d'un faisceau d'électrons modulé en fréquence	65
V.1.4 Aspects "ondes" des mesures du satellite Auréol 3	66
V.2 MAGNETOSPHERE	68
V.2.1 Rôle des ondes d'Ultra Basse Fréquence dans la dynamique du plasma magnétosphérique	68
V.2.2 Théorie quasi-linéaire des interactions onde-particule	68
V.2.3 Ondes électrostatiques et aurores diffuses	72
V.2.4 Rayonnement radio planétaire	74
V.3 VENT SOLAIRE	76
V.4 THEORIES LIEES A DES EXPERIENCES EN LABORATOIRE ET CONSEQUENCES GEOPHYSIQUES	76
V.4.1 Interactions non linéaires onde-onde	76
V.4.2 Propriétés du rayonnement d'une antenne dans un magnétoplasma ; continuum non thermique	78
V.5 TRAITEMENT DU SIGNAL	79

VI. PROCESSUS PHYSIQUES A MOYENNE ECHELLE DANS LES PLASMAS SPATIAUX	81
VI.1 ETUDE DES STRUCTURES DE COURANTS PARALLELES LOCALISES	81
VI.2 MECANISME DE FORMATION DES ARCS	82
VI.3 PROCESSUS DE FORMATION DE SAUTS DE POTENTIEL LE LONG DES LIGNES DE FORCES "DOUBLES COUCHES"	82
VI.4 STABILITE D'UNE COUCHE NEUTRE A DEUX DIMENSIONS	84
VI.5 RECONNEXION MAGNETIQUE AU "NEZ" DE LA MAGNETOPAUSE	84
VI.6 ETUDE DE DENSITE DU PLASMA DANS LA QUEUE MAGNETOSPHERIQUE	85
VI.7 FLUCTUATIONS ELECTRIQUES LIEES AUX COURANTS ALIGNES ET AUX IRREGULARITES DE DENSITE	86
ORGANIGRAMMES	89 à 103
BIBLIOGRAPHIE	105 à 131



Préamplificateur magnétique réalisé dans le cadre du projet JOCONDE d'étude de la magnétosphère de Jupiter. Ce capteur est embarqué sur le satellite GALILEO de la NASA. Le cliché montre la mise en place des revêtements thermiques.



Projet de satellite polaire Viking : antenne électrique à anneaux de l'expérience mutuelle impédance menée en coopération avec le Danish Space Research Institute et le Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement. Cette antenne permet la mesure de la densité électronique et de la température du plasma.

I. INTRODUCTION

L'année 1982 marque la première année d'existence du CRPE "nouvelle formule" qui regroupe désormais environ 160 agents installés dans les locaux du CNET à Issy-les-Moulineaux et dans ceux du campus du CNRS à Saint-Maur. Conformément aux grandes orientations fixées par le CNET et le CNRS le CRPE, laboratoire commun à ces deux organismes, conduit une activité de recherche dans trois domaines : la physique des plasmas naturels, la physique de la basse et de la moyenne atmosphère et les télécommunications. Afin d'éviter l'éventuel cloisonnement des activités qui aurait pu naître de deux implantations géographiques, le CRPE a affiché la volonté d'assurer la présence des trois pôles scientifiques principaux dans chacune des implantations et a consenti un effort important sur le plan de l'organisation et des moyens logistiques mis en place à Saint-Maur. Ce choix a entraîné d'importants travaux et l'achat d'équipements informatiques devant permettre le développement harmonieux des différentes activités sur les deux sites. Bien que d'autres efforts soient encore nécessaires, notamment la construction d'une salle de réunion et d'une cantine à Saint-Maur, les conditions de travail sont dès à présent jugées favorables.

Le laboratoire est organisé en départements subdivisés en groupes : quatre départements ont une vocation scientifique et deux ont une vocation technique. Ils se répartissent comme suit :

- Electrodynamique des Milieux Ionisés (EMI),
- Ondes dans les Plasmas Naturels (OPN),
- Atmosphère Basse et Moyenne (ABM),
- Electromagnétisme, Théorie des communications et Propagation (ETP),
- Instrumentation Terrestre et Spatiale (ITS),
- Traitement Informatique de Données (TID).

L'organisation précise de ces départements est décrite dans un organigramme joint en annexe au rapport d'activité.

Les études menées au CRPE relèvent des départements Terre-Océan-Atmosphère-Espace (sections 18 et 19) et Sciences Physiques pour l'Ingénieur (sections 8 et 9) du CNRS. Rattaché au Centre Paris B du CNET, dont il est une des divisions, le CRPE voit également son activité soumise à l'évaluation des Comités de

Programme "Sciences pour les Télécommunications" et "Transmission" du CNET. En dépit d'une apparente diversité, de grandes convergences marquent ces études. Sur le plan instrumental d'abord, il faut noter l'usage à partir de l'espace ou du sol de capteurs hyperfréquences aussi bien dans l'étude des plasmas, dans celle de la convection nuageuse et des interfaces sol-atmosphère ou océan-atmosphère, que dans celle des phénomènes de propagation hertzienne en télécommunications. De même les efforts de modélisation dans le domaine de la dynamique des fluides et de l'électromagnétisme sont une des caractéristiques communes aux divers groupes. Ces convergences ont depuis une dizaine d'années assuré une mobilité interne très importante permettant ainsi à des spécialistes des plasmas d'entreprendre des études fondamentales en télécommunication et à des spécialistes de l'ionosphère de mettre en oeuvre des études sur l'atmosphère météorologique et la télédétection. Cette mobilité thématique a permis l'émergence de nouvelles disciplines au sein du CRPE et a donc constitué une source d'enrichissement scientifique du laboratoire. Il va de soi que ces efforts de reconversion doivent être estimés à leur juste valeur et ne pas porter préjudice à ceux qui s'y prêtent. S'agissant du financement des programmes, les actions de recherche du 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 le cadre d'une collaboration bi-nationale ou européenne faisant intervenir, pour les programmes spatiaux, le CNES, l'ASE ou la NASA.

Les études sur la Basse et la Moyenne Atmosphère ont été marquées en 1982 par l'exploitation des observations effectuées lors de la campagne d'étude de la convection tropicale COPT 81 qui s'est déroulée en mai et juin 1981 en Côte d'Ivoire. C'est ainsi que, pour la première fois, a été obtenue une description tridimensionnelle de l'écoulement de l'air et du champ de précipitations au sein d'une ligne de grains. De même les activités de télédétection de la surface terrestre ont connu un fort développement avec la mise en service du diffusiomètre hélicoptère construit avec le concours financier du CNES, l'exploitation de données d'imagerie infrarouge obtenues grâce aux satellites défilants de la NOAA et une ouverture vers l'étude de la surface océanique concrétisée par une participation au projet de satellite de télédétection ERS 1 de l'ASE. Un projet à plus long terme de radiomètre embarquable sur le futur satellite océanographique "Poséïdon" a fait également l'objet d'une étude. Enfin, les travaux relatifs à l'atmosphère moyenne ont abouti à un projet de transformation du sondeur ionosphérique de Saint-Santin en radar Stratosphère-Troposphère (ST) destiné à l'étude des mouvements et des échanges dans la stratosphère et la troposphère.

La Physique des Plasmas naturels a donné lieu en 1982, en ce qui concerne l'électrodynamique aurorale, à un important travail expérimental portant sur l'analyse des dérives des ions observées au sol grâce au sondeur à diffusion incohérente européen EISCAT (dans le cadre du GRECO GEISRAM) et sur les populations ioniques de haute et basse énergies détectées dans l'espace grâce au satellite franco-soviétique ARCAD 3. L'étude à grande et moyenne échelle du plasma de la magnétosphère et de son interface avec le vent solaire, bénéficiant des longues séries d'observations des satellites GEOS et ISEE et s'appuyant sur un important effort dans le domaine de l'interprétation théorique, a abouti ces dernières années à plusieurs résultats remarquables :

- identification de tubes de courants localisés,
- identification d'un mécanisme de formation des arcs auroraux,
- simulation numérique des doubles couches,
- observation du phénomène de reconnexion magnétique au nez de la magnétopause,
- découverte d'îlots de plasma froid dans la queue de la magnétosphère.

S'agissant des activités techniques, plusieurs projets spatiaux sont en cours de réalisation dans le domaine de la physique des plasmas naturels. Ils concernent la sonde spatiale GIOTTO lancée vers la comète de Halley, la mission ISPM destinée à l'étude du vent solaire hors du plan de l'écliptique, la mission GALILEO relative à la magnétosphère de la planète Jupiter, la mission VIKING concernant les processus d'accélération des électrons sur les lignes de force aurorales, la mission franco-soviétique INTERBAL d'étude de la magnétosphère et le projet PICPAB concernant l'émission d'ions de haute énergie à partir de la navette spatiale.

Le CRPE, dans ce domaine des plasmas naturels, est également associé à plusieurs propositions : ESSAIM, devenue CLUSTER, en cours d'évaluation à l'Agence Spatiale Européenne, qui concerne l'étude "vectorielle" des frontières externes de la magnétosphère et OPEN, mission projetée par la NASA pour la fin de la décennie, qui est destinée à l'exploration globale du plasma de l'environnement terrestre.

L'engagement récent du CRPE dans le domaine des Télécommunications, s'est traduit en 1982 par un développement rapide. Ainsi une campagne d'envergure, PACEM, destinée à l'étude physique des trajets multiples affectant les liaisons hertziennes, a été conduite avec succès durant les mois de Juin et Juillet.

Cette expérience a mis en jeu diverses compétences du CRPE dans le domaine de la propagation hertzienne et dans celui de la météorologie au niveau de la couche limite atmosphérique. Des événements très caractéristiques ont pu être observés et font en ce moment l'objet d'un effort d'interprétation théorique. Une campagne, statistique cette fois-ci, PACEM II de longue durée (3 ans) est en cours de préparation. En propagation électromagnétique en présence d'hydrométéores, la campagne d'observations COPT 81 en Côte d'Ivoire, a donné des résultats significatifs : les données météorologiques relatives à la convection profonde ont permis d'asseoir l'interprétation quantitative des observations. Enfin, en traitement du signal, les activités engagées 1982 sur les transformées en nombres entiers ont déjà abouti à un algorithme performant.

Parmi les projets de grande ampleur il faut signaler la préparation d'une balise devant être emportée par un satellite et fonctionnant à quatre fréquences entre 30 et 90 GHz. Elle est destinée à l'étude des conditions de propagation terre-satellite dans cette gamme de fréquence.

Les résultats évoqués ci-dessus sont le fruit de développements instrumentaux et d'élaborations de logiciels importants. Il convient de souligner ici les efforts des départements techniques qui en ont assumé la responsabilité. Ainsi, indépendamment d'un support technique des campagnes de mesure qui conduisent certains agents du laboratoire à être détachés, de manière permanente (dans les stations du sondeur à diffusion incohérente par exemple) ou de manière temporaire (campagne PACEM par exemple), des réalisations instrumentales de pointe sont à l'actif de ces départements. Nous pouvons citer :

- la fabrication d'un mini sondeur acoustique Doppler,
- le développement d'un système d'acquisition et de pilotage des stations du sondeur à diffusion incohérente basé sur des microprocesseurs,
- la construction d'un diffusiomètre hélicopté avec l'appui du Centre Technique du CNES,
- le développement de détecteurs à galettes microcanaux pour la sonde GIOTTO,
- la maîtrise d'oeuvre de capteurs électromagnétiques pour les sondes VIKING, ISPM et GALILEO.

De longue date les agents du CRPE ont été associés à des tâches d'enseignement notamment au niveau des DEA ; toutefois une nouvelle étape est en cours avec la désignation probable du CRPE comme laboratoire pilote d'un nouveau DEA de l'Université de Paris VII "Méthodes Physiques en Télédétection" placé sous la

responsabilité de R. GENDRIN. Cette nouvelle activité, en dehors de l'intérêt propre que porte le CRPE à la télédétection des surfaces, a reçu l'appui des organismes de tutelle du CRPE ainsi que celui du Ministère de l'Education Nationale et du CNES.

La réalisation du présent rapport d'activité est due à S. MAYRARGUE.

Les études relevant du secteur TOAE font l'objet des chapitres :

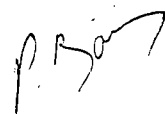
- II Atmosphère basse et moyenne (rédigé par MM. P. AMAYENC, F. BERTIN, J. TESTUD, A. WEILL, D. VIDAL-MADJAR).
- IV Electrodynamique à grande échelle de l'atmosphère ionisée (rédigé par MM. M. BLANC, D. ROUX).
- V Processus physiques à moyenne échelle dans les plasmas spatiaux (rédigé par MM. A. ROUX, J. SOLOMON).

Les études relevant du secteur SPI sont décrites au chapitre III : Electromagnétisme, Théorie des communication et Propagation (rédigé par Mme S. MAYRARGUE et M. J.P. MON).

En 1982, 51 chercheurs du CRPE étaient engagés dans les études relevant du département TOAE (33 dépendant de la section 18 et 18 de la section 19) et 14 chercheurs menaient des études intéressant le département SPI (sections 8 et 9). La liste bibliographique montre que la diffusion des résultats scientifiques est réalisée dans des revues de niveau international (38 articles publiés en 1982 et 59 à paraître en 1983 dans des revues à comité de lecture), dans des ouvrages collectifs (6 publications) et dans des notes internes (32 documents). Enfin 4 Thèses de 3ème Cycle, 1 Thèse de Docteur Ingénieur et 1 Thèse de Doctorat d'Etat ont été soutenues.



I. REVAH



P. BAUER

II. ATMOSPHERE BASSE ET MOYENNE

Les recherches au département "Basse et Moyenne Atmosphère" sont conduites par quatre groupes, concernés respectivement par les thèmes suivants : a) Interfaces sol-atmosphère et océan-atmosphère, b) Dynamique de la couche limite atmosphérique, c) Convection nuageuse et précipitations, d) Dynamique de l'atmosphère "moyenne" (stratosphère et mésosphère).

Ces quatre groupes présentent en commun les traits suivants :

- 1) Ils s'appuient sur des techniques expérimentales de type "radar" : sodar, diffusiomètre, radar météorologique Doppler, radar ionosphérique à diffusion incohérente ;
- 2) La conduite de leurs recherches passe par l'organisation de grandes campagnes coopératives nationales ou internationales impliquant un vaste ensemble de moyens expérimentaux gérés par différents organismes ;
- 3) Leurs études, bien qu'ayant un caractère fondamental, s'inscrivent dans un effort national de recherche qui vise à des applications à moyen ou long terme, en particulier dans le domaine de la prévision climatique.

L'activité des quatre groupes du département en 1982 est décrite plus en détail ci-après.

II.1 ETUDE PAR TELEDETECTION DE LA SURFACE TERRESTRE

L'étude du bilan hydrique du sol et de ses relations avec la couche de surface atmosphérique, engagée depuis plusieurs années, entre maintenant dans une phase opérationnelle. L'année 1982 a vu également l'ouverture vers l'étude de la surface océanique à partir de l'espace. Cette activité orientée vers le long terme a donné lieu à des propositions de participation scientifiques et techniques du CRPE à deux satellites de télédétection : Poséidon et ERS-1. On trouvera donc deux parties : l'une consacrée au bilan hydrique, l'autre à l'engagement en océanographie spatiale.

II.1.1 Etude par télédétection du bilan hydrique des sols et de ses relations avec la couche de surface atmosphérique

L'objectif est d'étudier le bilan hydrique des sols à l'échelle régionale. Deux méthodes expérimentales sont utilisées :

- mesure de l'humidité superficielle des sols à l'aide du diffusiomètre RAMSES du CNES et du diffusiomètre en bande C héliportable (en développement) et interprétation à l'aide de modèles de transfert d'eau dans le sol ;

- imagerie satellitaire infrarouge et interprétation en terme d'échange énergétique entre le sol et l'atmosphère à l'aide d'un modèle de couche limite couplé avec un modèle de surface.

a) Diffusiométrie en bande C

La campagne de mesures de septembre 1981 a été dépouillée dans sa totalité. Elle a permis l'approfondissement de deux sujets : l'intercomparaison de méthodes de mesure "in situ" de l'humidité de surface et l'interprétation des données du diffusiomètre RAMSES en terme d'évaporation.

L'intercomparaison de diverses méthodes de mesure de l'humidité de surface dont le diffusiomètre en bande C, une sonde gamma neutronique de surface, des tensiomètres et des humidimètres capacitifs a permis de montrer que ces derniers (conçus et réalisés par le Laboratoire Hyperfréquences et Semi Conducteurs de l'Université de Lille) sont d'excellents outils pour le contrôle automatique de l'humidité des sols (403), (706). Le groupe a demandé au CNES le financement d'une vingtaine de ces appareils. Ce travail doit normalement être sous-traité.

Les mesures de diffusiométrie faites à l'aide du diffusiomètre RAMSES du CNES durant la campagne de "La Minière" ont été utilisées comme données d'entrée d'un modèle de transfert hydrique dans le sol mis au point précédemment. La figure 1 montre le résultat de ce travail concernant l'évaporation cumulée sur un mois, et la comparaison avec la réalité de terrain obtenue par mesure de profils hydriques de profondeur à l'aide d'une sonde à neutrons (337), (424).

Cette année a vu les premiers vols d'essais du diffusiomètre héliporté. Ils ont montré que l'ensemble du radar fonctionne normalement en vol. Deux problèmes restent à résoudre (305). Le premier est lié au bruit de phase de l'oscillateur YIG utilisé dans l'émetteur, qui a pour effet d'élargir le spectre mesuré. Le second, partiellement résolu, vient de la synchronisation de l'analyse du signal avec la modulation de fréquence du radar.

Cet instrument sera utilisé en 1983 pour des mesures au-dessus de la mer et surtout d'humidité de surface au cours d'une campagne nationale coopérative de télédétection, aux mois de juin et de septembre autour du site couche limite de l'INAG à Voves. Les laboratoires coopérants sont la station de Bioclimatologie du CNRA - Versailles et l'Institut de Mécanique de Grenoble.

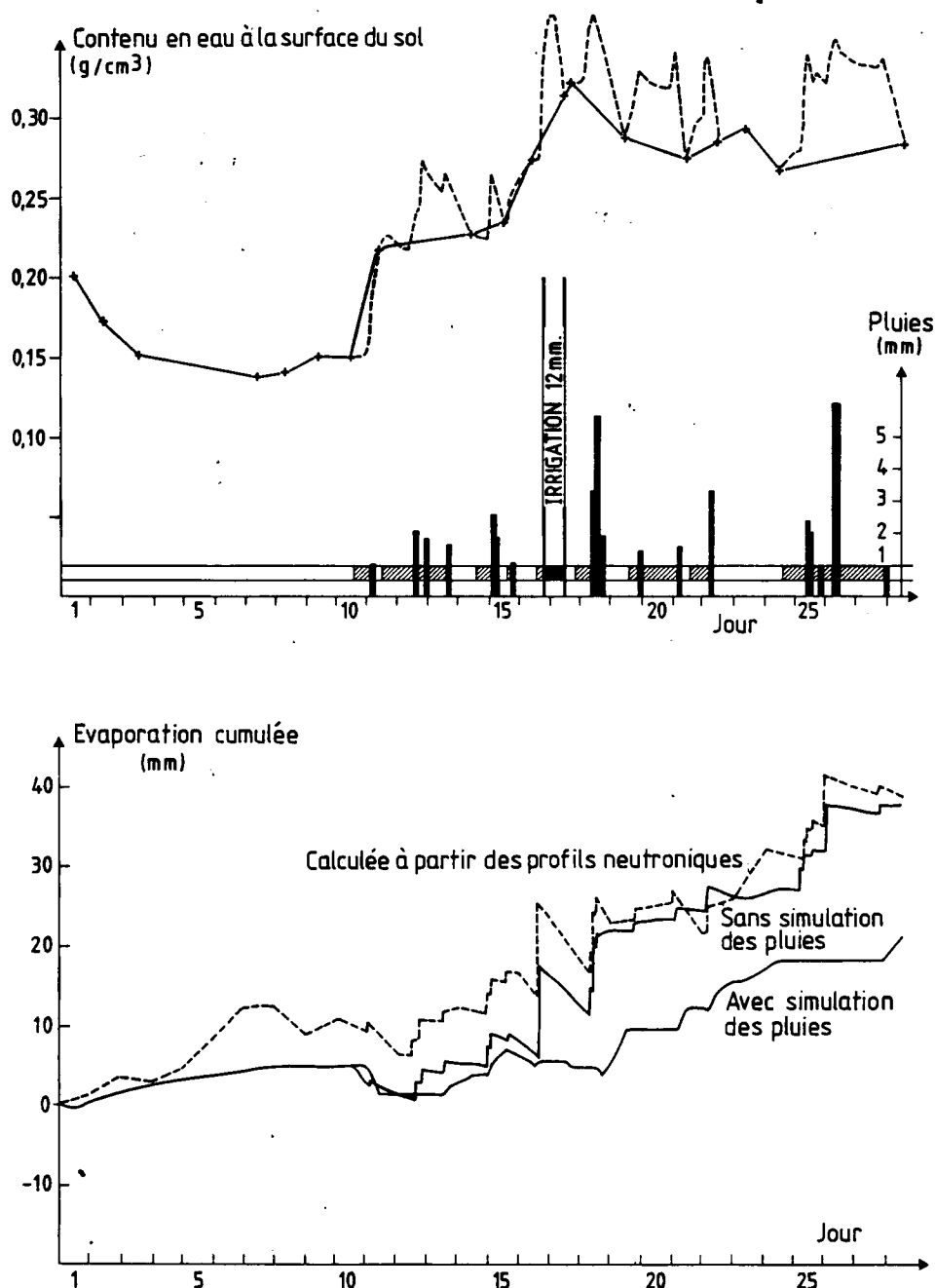


Fig. 1. Calcul de l'évaporation d'un sol nu à partir de la mesure de l'humidité de surface à l'aide d'un diffusiomètre en bande C.

Le graphique du haut (trait plein) représente l'évolution sur un mois de l'humidité superficielle (entre 0 et 5 cm) d'un sol nu déduite des mesures faites avec le diffusiomètre RAMSES du CNES sur le site du CNRA à La Minière à raison d'un point par jour.

Le graphique du bas donne l'évaporation cumulée calculée à l'aide d'un modèle de transfert hydrique dans le sol utilisant comme données d'entrée les mesures du diffusiomètre. Une première courbe donne l'évaporation quand on simule les épisodes pluvieux, une autre donne le même paramètre quand on ignore la pluie. La comparaison avec la réalité de terrain obtenue par sonde neutronique montre un excellent accord de la simulation sans pluie.

b) Imagerie infrarouge satellitaire et échange énergétique

La mise au point des logiciels de traitement de l'imagerie des radiomètres à haute résolution spatiale des satellites défilants de la NOAA a été poursuivie. Les logiciels, maintenant opérationnels, comportent un programme de navigation (en collaboration avec le Département "Traitement d'Images" du CNES - Toulouse) corrigeant les déformations, un programme de corrélation d'images permettant d'obtenir une superposition à un ou deux éléments d'image près, un programme d'étalonnage.

Une superposition précise des images rend donc possible l'étude de la texture thermique de la Beauce et de son évolution au cours de l'année. Cette étude utilisera le fichier d'images constitué au cours de l'année 1982 avec la collaboration du Centre de Météorologie Spatiale de Lannion.

L'interprétation de l'imagerie thermique en terme d'échange énergétique entre sol et atmosphère doit se faire au travers d'un modèle de couche limite planétaire décrivant l'évolution de la couche de surface à l'échelle régionale. Sur ce sujet, l'année 1982 a été consacrée d'une part à un approfondissement des méthodes de modélisation et d'autre part au test de paramétrisation à l'interface sol/végétation/atmosphère.

L'étude détaillée des modèles existants nous a amenés au choix d'une méthode de calcul dite d'ordre 1,5 mise en oeuvre par les équipes de l'EERM. Une collaboration avec elles doit se développer afin d'aboutir à un modèle utilisable au cours de l'année 1983.

D'autre part le test du modèle d'évapotranspiration mis au point par R. BERNARD pendant son séjour à l'Université de Californie-Davis sur des mesures faites à Davis a permis de tirer les conclusions suivantes : si les variations diurnes des flux sont correctement décrites, la température de surface de la végétation est surestimée par le modèle. La cause de ce désaccord est à rechercher d'une part dans la valeur relative des différentes résistances (aérodynamique, du couvert et stomatique) et d'autre part dans l'existence d'advection qui ne peut pas être prise en compte par le modèle (034), (304), (341), (729).

II.1.2 Application à l'océanographie de la télédétection hyperfréquence

La compétence acquise par le groupe en matière de télédétection hyperfréquence, ainsi que l'importance croissante des études climatologiques en relation avec la dynamique des océans, ont conduit le groupe télédétection à s'orienter également vers les applications des techniques hyperfréquence à l'océanographie.

Cette orientation est liée au projet de satellite d'applications océanographiques de l'Agence Spatiale Européenne ; ce satellite doit être lancé vers 1990.

Dès l'origine du projet, le diffusiomètre héliportable a été conçu pour servir aux expériences préparatoires à ERS 1. Dans cette optique, le diffusiomètre héliporté sera utilisé, en collaboration avec le CNEXO et l'IFP, dans le cadre de campagnes visant à tester l'utilisation du diffusiomètre bande C du satellite ERS 1 pour la mesure de la tension du vent de surface sur l'océan.

D'autre part, le CRPE a soumis au CNES deux propositions visant à réaliser un radiomètre hyperfréquence embarqué sur satellite, permettant la mesure du contenu intégré en vapeur d'eau et en eau liquide sur une verticale au-dessous du satellite. Ce radiomètre, utilisant les propriétés d'absorption de la vapeur d'eau dans une raie à 22.235 GHz, a été proposé dans le cadre de deux satellites : le satellite Poséidon du CNES, et le satellite ERS 1 de l'Agence Spatiale Européenne, où il sera couplé à un radiomètre infrarouge proposé par le Rutherford Appleton Laboratory (G.B.).

Dans les deux cas, l'apport important de la mesure du contenu en vapeur d'eau et en eau liquide est de permettre la correction de trajet troposphérique pour les altimètres embarqués sur ces deux satellites. Cette correction permet une mesure de la distance satellite-surface de la mer avec une précision de l'ordre de 5 cm.

Une telle précision sur la topographie de la surface des océans permet de mettre en évidence les courants et les tourbillons océaniques, facteurs importants dans le transport d'énergie par l'océan.

La décision de financement du CNES sera prise courant 1983. Cependant, le groupe a entrepris une étude scientifique sur le principe de la mesure du contenu en eau vapeur ou liquide, par radiométrie hyperfréquence, et une pré-étude de phase B sur la réalisation du radiomètre est entreprise par le département ITS du CRPE.

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

II.2.1 Cadre général de l'étude

L'ensemble des études repose sur l'utilisation de sondages acoustiques Doppler associés à d'autres mesures météorologiques en collaboration avec des équipes comme celles de l'EERM, l'IOPG et l'INRA. Jusqu'en 1980, les études entreprises étaient essentiellement eulériennes, basées sur des mesures ponctuelles des phénomènes turbulents défilant au-dessus des antennes du sodar triple Doppler. Les mesures effectuées ont permis de décrire, interpréter et modéliser les phénomènes importants

pour la dynamique de la couche limite atmosphérique. Ces résultats ont été publiés et ont récemment été synthétisés lors d'une contribution invitée à l'Université de Calgary (036). Nos objectifs ont maintenant évolué vers la couche limite à moyenne échelle. Les études de couche limite perturbée et de couche limite hétérogène, ainsi que l'étude de l'organisation convective nécessitent une échelle horizontale plus grande : à cette échelle moyenne ou régionale, un réseau de mesures devient indispensable. Remarquons que ces études sont importantes pour la météorologie synoptique, l'interprétation des données de télédétection et l'analyse de certains problèmes climatiques : elles doivent en effet permettre une meilleure compréhension et paramétrisation du rôle des hétérogénéités thermiques, hydriques et dynamiques dans la couche limite atmosphérique.

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 acceptés (032), (748) : sont mises en évidence à la fois les propriétés microscopiques et macroscopiques des cellules convectives observées de façon eulérienne ; le résultat paraissant le plus important est l'estimation du flux de chaleur sensible transporté par chaque plume convective et le bilan de flux pour l'ensemble des mouvements ascendants.

b) Couche limite stable et paramétrisation

Les données du sodar et du mâât météorologique concernant deux campagnes de "couche limite hivernale" ont été exploitées, en collaboration avec J.F. LOUIS, chercheur du Centre Européen de Météorologie (READING G.B.).

Le calcul des longueurs de dissipation (échelle caractéristique permettant la fermeture des équations de l'hydrodynamique et reliant l'énergie cinétique au taux de dissipation turbulente) 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 à J.F. LOUIS de choisir un schéma de paramétrisation simple dans le cadre du modèle de météorologie européen.

Un article faisant le bilan de cette étude a été accepté (751).

Bien que la recherche des longueurs de dissipation soit un problème plus théorique qu'expérimental, cette étude a été l'occasion de faire le lien entre les deux points de vue, le problème posé étant issu de considérations purement théoriques. Une autre étude de ce type est entreprise actuellement sur les relations entre les ondes et la turbulence.

c) Etudes à moyenne échelle

L'expérience prospective de septembre 1980 à plusieurs sodars est actuellement exploitée (en collaboration avec l'EERM et l'IOPG de Clermont-Ferrand) ; le flux représentatif d'une grande surface a pu être estimé à partir d'une mesure ponctuelle de flux en altitude. Cette étude montre d'autre part la grande difficulté à trouver des altitudes caractéristiques pour la couche limite à l'intérieur d'une région et justifie une approche à moyenne échelle du problème de la couche limite nocturne : sur le terrain homogène de la Beauce, pendant la nuit, la hauteur de la couche limite est extrêmement variable en quatre points de mesure alors que pendant la journée on trouve une échelle verticale unique bien représentative.

d) Convection tropicale en ciel clair

L'utilisation conjointe des deux radars Doppler du CRPE en présence de traceurs artificiels, du sodar Doppler trois antennes et 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, a fourni de nombreuses données sur la convection en air clair ou en présence de cumulus de beau temps. La campagne Landes 79 ayant permis de développer une méthodologie d'étude et d'interprétation des données radar dans la couche limite (009), différents aspects de la convection tropicale sont actuellement en cours d'exploitation :

- l'organisation convective en grosses structures est étudiée essentiellement à partir des données radars ;

- grâce à des mesures de photogrammétrie des nuages effectuées au cours de l'expérience du 6 juin, la dynamique de la couche limite a pu être reliée à la structure de la couche nuageuse, du point de vue des nuages pris individuellement, et en moyenne spatiale (205) (Figure 2) ;

- connaissant la position des nuages au cours du temps, une étude des transferts de quantité de mouvement et de chaleur est entreprise, utilisant les données du réseau de surface.

D'autre part, la campagne COPT a permis de mettre en évidence les perturbations de la couche limite par les systèmes précipitants. Une étude est en cours sur les modifications énergétiques de la couche limite après le passage de précipitations.

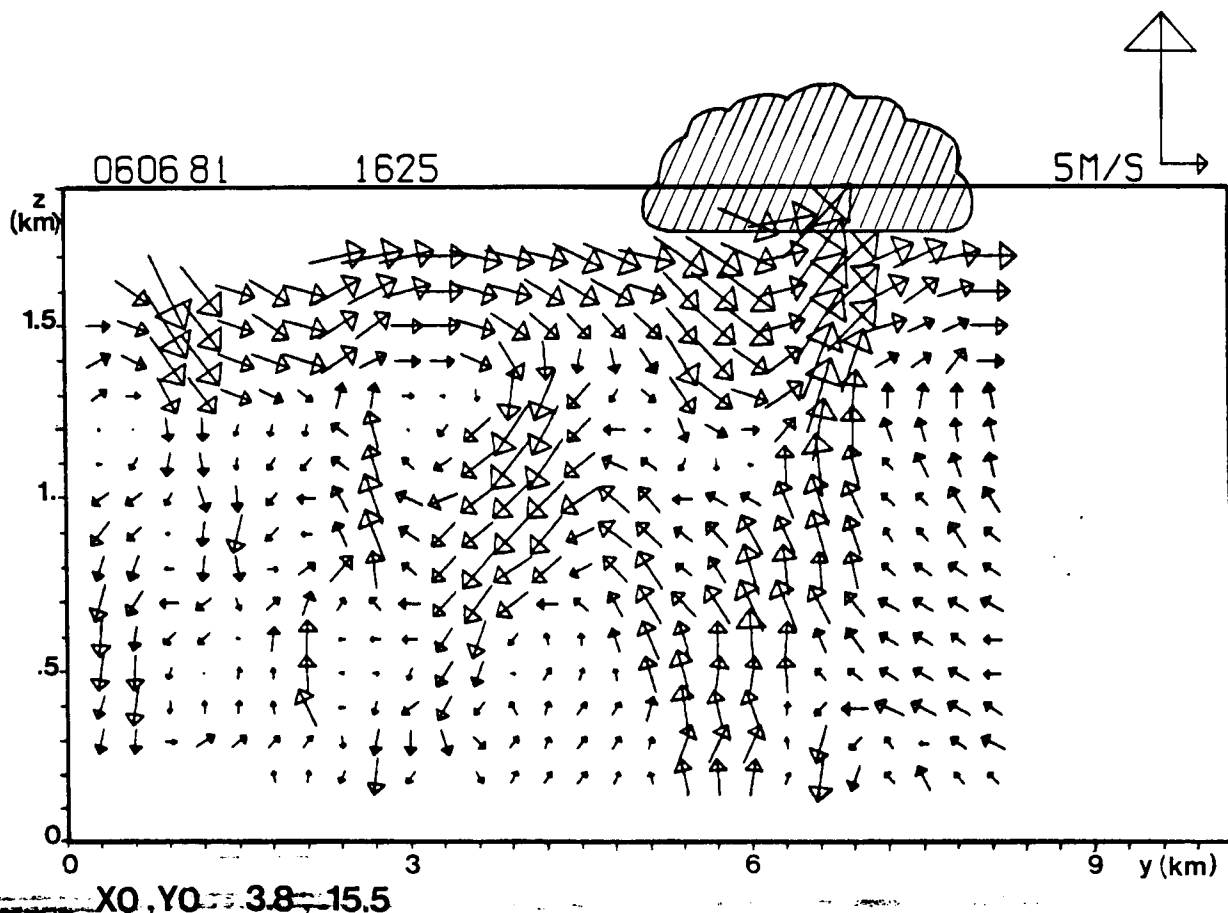


Fig. 2. COPT 31 06.06.81
Convection de beau temps dans la Couche Limite Atmosphérique

Le champ de vitesse du vent au-dessus d'une région de $15 \times 15 \text{ km}^2$ est obtenu à partir des radars RONSARD, et les caractéristiques géométriques des petits cumulus dans cette même zone sont déduites de mesures de photogrammétrie effectuées par l'OPG. Plusieurs cumulus ont pu être replacés sur le champ de vent, ainsi que l'illustre cette coupe verticale du champ de vent dans un plan Est-Ouest ; un petit cumulus humilis surmonte une cellule convective traversant toute la couche limite (à $Y = 6 \text{ km}$). La circulation sous nuageuse peut être ainsi observée expérimentalement.

Cette expérience permet donc de déterminer la relation entre la dynamique du champ de vent en air clair et les nuages.

e) Le groupe a participé à l'expérience PACEM I (voir Chapitre III) en juin-juillet 1982 sur la propagation en ciel clair, et a développé la stratégie expérimentale de mesures atmosphériques. Cette campagne, en cours d'exploitation, permet au groupe d'une part d'appliquer ses connaissances de la couche limite à un problème concret, d'autre part d'appliquer ses recherches vers un problème intéres-

sant : la mise au point d'un modèle opérationnel de prévision de l'épaississement nocturne d'une couche d'inversion en site homogène.

II.2.3 Développement instrumental

Le minisodar Doppler a vu le jour cette année grâce au département ITS. Cet instrument dont les performances sont intéressantes pour la mesure des flux sera utilisé dans plusieurs de nos campagnes de mesures futures. Il intéresse aussi l'EDF pour l'étude de la dynamique des aéroréfrigérants sur le site de la centrale de CRUAS. Notons qu'un travail important de programmation temps réel a été entrepris par le département TID pour la réalisation de cet instrument, et la transformation du système d'acquisition d'un sodar triple pour le calcul du vent en temps réel.

II.2.4 Activités futures et collaboration internationale

Une campagne de mesures sur la transition mer-continent sera réalisée en Hollande, à De Bilt au printemps 1983, en coopération avec le KNRI (Institut Royal de Météorologie des Pays-Bas) et le Max Plank Institut de Hambourg (RFA). En 1984, une expérience d'étude des transferts à moyenne échelle sera effectuée dans le Sud-Ouest de la France. A cette expérience, définie conjointement avec le groupe Télédétection du CRPE participeront des équipes de Penn. State University et de Florida State University, dans le cadre d'une coopération NSF/CNRS.

Ces deux campagnes engagées pour les années 1983 et 1984 illustrent nos préoccupations futures.

1) Etude des déformations de l'écoulement atmosphérique et des transferts de quantité de mouvement depuis une côte jusqu'à l'intérieur des terres. Les applications principales concernent l'énergie éolienne et la diffusion des contaminants industriels à moyenne échelle.

2) Etude d'une couche limite à moyenne échelle dans une région de France typique : mise en évidence de la climatologie régionale du vent et étude des transferts de flux dans une région hétérogène. L'application principale est l'amélioration de la prévision régionale et la connaissance du transfert turbulent à l'échelle moyenne, directement utilisable en pollution atmosphérique.

II.3 DYNAMIQUE DE LA CONVECTION NUAGEUSE ET DES PRECIPITATIONS

II.3.1 Objectifs scientifiques et moyens mis en oeuvre

Depuis 1977, le groupe "Convection Nuageuse et Précipitations" assure l'exploitation scientifique du système RONSARD pour l'étude de la physique des systèmes précipitants. Les travaux réalisés ont porté aussi bien sur l'élaboration de nouvelles méthodes d'analyse que sur l'interprétation scientifique des résultats obtenus au cours de plusieurs expériences coopératives.

Les thèmes de recherche spécifiques, qui s'inscrivent dans un programme National de Recherche Atmosphérique, sont :

i) l'étude de la dynamique tridimensionnelle et de la thermodynamique des écoulements convectifs (identification des mécanismes et bilan des forces régissant la génération, la structure, l'entretien et le déplacement des systèmes) ;

ii) l'étude des mécanismes de développement des précipitations (formation, croissance, granulométrie ; rendement et bilan de la conversion eau nuageuse/eau précipitante) et de leurs interactions avec la dynamique à l'échelle du système ;

iii) l'étude de l'électrification des cellules orageuses (processus de création et de séparation des charges électriques).

Ces objectifs s'appliquent aussi bien aux précipitations stratiformes associées aux systèmes frontaux qu'à la convection profonde (orageuse). En ce qui concerne ce dernier phénomène, la priorité a été donnée aux études concernant la convection tropicale, en raison de son importance climatologique, à partir des données recueillies au cours de la campagne COPT 81, réalisée en Côte d'Ivoire.

Au cours de l'année, les chercheurs ont partagé leurs activités entre des travaux de valorisation de résultats acquis antérieurement (communications, publications) et le développement intensif de l'exploitation scientifique de la campagne COPT 81, suivant les objectifs affichés.

II.3.2 Analyse et publications de résultats antérieurs

a) Dynamique tridimensionnelle des écoulements convectifs

La méthodologie de restitution du champ de vent tridimensionnel et ses performances, à partir des données acquises simultanément par deux radars Doppler, ont été définitivement formulées dans un ensemble de plusieurs publications (102),

(718), (719), (749), (750). Dans l'analyse approfondie des performances de la méthode originale utilisée, un point nouveau mérite d'être mentionné. Au sein d'orages violents, il se produit parfois des descendances locales dans les basses couches de l'atmosphère, conduisant généralement à des dégâts matériels importants. La restitution (et donc l'étude) de tels phénomènes connus sous le nom de "downbursts" est possible à partir de la méthode proposée, alors qu'elle ne l'est pas par les approches classiques (314).

b) Granulométrie des précipitations

L'exploitation des résultats concernant la détermination des distributions dimensionnelles des hydrométéores et de la vitesse verticale de l'air à partir d'un radar Doppler en visée verticale, a été poursuivie. L'année 1982 a marqué un aboutissement certain dans la diffusion de l'approche originale utilisée (208), (328), (730), (731). Cette dernière a en effet été reprise par d'autres groupes scientifiques à l'étranger (NSSL, Norman ; MIT, Boston ; ETH, Zurich) avec lesquels se développent des collaborations. En outre, les comparaisons effectuées entre des résultats obtenus simultanément par les radars et à bord d'un avion instrumenté ont fourni la matière d'une validation mutuelle (208), (731) positive des deux techniques pour l'étude de la granulométrie des précipitations.

c) Phénomènes ondulatoires dans les écoulements frontaux

L'analyse de perturbations ondulatoires détectées au sein d'un écoulement frontal (observé dans l'expérience Fronts 77 en région parisienne) a été poursuivie et améliorée par la prise en compte de la superposition de plusieurs ondes. Ce travail, en cours de rédaction, fera l'objet d'une publication ultérieure.

II.3.3 Exploitation scientifique de l'expérience COPT 81

Il convient de rappeler que l'expérience COPT 81 a permis d'atteindre, pour la première fois en convection tropicale :

i) la description simultanée du champ de vitesse tridimensionnelle de l'écoulement de l'air et du champ de précipitations (grâce à l'utilisation des radars Doppler RONSARD) au sein de plusieurs lignes de grains ou d'orages de convection diurne isolés ;

ii) la détection de la signature au sol (réseau à maille fine de mesures météorologiques) et en altitude (radiosondages réguliers) du passage du système ;

iii) l'observation des caractéristiques des manifestations électriques associées au système (réseau de mesure électrique au sol et sondages en altitude).

C'est à partir des observations de cette campagne qu'ont été mis en place et harmonisés en 1982, les programmes de recherche, suivant les objectifs affichés. Ce travail a été effectué en collaboration avec d'autres laboratoires (EERM, LMD, LAMP, LPA, ONERA) en utilisant les possibilités de concertation scientifique et d'échanges de données, offertes par le Comité Scientifique COPT.

C'est ainsi qu'au cours de l'année ont été obtenus un premier ensemble de résultats significatifs concernant l'un des événements sélectionnés en priorité pour la conduite de travaux coopératifs, la ligne de grains du 22 juin 1981. Classique quant à son aspect général, l'étude de cette ligne de grains a révélé un ensemble de caractéristiques qui ont permis d'avancer plusieurs éléments d'interprétation quant à son fonctionnement dynamique :

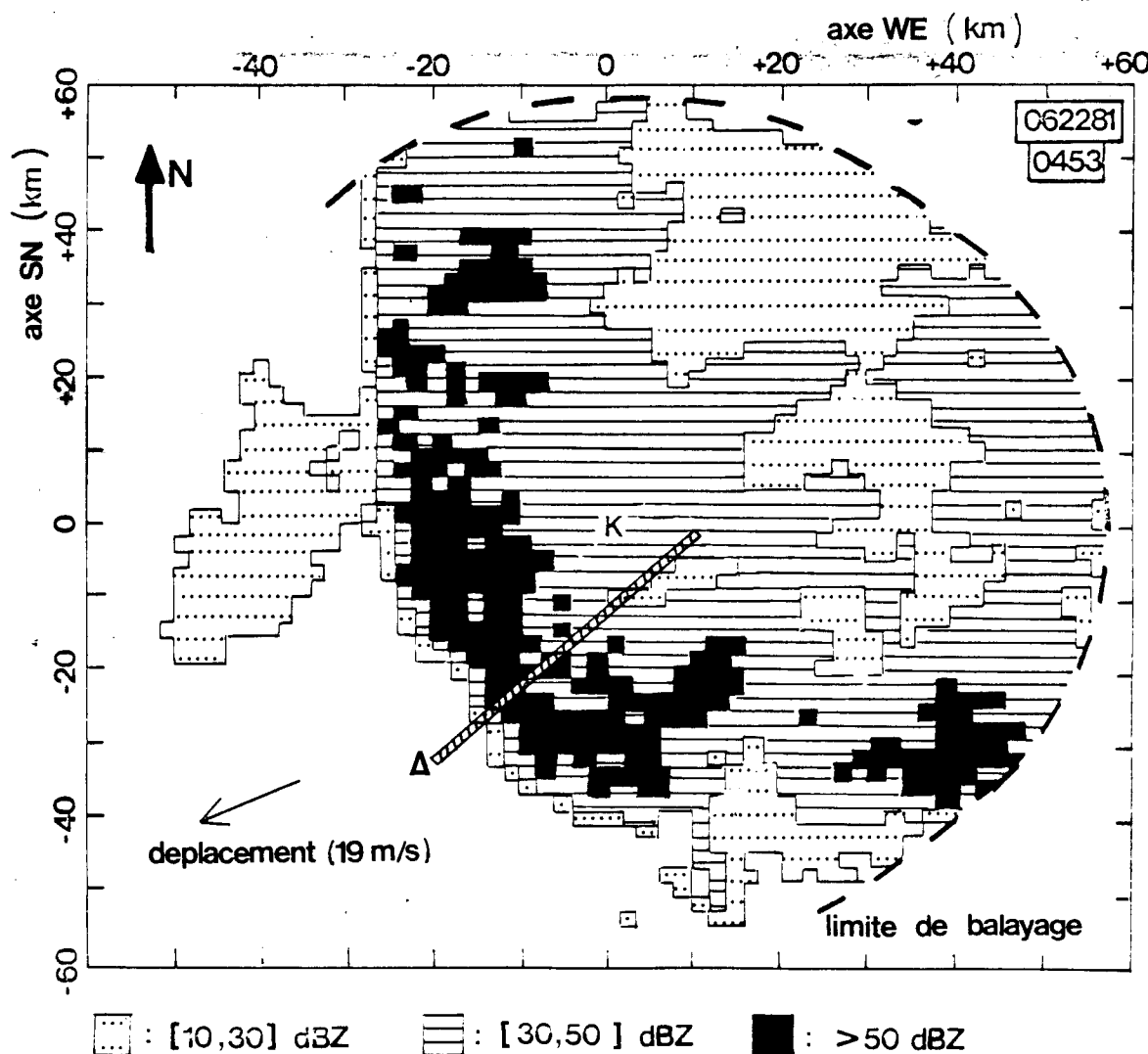


Fig. 3. Expérience COPT 81. Structure de la réflectivité radar (0.5 - 1.5 km) observée à partir du radar de Korhogo (K) à 0453 TU dans la ligne de grains du 22 juin 1981. Les fortes précipitations (50 mm/h) se situent à l'avant du système dans le front convectif. L'arrière correspond à une traîne de pluies stratiformes de plus faible intensité (quelques mm/h). La droite (Δ) indique la position de la coupe représentée sur la figure 4.

- Le système, d'une grande durée de vie (15 à 20 h) s'étend sur plusieurs centaines de kilomètres, se déplace vers l'ouest à 20 m/s, plus rapidement que le vent environnant, en préservant sa structure et son activité. Il est formé d'un front de convection violent à l'avant accompagné de fortes précipitations, suivi à l'arrière d'une longue traîne de précipitations stratiformes sur plus de 200 km (Figure 3).

- Dans la partie la plus active du front convectif, l'écoulement de l'air est quasi bidimensionnel (Figure 4). L'ascendance d'air chaud à l'avant du système est forcée par une poussée d'air froid injecté depuis l'arrière dans les basses couches (deux premiers kilomètres d'altitude).

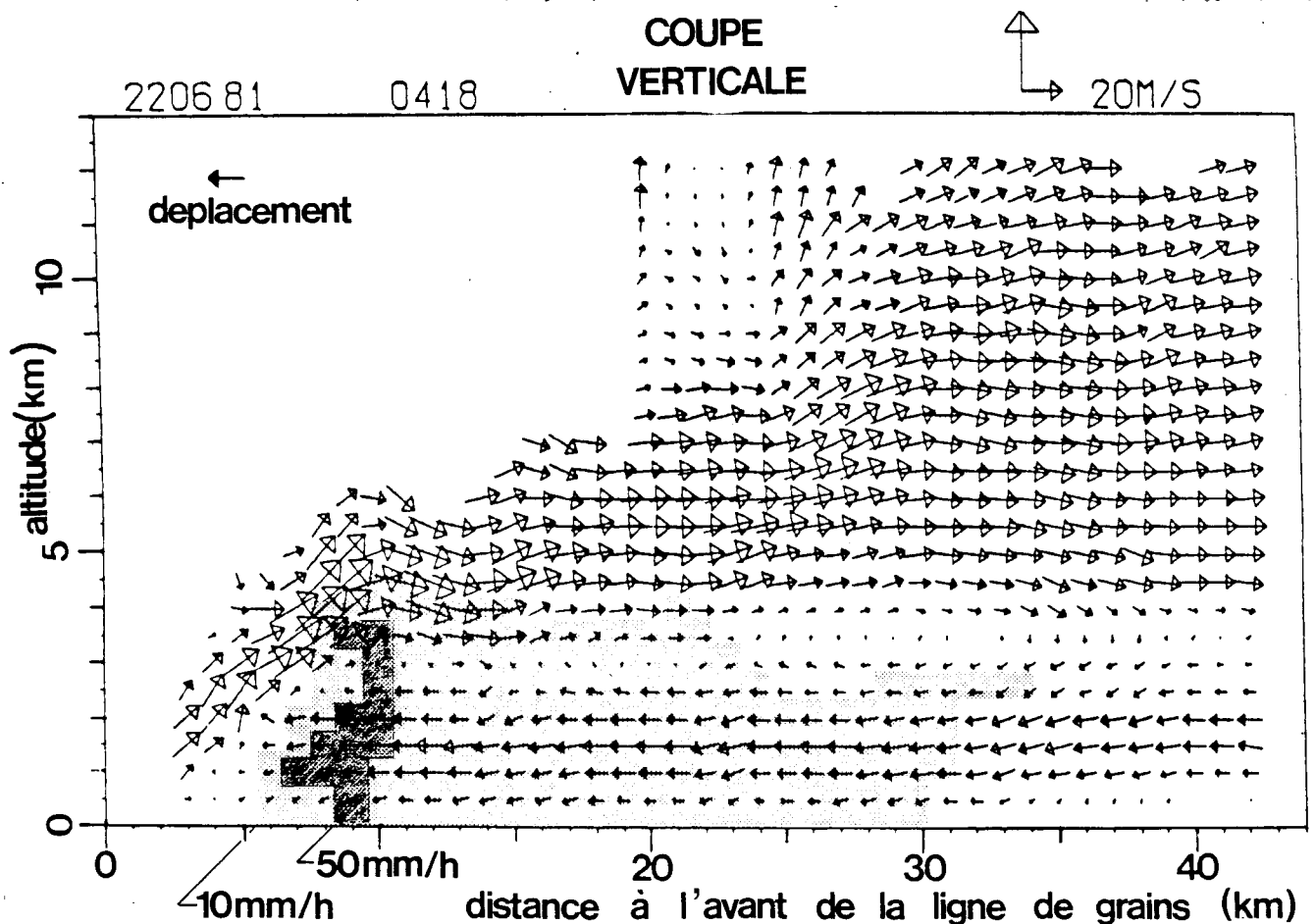


Fig. 4. Ecoulement de l'air (dans le repère en mouvement avec la ligne de grains) dans le plan vertical de la coupe Δ (voir figure 3) représentative des mouvements associés au front de convection. On a également indiqué les contours de taux précipitant (10 et 50 mm/h) déduits des données de réflectivité radar.

- La masse d'air froid est produite à l'arrière du système dans la zone de précipitations stratiformes, par une subsidence à moyenne échelle entretenue par le refroidissement dû à l'évaporation des précipitations. Elle joue un rôle essentiel dans l'entretien et le déplacement du front convectif.

- Les violentes précipitations observées dans le front de convection sont formées directement en phase liquide car les lignes de courant caractérisant les trajectoires des hydrométéores n'atteignent pas le niveau de glaciation.

- L'activité électrique la plus forte n'est pas localisée avec les pluies violentes mais plus à l'arrière, lorsque l'écoulement occupe l'ensemble de l'épaisseur de la troposphère (0-15 km). La nécessité de la phase glace dans les précipitations semble ainsi confirmée pour obtenir des mécanismes d'électrification efficaces du nuage.

Ces premiers résultats ont été rapidement communiqués dans la communauté nationale et internationale (204), (214), (347), (606), (607) et leur publication est envisagée en 1983.

Dans le volet des études relatives à la dynamique, on a pu utiliser une méthode développée auparavant (341) pour déterminer les forces de pression et de flottabilité à partir de la manipulation des équations de mouvement et des données de champ de vitesse tridimensionnelle. La similitude des résultats obtenus à basse altitude avec les observations du réseau sol (pression et température) a permis une validation directe de la méthode utilisée. La suite de l'étude vise à identifier les mécanismes dynamiques responsables de l'organisation, de l'entretien et du déplacement du système. Un effort tout particulier a été entrepris pour caractériser la structure dynamique à moyenne échelle à l'arrière du front convectif car c'est dans cette région qu'est engendrée la subsidence "froide" qui joue le rôle d'un courant de densité permettant l'entretien de la machine convective à l'avant. A ces fins, nous avons développé un traitement spécifique des données acquises par les deux radars (opérant en balayages coniques simultanés) pour atteindre la description du champ de vitesse à moyenne échelle avec une résolution horizontale de l'ordre de 5 km. Ces résultats viendront prolonger utilement ceux obtenus dans la partie convective à l'aide de la méthodologie COPLAN (résolution 1 km).

En ce qui concerne l'étude de la physique des précipitations une première approche a permis l'identification des régions de production et de consommation d'eau précipitante à partir du traitement de données de vitesse tridimensionnelle et des

équations de continuité de l'eau (vapeur, nuage et eau précipitante). Ceci constitue la première étape dans la modélisation des processus de croissance des précipitations, travail en cours de développement. Les paramétrisations nécessaires reposent en partie sur l'utilisation de résultats de granulométrie déduits d'observation radar en tir vertical et la prise en compte de relations statistiques entre les paramètres caractérisant les précipitations (réflectivité, taux précipitant, teneur en eau). De telles relations ont été établies à partir des traitements de mesures (au sol) de distributions dimensionnelles des gouttes, à l'aide du spectropluviomètre optique du CRPE, mis en oeuvre pendant la campagne.

Des travaux concernant l'électrification des nuages ont également été entrepris en collaboration étroite avec l'ONERA afin de relier les caractéristiques dynamiques de l'écoulement et les zones d'accumulation de charges en altitude, déduites des observations du réseau électrique au sol. Ce travail sera suivi du développement d'une modélisation des processus de création et de séparation des charges électriques, partant de l'écoulement tridimensionnel observés. Le cadre général de l'approche envisagée a été défini dans une étude préliminaire (405).

Enfin, il est utile de mentionner les relations de coopération étroites établies avec les équipes développant des modèles théoriques de convection profonde, appliqués soit à un cas de convection diurne isolée (23.06.1981, LMD) soit à une ligne de grains (24.06.1981, EERM). Des liens privilégiés ont été également établis et seront intensifiés avec l'équipe de MONCRIEFF et MILLER à Imperial College (Londres), connue pour ses travaux de modélisation de la convection tropicale.

L'exploitation des données de l'expérience COPT 81 sera intensivement poursuivie au cours de l'année prochaine. Outre le développement des thèmes d'étude approfondis sur l'observation de la ligne de grains du 22.06.1981, on envisage, bien entendu, le traitement d'autres observations sélectionnées qui apporteront des éléments comparatifs indispensables pour dégager des résultats de caractère général ou au contraire identifier des caractéristiques particulières. Le deuxième événement, dont l'étude a commencé en fin d'année, concerne une ligne de grains observée le 24.06.1981, qui présente des caractéristiques structurelles différentes de celles du premier cas étudié (aspect multicellulaire, circulation fortement tridimensionnelle).

II.3.4 Amélioration du matériel

Le programme de remise à niveau et de perfectionnement des radars RONSARD a été poursuivi au cours de l'année, en liaison avec le groupe technique du

département ITS chargé de la maintenance du système. Il s'achèvera en 1983, avec la fiabilisation des émetteurs, l'amélioration de la protection du matériel contre les foudroiements, la reconfiguration des antennes (amélioration du niveau des lobes secondaires), la correction d'anomalies de fonctionnement, l'amélioration des capacités d'acquisition et du système de visualisation en temps réel.

II.3.5 Projets

Deux projets étudiés en 1982, méritent d'être mentionnés. Le premier concerne la définition d'une expérience coopérative de grande envergure "FRONTS 84", en collaboration avec l'EERM, l'ONERA, le LAMP et le LMD et ouverte à d'autres participants. Destinée à l'étude des fronts convectifs, elle serait déployée dans le sud-ouest de la France en 1984 (411). Si la première tranche de financement (demandée auprès de l'ATP Recherche Atmosphérique de l'INAG) est acceptée, l'organisation et la préparation effective de l'expérience débiteront en 1983.

Le deuxième projet est relatif à la réalisation d'un radar à diversité de polarisation par transformation du radar 10 cm ANATOL de l'IOPG de Clermont-Ferrand (401). La collaboration établie entre notre groupe et l'IOPG pour la conception du projet serait poursuivie dans son exploitation scientifique. Si le financement est obtenu, les travaux techniques seraient réalisés par l'IOPG en 1983 pour permettre la participation de l'instrument à l'expérience FRONTS 84. L'intérêt essentiel d'un tel appareil est la possibilité de distinguer l'eau et la glace au sein du système précipitant observé, objectif qui à lui seul justifie les efforts importants accomplis par la communauté internationale de Physique des Nuages pour développer de tels équipements.

II.4 ETUDE DE L'ATMOSPHERE MOYENNE : PHYSICO-CHIMIE ET DYNAMIQUE

Au cours de l'année 1982, les études menées par le groupe "Atmosphère Moyenne" se regroupaient en trois centres d'intérêt :

a) phénomènes dynamiques, des ondes planétaires à la turbulence, dans la haute mésosphère et la basse thermosphère ; ces études utilisent les données des radars météoriques, du sondeur ionosphérique métropolitain et d'EISCAT (Norvège).

b) interaction ionosphère - atmosphère neutre dans la mésosphère et conditions de formation des ions négatifs et des agrégats en relation avec la dynamique de cette région ; ces études utilisent les données des sondeurs ionosphériques.

c) mécanismes physiques à l'interface troposphère - stratosphère (par ex. : turbulence observée en association avec des ondes de gravité ou des aérojets, coup de poing convectif en relation avec une zone orageuse sous-jacente, intrusion d'air stratosphérique liée aux zones frontales). La connaissance de la dynamique de la stratosphère et des échanges troposphère - stratosphère a des applications évidentes au problème de la pollution de la stratosphère, et aux problèmes de la prévision climatique. Ce programme d'étude de la stratosphère et de la troposphère repose d'une part sur le développement d'une instrumentation propre utilisant des éléments du sondeur de St-Santin (en particulier l'émetteur), et d'autre part sur des collaborations scientifiques avec les équipes possédant des radars ST en France et à l'étranger.

L'année 1982 a également vu la fin de l'exploitation des radars météoriques.

II.4.1 Dynamique de la haute mésosphère et de la basse thermosphère

II.4.1.1 Radars météoriques

a) Les mesures effectuées en 1977-1978 par un radar météorique du CNET implanté à Punta Borinquen (Porto Rico 18°N, 68°O) avaient fourni d'importants résultats relatifs aux diverses composantes du vent neutre à basse latitude.

Au cours des années suivantes, le radar a fonctionné sous la responsabilité du Pr. ROPER (USA). En raison de nombreuses difficultés (climat, défaillances techniques, manque de personnel) les données obtenues ont été peu nombreuses. Il a été possible, cependant, de comparer les résultats des mesures effectuées en août 1980 par ce radar et par le sondeur ionosphérique d'Arecibo distant d'une cinquantaine de kilomètres (733).

b) L'analyse de l'ensemble des données acquises de 1975 à 1980 avec le radar de Monpazier (44°N) s'est poursuivie.

- Des résultats relatifs aux variations saisonnières et de longue période (~1 jour) du vent zonal ont été présentés à Leeds (Royaume Uni) au cours du congrès de l'E.G.S. (331) et comparés aux résultats obtenus à Garchy (47°N) au cours des années 1970 à 1976 (Figures 5 à 7). Malgré la proximité géographique des deux stations, il existe pour la circulation moyenne (Figure 5) quelques différences notables en-dessous de 90 km. Ces différences sont liées, pour une bonne part, à la variabilité de la circulation d'une année sur l'autre, surtout l'hiver, observée depuis la stratosphère jusqu'aux altitudes météoriques et peut être pour une autre part au cycle solaire. Cependant les caractéristiques des composantes saisonnières principales sont tout à

VENT ZONAL

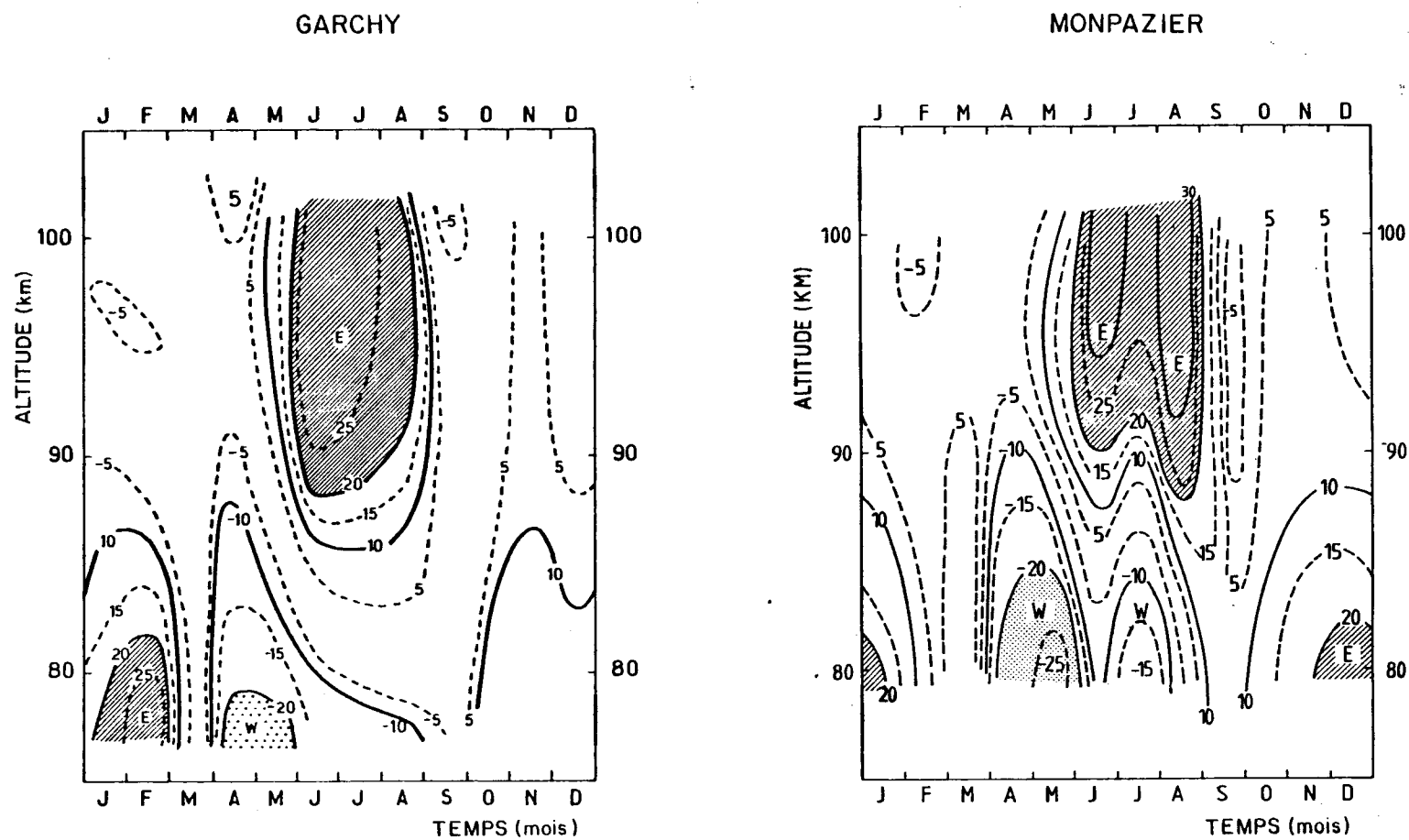


Fig. 5. Contours du vent zonal moyen observé à Garchy (47°N) de 1970 à 1976 et à Monpazier (44°N) de 1975 à 1980. Les vitesses vers l'Est sont positives. Les vitesses vers l'Ouest sont négatives.

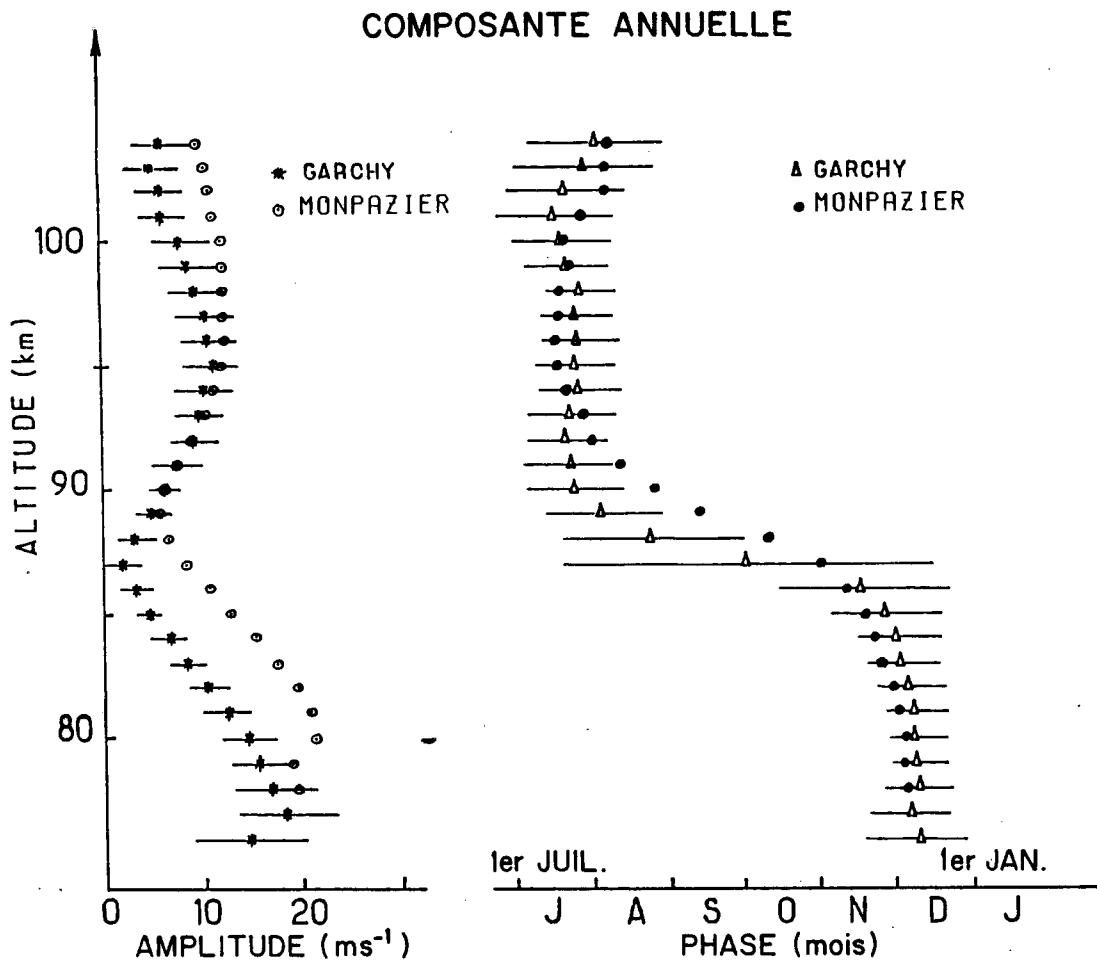


Fig. 6

fait comparables (Figure 6) pour les deux stations ainsi que celles des oscillations de longue période (de type ondes évanescents) (Figure 7a) à l'exception de celles de l'onde de deux jours observée en juillet 1976 (Figure 7b) : ses courtes longueurs d'onde verticale (40 km) et horizontale (quelques centaines de kilomètres) diffèrent de celles observées habituellement pour cette onde et ne permettent pas de la qualifier d'onde planétaire.

- L'étude des mouvements de petite échelle s'est poursuivie avec les données de l'expérience à deux émetteurs qui a eu lieu en 1979-1980 à Monpazier et les mesures de la raie verte effectuées simultanément par le photomètre du Laboratoire d'Aéronomie de Verrières le Buisson installé alors à St-Santin.

OSCILLATION DE PERIODE 6 JOURS
10 OCTOBRE AU 13 NOVEMBRE 1975

GARCHY (*)
MONPAZIER (+)

AMPLITUDE (M/S)

PHASE (DEGRÉ)

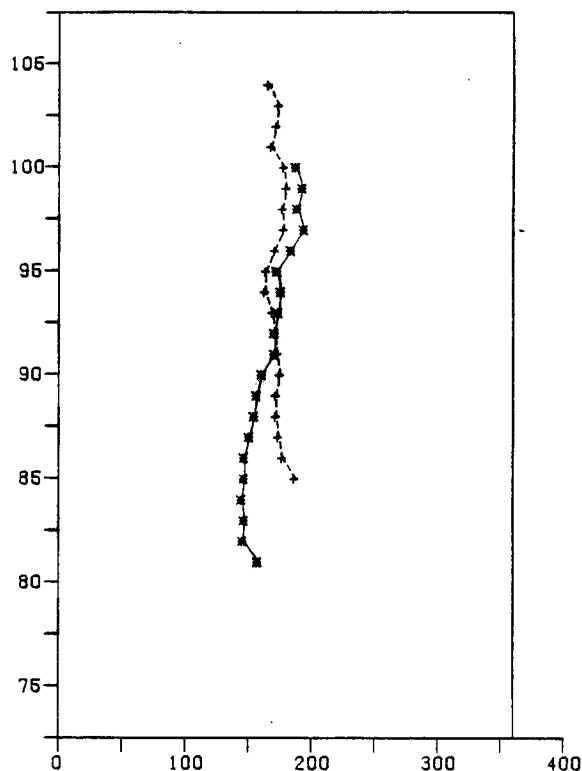
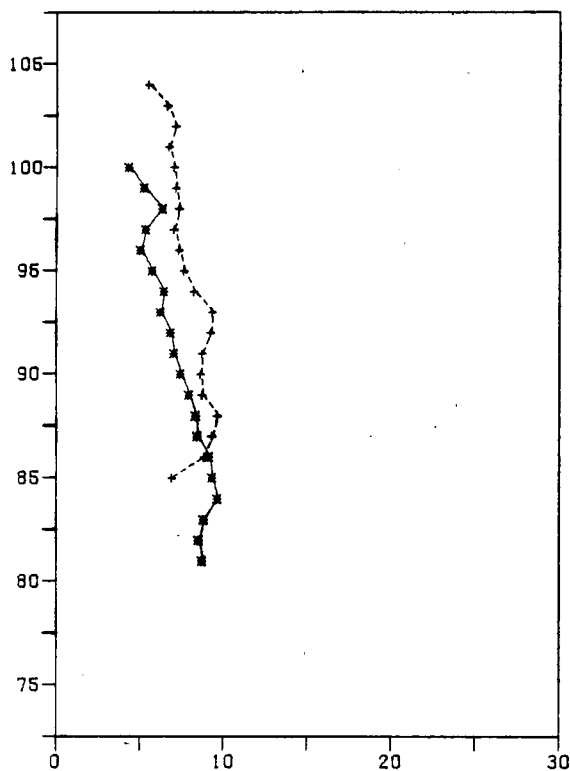


Fig. 7a

OSCILLATION DE PERIODE 53.33 H
12-23 JUILLET 1976

GARCHY (*)
MONPAZIER (+)

AMPLITUDE (M/S)

PHASE (DEGRÉ)

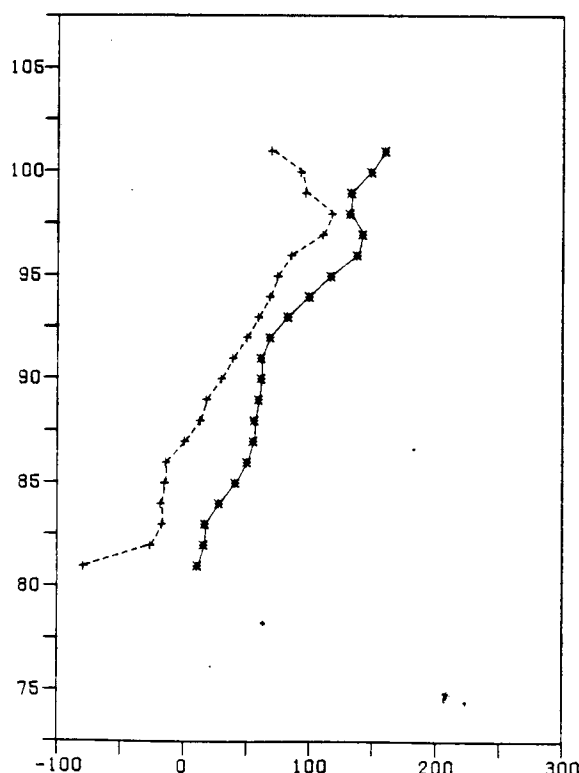
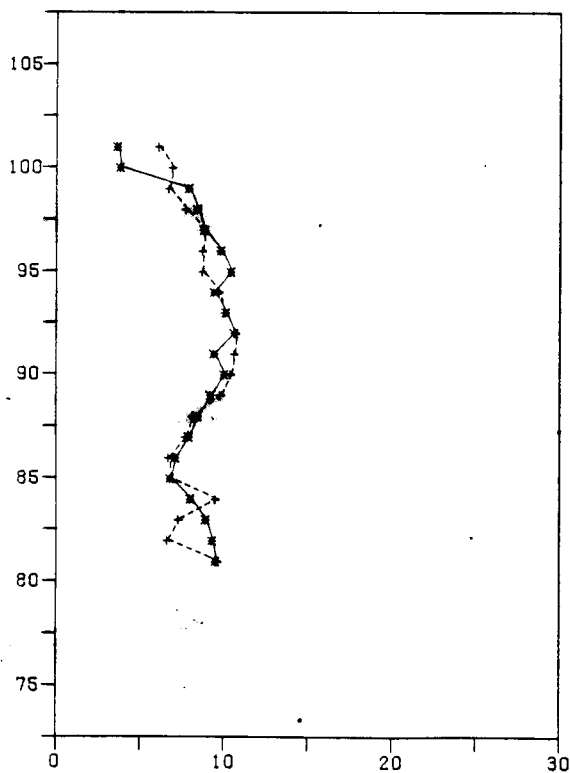


Fig. 7b

- Diverses coopérations ont été entreprises avec des équipes françaises ou étrangères :

. La réflexion des modes de marée dans un profil de température mésosphérique étudié en coopération avec une équipe de Verrières le Buisson (035).

. La comparaison des données des radars météoriques européens pendant la campagne Energy Budget en novembre 1980 (721).

. La comparaison de deux années de mesures simultanées par le radar météorique de Monpazier et par le radar à réflexion partielle de Saskatoon (Canada).

II.4.1.2 Sondeurs

L'étude des ondes de gravité se poursuit à l'aide des données du sondeur métropolitain et d'EISCAT. Cette étude est importante. En effet, un grand apport d'énergie est fournie dans les zones aurorales par les précipitations de particules et l'effet Joule associé aux courants ionosphériques auroraux. Les ondes de gravité peuvent transporter une partie de cette énergie à d'autres altitudes ou d'autres latitudes. Les résultats obtenus à haute et moyenne latitude donnent la possibilité d'étudier de tels transports d'énergie et d'en estimer le bilan. Diverses études sont donc faites avec les données de ces sondeurs, parfois en collaboration avec d'autres équipes.

L'étude des ondes de gravité de moyenne échelle a été entreprise avec les données du sondeur à diffusion de St-Santin, de l'interféromètre solaire de l'observatoire de Meudon à Nançay et du sondeur ionosphérique du département MER/GER du CNET Lannion.

L'analyse des ondes de gravité de périodes supérieures à deux heures observées dans la basse thermosphère sur les données de vent et de température du sondeur à diffusion a montré que ces ondes se caractérisent par une faible vitesse de phase, et sont capables de se propager jusqu'à une altitude de 120 km environ avant d'être sévèrement amorties.

Les observations simultanées d'une onde de gravité par deux sondeurs à diffusion et trois polarimètres ont fourni la fréquence, les longueurs d'onde verticale et horizontale et la direction de propagation de cette onde (037).

Enfin une première expérience a été effectuée en zone aurorale avec EISCAT le 18 novembre 1981. Des observations faites parallèlement au champ magnétique terrestre par la station de Tromsø ont mis en évidence l'existence d'une propagation d'ondes de gravité d'origine aurorale (711). De nouvelles expériences ont été programmées simultanément à St-Santin et sur le site d'EISCAT en collaboration avec des moyens optiques de la station de Skybotten (Norvège) (caméra plein ciel du CESR).

II.4.2 Etude par diffusion incohérente de la photochimie de la mésosphère

La région 60-90 km d'altitude (région D) est une zone de transition importante dans l'atmosphère. Au-dessus, la neutralité globale du milieu ionisé est assurée par l'existence des ions positifs et des électrons : au-dessous, l'électroneutralité de l'atmosphère est réalisée grâce à des ions négatifs qui assurent ainsi une continuité électrique du sol à l'ionosphère, continuité dont l'importance commence seulement à être soupçonnée. La formation des ions négatifs résulte de chaînes de réactions photochimiques complexes qui sont étudiées en laboratoire. Cependant, les processus de formation semblent être particulièrement sensibles aux conditions imposées par la dynamique (transports de composés mineurs, température, cisaillements du vent).

a) Latitudes moyennes

On a montré précédemment (note technique CRPE/58, 1978) que le spectre de diffusion incohérente dans la région D permettait d'obtenir des informations à la fois sur la dynamique (décalage Doppler) et sur les ions négatifs (forme du spectre). Cependant dans la région D, la mesure du spectre de diffusion est très difficile : le rapport signal sur bruit est très faible et le spectre est très étroit. Ce spectre est donc facilement perturbé par des signaux parasites (échos d'avion, propagation troposphérique). Il a donc été nécessaire de mettre au point un codage en phase de l'onde émise par la station de St-Santin. La modification du système émission-réception a été testée au cours de l'année 1982. Des expériences ont lieu régulièrement depuis juin 1982 et des résultats préliminaires ont été obtenus à 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 WISSEMBERG. L'interprétation théorique des spectres mésosphériques reste donc ouverte. Depuis novembre 1982, des problèmes techniques de synchronisation sont apparus. Aussi les essais de mise au point se poursuivent-ils activement.

b) Zone aurorale

L'obtention de spectres de diffusion incohérente dans la mésosphère avec le sondeur auroral EISCAT a nécessité le développement d'un nouveau logiciel. Ce travail a été mené sur place en collaboration avec le CEPHAG. Une expérience coordonnée (Cold Artic Mesosphere Program) impliquant plusieurs pays (Suède, Allemagne, Grande Bretagne, France) s'est déroulée pendant deux semaines en juillet 1982. Elle regroupait outre les moyens radars, des mesures mésosphériques de température et de composition faites "in situ" par fusées. Un membre de l'équipe Atmosphère Moyenne a participé activement au déroulement de l'expérience. De premiers résultats ont été obtenus en collaboration avec le CEPHAG. La figure 8 montre quelques exemples de spectres obtenus autour de 80 km. L'analyse de la forme de ces spectres permet, par comparaison avec des modèles, d'en déduire des informations sur la composition et la température de la mésopause.

II.4.3 Radar cohérent. Etude des interactions troposphère-stratosphère

L'objectif scientifique poursuivi est de mieux comprendre les transferts d'énergie et de matière à travers la tropopause. Les transferts d'énergie sont liés à la génération, à la propagation et à la dégénérescence des ondes dans l'atmosphère moyenne (troposphère - stratosphère). Les transferts de matière sont associés aux mouvements turbulents de petite échelle. Une telle turbulence est déclenchée par les cisaillements de vent induits par les ondes, ainsi que par les instabilités dynamiques et convectives existant autour de la tropopause et dans la stratosphère.

Le radar cohérent est un instrument privilégié pour réaliser ce type d'étude, dans la mesure où il utilise justement comme traceur la turbulence en ciel clair et qu'il permet d'obtenir simultanément des profils de vent et d'intensité de la turbulence atmosphérique.

Une étude fine de la turbulence atmosphérique mesurée "in situ" par des anémomètres embarqués sous ballon a été réalisée en collaboration avec le Professeur J. BARAT du Service d'Aéronomie de Verrières. Cette étude a montré que les caractéristiques des couches turbulentes ne correspondaient pas aux hypothèses généralement admises pour estimer l'énergie de dissipation turbulente ϵ ainsi que le coefficient de diffusion turbulente k_M à partir des mesures obtenues par les radars cohérents actuellement utilisés. On a pu montrer, grâce aux mesures "in situ" que les paramètres ϵ et k_M qui caractérisent l'effet de la turbulence sur les transports verticaux ne pouvaient être estimés à partir d'un radar que si celui-ci était capable de

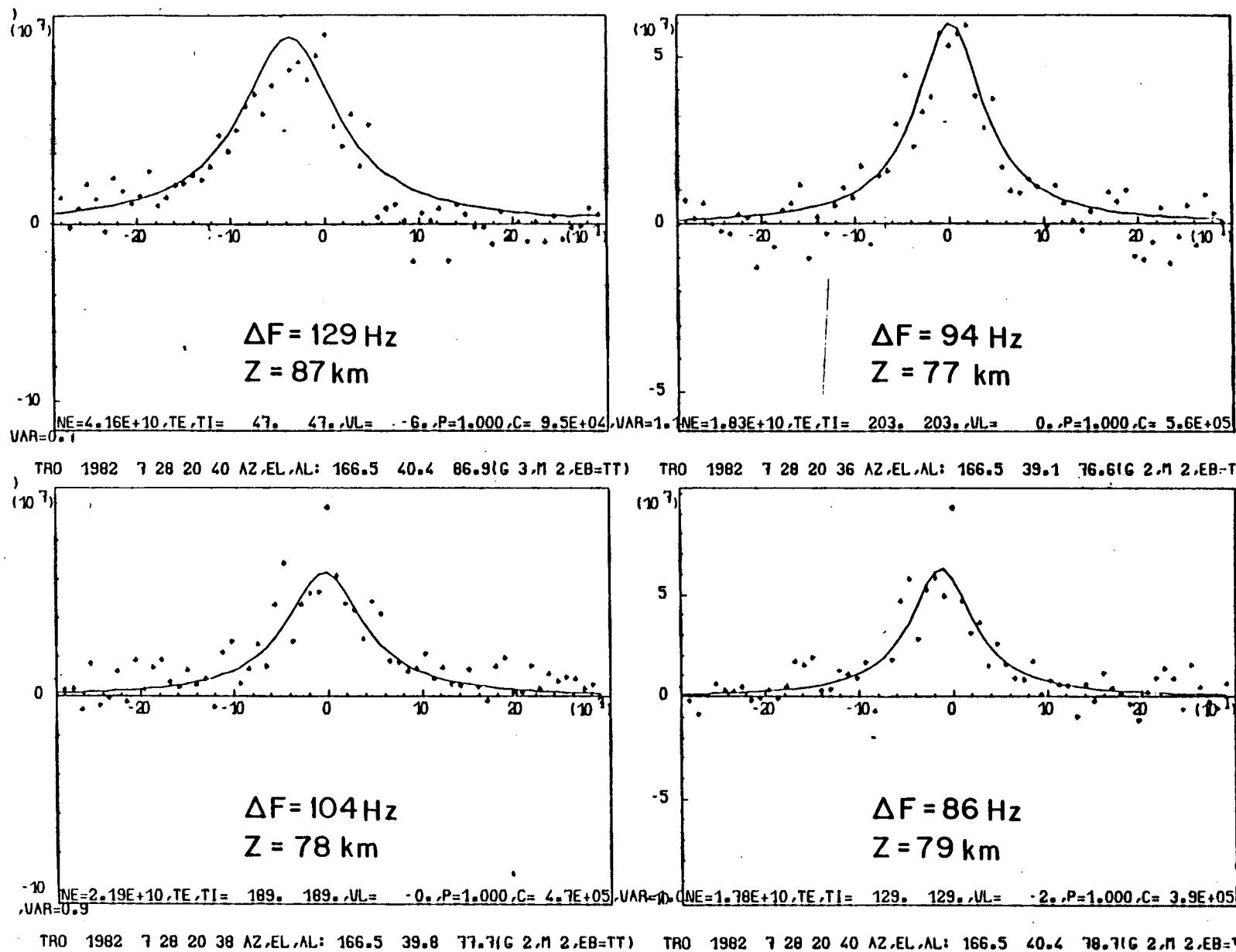


Fig. 8. Spectres de diffusion incohérente obtenus dans la mésosphère lors de la campagne C.A.M.P. (Cold Arctic Mesosphere Program) avec le radar EISCAT.

suivre l'évolution spatio-temporelle des couches turbulentes dont l'épaisseur est souvent inférieure à 50 m. Une résolution en altitude de l'ordre de 30 m est donc nécessaire pour réaliser les objectifs annoncés ci-dessus. Le seul radar actuellement existant qui possède une telle résolution spatiale est celui réalisé par R.F. WOODMAN. Il fonctionne à une fréquence de 2,8 GHz et est implanté près de la station d'Arecibo (Porto-Rico). Une telle fréquence s'adapte bien à l'étude de la troposphère et de la tropopause équatoriale (dont l'altitude se situe à environ 18 km d'altitude). Cependant, elle est trop élevée pour l'étude des échanges troposphère-stratosphère en latitude moyenne. Une étude de faisabilité d'un radar cohérent à haute résolution spatiale a été entreprise en 1981. Cette étude préliminaire a montré que la fréquence optimale se situait entre 0,5 et 1,3 GHz. Un premier projet à la fréquence de 0,4 GHz a dû être abandonné pour des raisons budgétaires et d'attribution de domaine de fréquence. Un second projet cette fois-ci retenu consiste à utiliser une fréquence voisine de 1 GHz.

La station de diffusion incohérente de St-Santin émettant à une fréquence de 935 MHz est opérationnelle. Il est alors possible, après modification du système d'émission, d'utiliser dans un premier temps cette station pour obtenir assez rapidement des mesures de la turbulence atmosphérique à la verticale. Les modifications nécessaires font l'objet d'une étude dont une partie a été confiée à SRI International.

Des expériences préliminaires ont eu lieu en novembre 1982 à St-Santin afin de tester les modifications apportées à la chaîne de réception du sondeur en vue de son utilisation en radar ST.

La mise au point de cette expérience se poursuivra au cours de l'année 1983.

D'autre part, deux chercheurs participant à l'étude de ce projet ont effectué des mesures de vent dans la stratosphère avec le radar d'Arecibo (Porto Rico) à 430 MHz, en février 1982, afin de se mettre au courant des problèmes relatifs à l'étude des vents dans la stratosphère.

III. ELECTROMAGNETISME, THEORIE DES COMMUNICATIONS ET PROPAGATION

Le département Electromagnétisme, Théorie des communications et Propagation (ETP) a été créé au commencement de 1982. Ses études ont pris en compte l'héritage des études de propagation menées ces dernières années au CRPE et, plus avant dans le passé, dans d'autres groupes du CNET. Le département a également reçu pour mission de développer ses études dans des directions nouvelles, notamment en théorie des communications et en électromagnétisme.

Cette situation historique explique le caractère préliminaire de certains travaux en matière de théorie du signal : on ne pourra apprécier la valeur des résultats obtenus que plus tard.

III.1 PROPAGATION

III.1.1 Propagation en air clair

Les efforts du groupe ont été essentiellement concentrés sur la 'préparation, puis la mise en oeuvre de l'expérience PACEM (Propagation en Air Clair Et Météorologie) destinée à déterminer les caractéristiques physiques du canal de transmission en période de trajets multiples.

On sait que la propagation par trajets multiples provoque sur les liaisons hertziennes en visibilité des évanouissements rapides et très profonds du signal radioélectrique. On s'accorde à attribuer ces perturbations à des variations spatio-temporelles de l'indice de réfraction radioélectrique dans les premières centaines de mètres de l'atmosphère.

L'étude de ces phénomènes connaît un regain d'actualité depuis que divers pays (dont la France) ont pris la décision de procéder à la numérisation de leurs réseaux hertziens. En effet, les liaisons numériques sont particulièrement vulnérables aux trajets multiples à cause des interférences intersymboles qu'entraîne la sélectivité en fréquence du phénomène.

Les études entreprises par le CRPE dans ce domaine (418) ont pour but principal de fournir une caractérisation physique du canal de transmission pendant les périodes de trajets multiples et de mettre en évidence des paramètres météorologiques pertinents en vue de les inclure ultérieurement dans un modèle statistique.

Les opérations menées en 1982, avec la collaboration des équipes des divisions ETR et MER du CNET (resp. Paris B et Lannion B), ont eu essentiellement pour objet d'obtenir des événements typiques, en nombre suffisant, pour identifier les diverses situations spécifiques.

Durant les mois de juin et juillet 1982, on a effectué simultanément des mesures radioélectriques sur la liaison Marcheville-Viabon (Eure et Loir) (mesure par analyseur de liaison hertzienne de la fonction de transfert entre 10,7 et 11,7 GHz) et des mesures météorologiques sur le site de recherches atmosphériques de l'INAG à Villeau, pratiquement sous la liaison (mât instrumenté ; ballon captif ; sodar ; minisodar triple Doppler ; lidar), obtenant ainsi une banque de données de toute première importance.

Des périodes de trajets multiples ont été relevées durant 18 nuits, totalisant environ 34 heures de données, et correspondant à des situations météorologiques variées (périodes chaudes et humides en juin ; périodes chaudes et sèches en juillet ; événements attribués à l'évaporation faisant suite à des fortes pluies sur sol chaud).

Un exemple de perturbation radioélectrique en large bande est donné sur la figure 1.

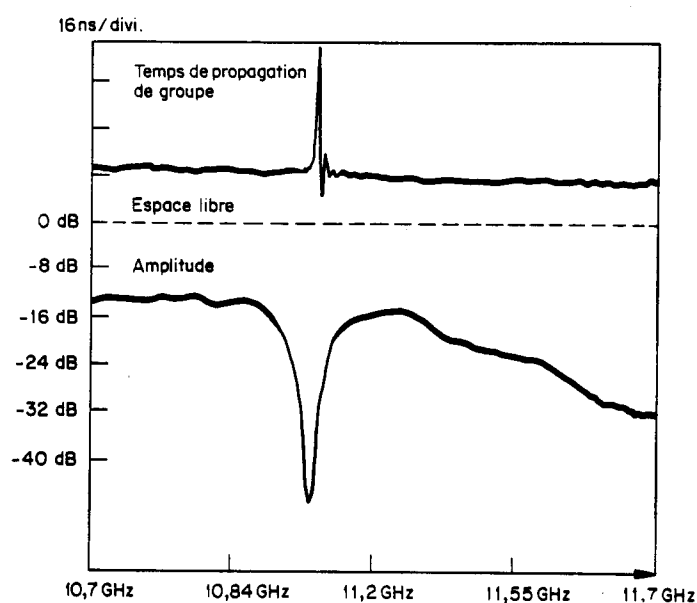


Fig. 1. Fonction de transfert du canal radioélectrique, mesurée grâce à un MLA. Cet exemple fait partie d'un événement qui a duré 8 heures pendant la nuit du 3 au 4 juin 1982.

Parallèlement aux mesures, un certain nombre de logiciels destinés au traitement des données ont été réalisés : numérisation des données du MLA et restitution des fonctions de transfert ; numérisation et démultiplexage des données météorologiques du mât ; programme de tracés de rayons dans une atmosphère à stratifications horizontales.

Par ailleurs, on a mis au point (427) une méthode permettant de déterminer approximativement la qualité des liaisons numériques de 50 à 60 km de long dans la bande des 11 GHz sur un bond moyennement vallonné, en simulant la propagation en période de trajets multiples par deux rayons séparés par un retard constant. Les résultats des mesures de qualité effectuées dans différents pays confirment les prévisions antérieures effectuées au CNET.

Outre la campagne PACEM, d'autres expériences en air clair ont été poursuivies ou dépouillées :

. Les données de l'expérience des Landes de l'été 1979, initialement sous forme d'enregistrements papier ont été transférées sur support magnétique. Leur analyse (statistique des affaiblissements aux trois fréquences ; autocorrélation de l'indice de réfraction ; intercorrélations des indices aux différentes hauteurs ; comparaison des profils d'indice et des profils de C_T^2 déduits des mesures du sodar) font l'objet d'une thèse de 3ème cycle en cours.

. Après avoir surmonté de nombreuses difficultés avec les équipements, l'enregistrement des données sur la liaison Meudon-Bois de Molle s'est effectué normalement à partir du mois de mai. Faute de temps, le traitement de ces données n'a pu encore être effectué.

. Des mesures d'affaiblissement de propagation et de niveaux de pilote ont été effectuées sur deux faisceaux hertziens analogiques pratiquement alignés de 37 km et de 68 km à 6 GHz. A partir des remontées du niveau du pilote, qui sont liées à la sélectivité des affaiblissements, on a constaté, pendant la période de mesure considérée, que la sélectivité augmentait d'une manière importante avec la longueur de la liaison.

III.1.2 Propagation en présence d'hydrométéores

On sait que la pluie constitue la source la plus importante de perturbations sur les liaisons hertziennes horizontales ou obliques.

En ce qui concerne les liaisons horizontales, une étude destinée à fournir aux services d'exploitation les courbes d'affaiblissements dus à la pluie entre 10 et 20 GHz pour les régions françaises où elles n'existent pas encore (moitié Sud, essentiellement) a été engagée. Pour cela on a commencé le dépouillement des données pluviométriques recueillies dans les stations de la Météorologie Nationale.

D'autre part le dépouillement des données de propagation obtenues lors de l'expérience COPT 1981 en Côte d'Ivoire a été achevé (431) ainsi que l'interprétation des données recueillies au Congo pendant une campagne de mesure qui s'est étendue de 1980 à 1981 (022), (023), (506).

Pour ce qui est des données de Côte d'Ivoire, elles ont conduit aux résultats suivants :

La liaison expérimentale à 13 GHz installée sur le trajet Napieoledougou - Korhogo (19,2 km) a été opérationnelle durant 1 300 heures au cours de la période du 5 mai au 28 juin 1981. Les enregistrements de champ en polarisation horizontale et verticale ont permis l'exploitation de 15 événements (affaiblissement par la pluie) dont la durée totale est de 10 heures.

Le réseau de pluviométrie mis en place sous le trajet hertzien a permis la mesure des intensités de précipitation avec un temps de résolution de deux minutes. En outre un pluviomètre à capteur de pression permettait des mesures avec une résolution de 10 secondes. On a constaté que dans la gamme des valeurs mesurées par les deux pluviomètres la distribution des intensités de précipitation déduite des mesures est pratiquement indépendante du temps d'intégration entre 10 secondes et 2 minutes. A partir des distributions d'affaiblissement et d'intensité de précipitation on a déduit une approximation grossière des coefficients k et α de la relation théorique $\nu_R = k R^\alpha$ entre l'affaiblissement linéique ν_R et l'intensité de précipitation R . Ces valeurs sont proches des valeurs théoriques données par le CCIR et calculées à partir de la distribution des dimensions des gouttes de pluie de MARSHALL PALMER aussi bien en polarisation horizontale que verticale. Une autre distribution des dimensions des gouttes de pluie, mieux adaptée aux climats équatorial et tropical a été proposée et donne des résultats encore plus satisfaisants (024).

On a testé quelques méthodes de prévision de l'affaiblissement de propagation dû à la pluie pour une fréquence de 13 GHz, une distance de 19,2 km et une répartition d'intensité de précipitation déduite des mesures. Les méthodes "d'équiprobabilité" (LIN, BOITHIAS, BATTESTI) donnent des valeurs d'affaiblissement très proches de celles mesurées.

Dans le cas des liaisons obliques (liaisons satellite $\rightleftharpoons$ Terre) plusieurs études ont été poursuivies :

- dans le cadre de l'action européenne COST 205 qui a pour but d'analyser les mesures de propagation effectuées aux fréquences supérieures à 10 GHz afin de vérifier la validité des méthodes de prévision existant pour l'Europe, le CRPE a, en collaboration avec la division Espace et Transmission Radioélectrique du CNET, procédé au traitement des données acquises à l'aide des satellites SIRIO et OTS (417).

- dans le cadre d'un contrat conclu entre l'Agence Spatiale Européenne et la société Thomson-CSF, sur "l'étude des configurations d'un système de satellite et d'une charge utile pour service de communications à large bande", le CRPE a été chargé de l'analyse des conditions de propagation à 20 et 30 GHz en Europe (affaiblissement et découplage de polarisation) (432). La figure 2 donne un exemple des conclusions de cette étude.

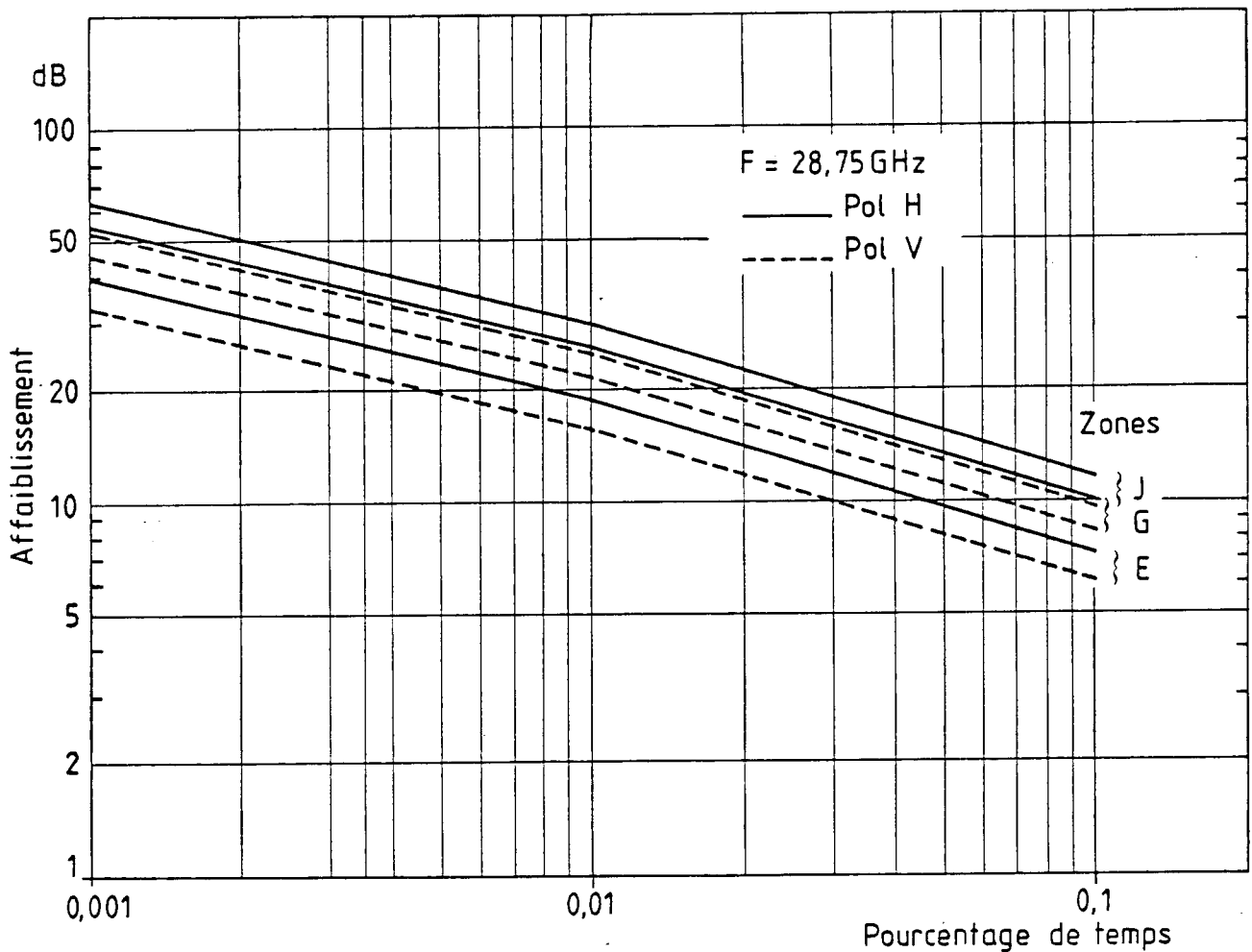


Fig. 2. Affaiblissement par la pluie sur un trajet Terre-Satellite à 28,75 GHz en polarisation horizontale et verticale pour les zones E, G, J et pour une station européenne ($\phi = 50^\circ \text{N}$, $\Delta\lambda = 0$, $h_o = 0$).

- La modélisation des affaiblissements dus à la neige mouillée a été entreprise en assimilant les flocons de neige mouillée à des sphères recouvertes d'une pellicule d'eau.

- L'approfondissement des mécanismes donnant lieu aux phénomènes de dépolarisation sans affaiblissement significatif (727) a fait l'objet d'un travail (421) basé sur les données recueillies à la station terrienne de Bercenay en Othe à partir du satellite OTS. La figure 3 montre comment on peut facilement identifier un phénomène de dépolarisation sans affaiblissement (phénomène que l'on sait maintenant être dû à la présence de cristaux de glace) en examinant le diagramme polaire phase-découplage de polarisation. La figure 4 illustre les corrélations que l'on peut observer entre les variations du champ électrostatique atmosphérique et celles de l'affaiblissement et du découplage de polarisation. L'effet de la dépolarisation par les cristaux de glace sur les performances d'un système de modulation à 2, 4, 8 et 16 états de phase fonctionnant en réutilisation de fréquence sur deux polarisations orthogonales a été évalué et a montré la nécessité d'utiliser des systèmes automatiques de rattrapage de polarisation pour conserver des performances acceptables (207).

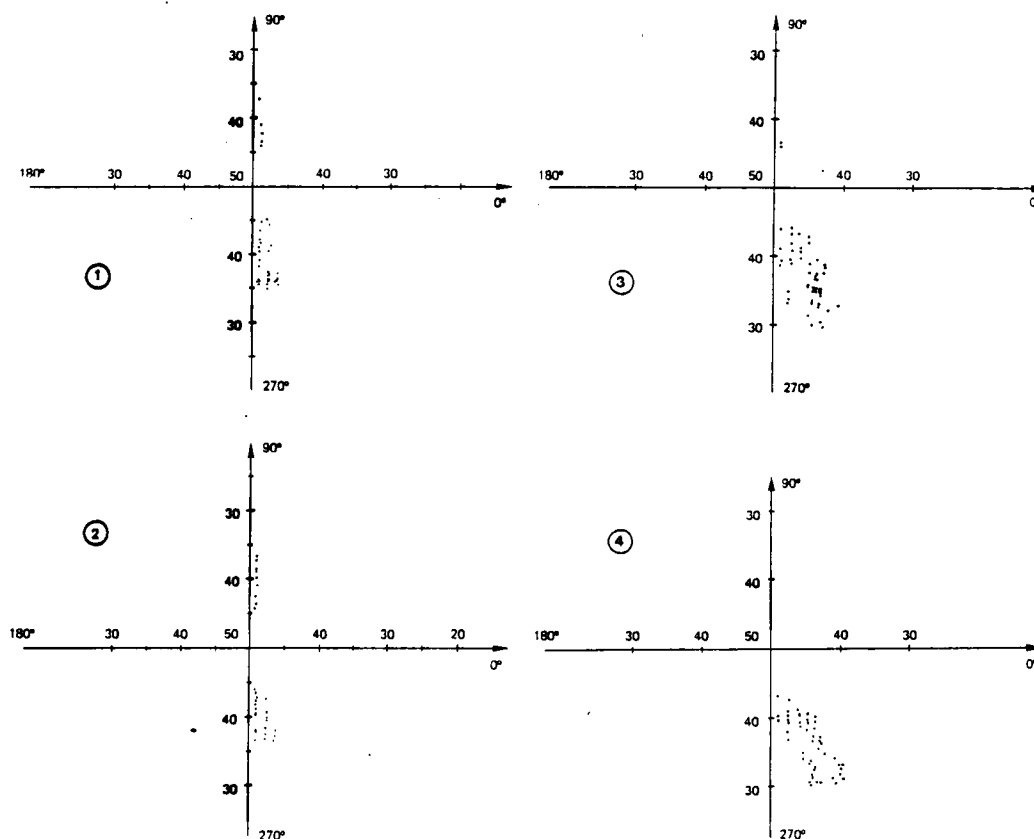


Fig. 3. Diagrammes polaires, découplage de polarisation - phase : événement du 07.06.81.

Les diagrammes 1 et 2 correspondent aux événements observés entre 21 h 35 et 21 h 55 et entre 23 h 00 et 23 h 10 respectivement.

Les points représentatifs sont pratiquement alignés le long de l'axe imaginaire. Ils sont caractéristiques d'un phénomène de dépolarisation par la glace.

Sur les diagrammes 3 et 4, qui correspondent aux événements observés entre 23 h 10 et 23 h 21 et 23 h 21 et 23 h 33 respectivement, on remarque que les points représentatifs sont répartis en "nuages" dans une direction faisant environ 40° avec l'axe imaginaire. Cette disposition est caractéristique d'un phénomène de dépolarisation dû à la pluie.

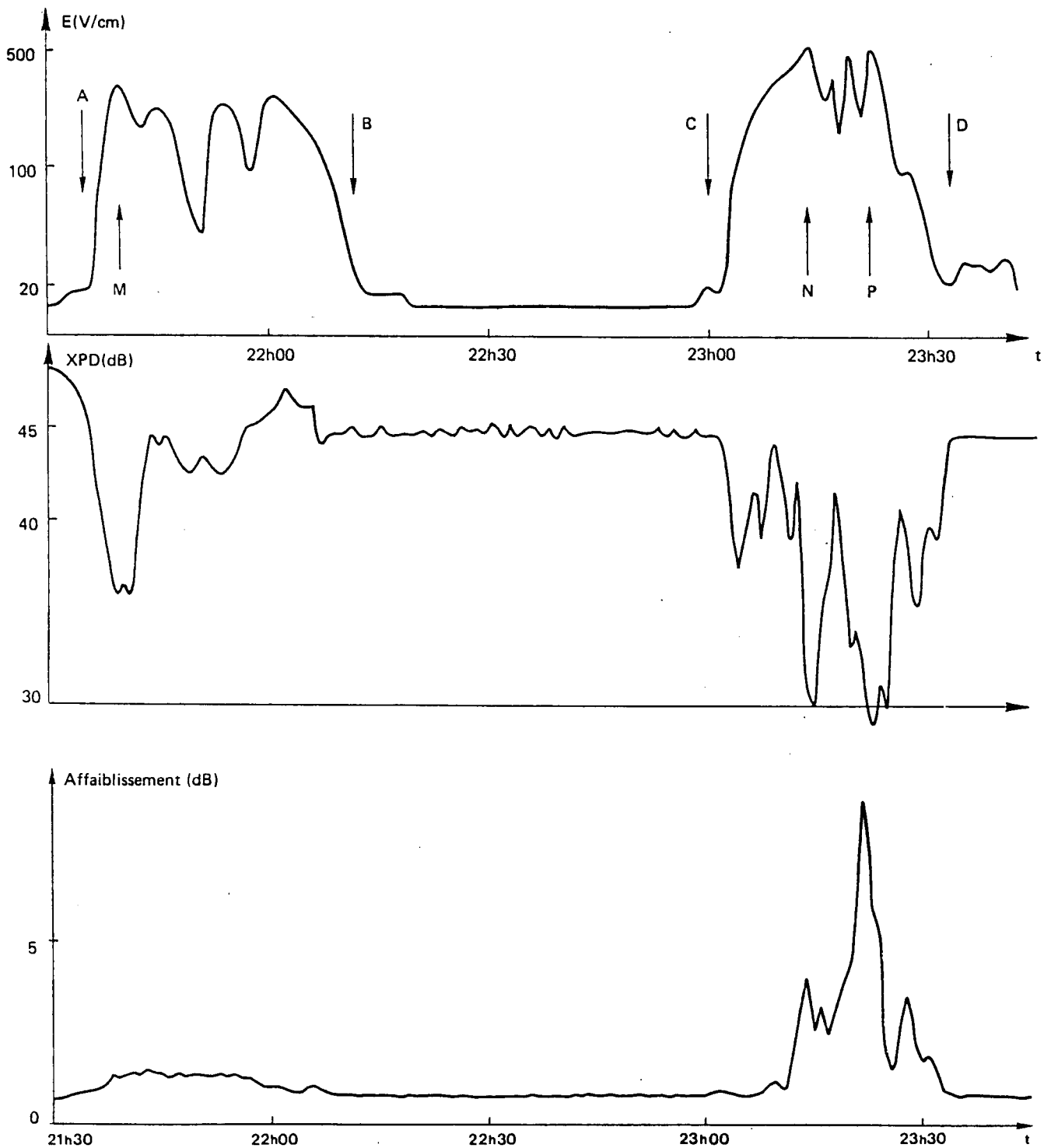


Fig. 4. Événement du 07.06.81. De bas en haut : champ électrique atmosphérique, découplage de polarisation et affaiblissement en fonction du temps.

En ce qui concerne la propagation des ondes millimétriques, le suivi technique de la maquette sur table d'un projet de balise embarquable sur satellite en cours de réalisation à Thomson-CSF a été effectué en collaboration avec la division ETR. Cette balise émettra sur 4 fréquences : 20, 30, 40 et 90 GHz. Dans le domaine théorique, une simulation numérique des effets de la diffusion multiple à ces fréquences a débuté (215).

III.2 TRAITEMENT DE SIGNAL APPLIQUE AUX COMMUNICATIONS

III.2.1 Transformées en nombres entiers

L'étude, commencée au début de 1982, concerne des méthodes de convolution rapide utilisant des généralisations de la transformation de Fourier : les transformées en Nombres Entiers, où l'on raisonne sur des entiers modulo un certain entier fixé. Cette approche met en jeu des notions de traitement du signal, d'algèbre et de théorie des nombres.

Ces transformées présentent deux avantages essentiels : l'absence de bruit d'arrondi, et des gains potentiels de temps de calcul importants. Le premier point est inhérent à la méthode, et l'objectif principal est donc d'adapter les théories connues (et au besoin de les développer) pour optimiser le deuxième point. Pour cela, on a d'abord élargi les classes connues de transformées s'effectuant sans multiplication générale (elles sont remplacées par des décalages par des puissances de 2, que l'on peut ramener à des additions), puis on a élaboré un algorithme permettant de doubler les longueurs possibles des transformées.

Parallèlement à ces études de définition de nouvelles transformées, la recherche porte également sur les modalités de calcul les mieux adaptées à une réalisation pratique : un modem de transmission. Ces travaux ont permis de présenter un séminaire de Mathématiques Appliquées, début novembre, et ont déjà fait l'objet de deux publications (007), (734).

III.2.2 Taux d'erreur dans un système numérique en présence d'interférence intersymbole

Les deux études suivantes ont un caractère général, car elles concernent un problème classique de théorie du signal : estimer le taux d'erreur occasionné par un filtre à un signal numérique qui le traverse.

Cependant, elles ont été motivées par l'application au cas particulier du filtre atmosphérique en période de trajets multiples, de manière à être en mesure de relier les résultats des études de propagation en air clair au problème de la qualité des faisceaux hertziens numériques.

a) Cette étude a commencé mi-1982. Il est théoriquement possible de déduire de la fonction de transfert d'un canal radioélectrique, le taux d'erreur sur une liaison numérique empruntant ce canal. Une étude comparative a été menée, portant sur les différentes méthodes de calcul de la probabilité d'erreur binaire, en présence d'interférence intersymbole et de bruit gaussien. A l'expérience, la méthode proposée par MURPHY s'est avérée bien plus performante, tant en rapidité qu'en précision, que les méthodes plus classiquement utilisées de HO et YEH ou SHIMBO et CELIBILER. Une extension de la méthode de MURPHY a été développée et a abouti à un nouvel algorithme autorisant un gain en temps de calcul d'un facteur 3. Les efforts portent actuellement sur :

- l'adaptation de la méthode à des types de modulation non encore traités,
- son extension à d'autres types de défauts du canal ou des équipements de transmission.

b) Une deuxième étude, engagée en 1980, sur le même sujet vise à trouver les paramètres pertinents de la forme de la fonction de transfert du filtre qui influent sur le taux d'erreur. Plus le nombre de paramètres sera réduit, plus aisée sera la description statistique du canal de transmission. En particulier, ce travail facilitera le dépouillement des données de la future expérience PACEM 2, où l'on mesurera un nombre considérable de fonctions de transfert de l'atmosphère, en vue d'un traitement statistique : on pourra passer directement de la statistique des paramètres pertinents à celle du taux d'erreur.

III.2.3 Traitement adaptatif d'antennes

Cette étude a commencé mi-1982. Une réflexion théorique a été menée en vue de définir un programme de travail en harmonie avec les autres études en cours. En ayant comme idée d'application diverses situations de trajets multiples (communications avec les mobiles en milieu urbain ; faisceaux hertziens en visibilité ; échos en télévision ; échos sonores dans l'emploi des postes téléphoniques main-libre), diverses méthodes susceptibles de servir soit à caractériser le milieu électromagnétique environnant (analyse cepstrale ; imagerie par analyse de la matrice interspectrale), soit à éliminer en temps réel les échos (traitement adaptatif) ont été recensées ; les difficultés propres aux situations étudiées (parasites corrélés avec le signal utile ; faible distance angulaire entre les divers signaux) ont été recherchées. Il est encore trop tôt pour faire le point sur ce sujet.

III.2.4 Mesure de la fréquence d'un signal bruité par comptage du nombre de passages par zéro du signal et de sa dérivée

Dans beaucoup de problèmes liés au traitement du signal, la connaissance de la fréquence est essentielle. Cette caractéristique n'est cependant pas toujours simple à mesurer par des méthodes classiques surtout lorsque le signal à analyser est fortement bruité. De la mesure des deux quantités suivantes, le nombre de passages par zéro par unité de temps du signal λ et de sa dérivée λ_D , on déduit les deux paramètres inconnus ω_0 , fréquence angulaire du signal et $\frac{A}{\sigma}$, le rapport signal sur bruit.

L'expression de λ est connue depuis longtemps (voir S.O. RICE, 1948), nous avons obtenu celle de λ_D par un calcul similaire. Nous avons normalisé tous les résultats par rapport à $\Delta\omega$, bande passante du filtre utilisé. La figure 5a présente les variations de λ en fonction de λ_D pour différentes valeurs de $\frac{A}{\sigma}$ et ω_0 . Ces résultats montrent que l'on peut estimer facilement la fréquence d'un signal bruité sans connaître le rapport $\frac{A}{\sigma}$, et qu'évidemment cette estimation est d'autant plus facile que $\frac{A}{\sigma}$ est grand (plus grand écartement des points sur les courbes). Pour évaluer la précision de cette méthode, nous avons calculé la variance Σ^2 du taux de comptage. Σ^2 dépend de $\frac{A}{\sigma}$ mais aussi du temps de comptage. D'après les résultats (Figure 5b), la méthode est encore valable pour de petits rapports $\frac{A}{\sigma}$ et de faibles temps d'analyse. Ce travail est en cours de publication.

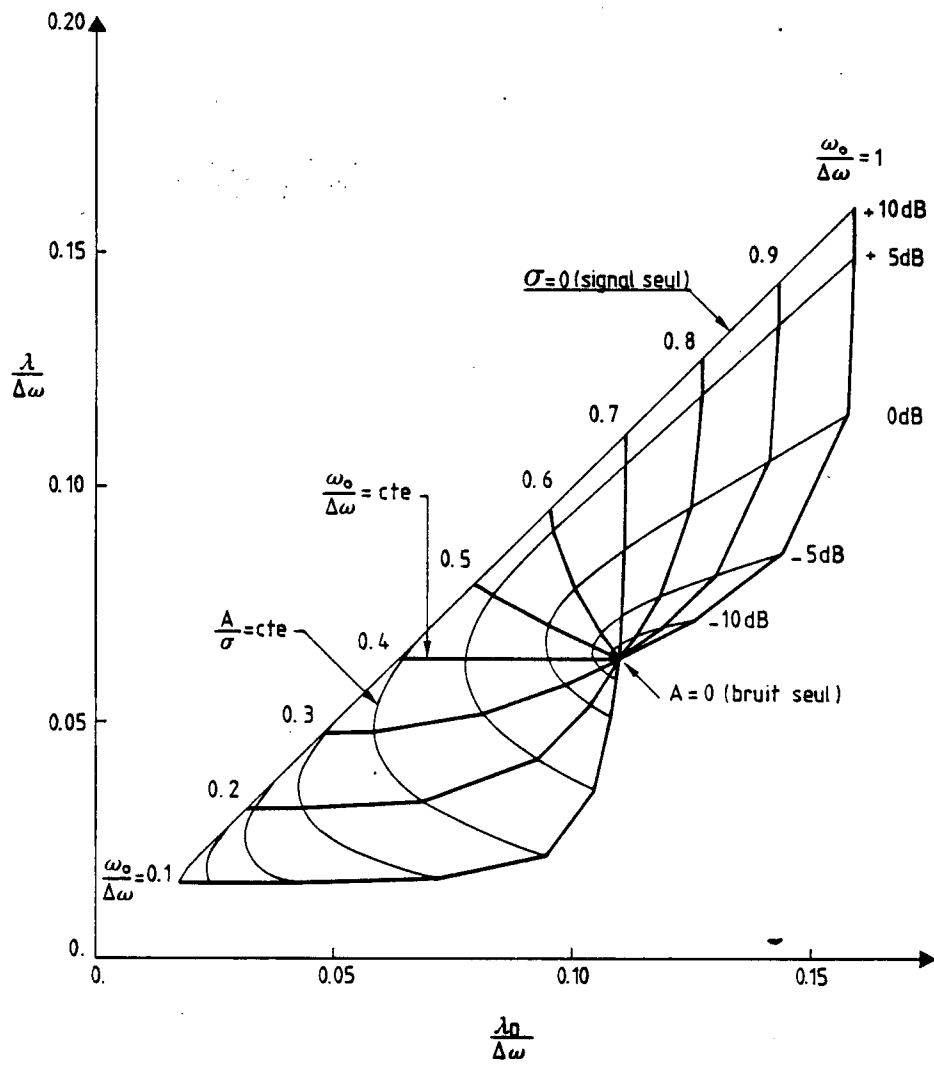


Fig. 5a. Nombre moyen de passages par zéro du signal bruit/unité de temps en fonction du nombre moyen de passages par zéro de sa dérivée/unité de temps.

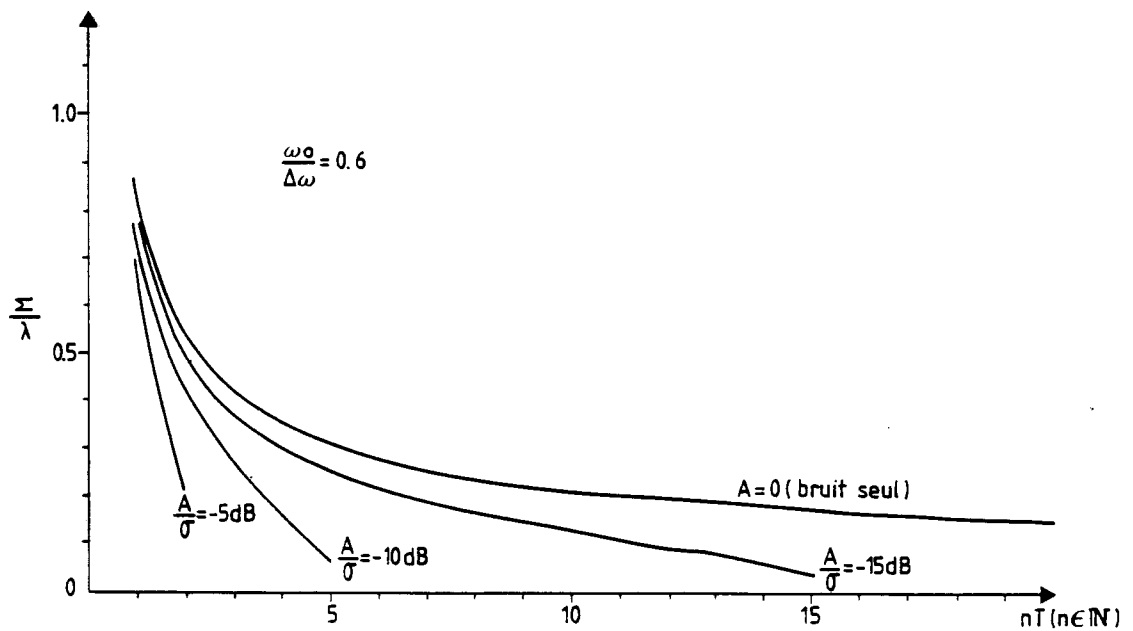


Fig. 5b. Variations du rapport $\frac{\Sigma}{\lambda}$ en fonction du nombre de périodes d'intégration.

IV. ELECTRODYNAMIQUE A GRANDE ECHELLE DE L'ATMOSPHERE IONISEE

Les mouvements à grande échelle des plasmas de l'ionosphère et de la magnétosphère, et du gaz neutre de la thermosphère, sont fortement couplés, d'une part, entre eux, d'autre part, au vent solaire, par des mécanismes de nature électrodynamique. Les mouvements relatifs de différents plasmas magnétisés induisent des forces électromotrices couplant leurs mouvements. Ce couplage se fait par des échanges de courants électriques qui empruntent les chemins les plus conducteurs de l'atmosphère ionisée, en particulier les lignes de force magnétiques qui connectent entre eux le vent solaire et l'ionosphère ou l'ionosphère et la magnétosphère, et la basse ionosphère dans laquelle se referment les courants circulant le long des lignes de force. L'étude de ce circuit électrique global est restée en 1982 une composante importante de l'activité des départements Electrodynamique des Milieux Ionisés et Ondes dans les Plasmas Naturels, objet d'importants développements expérimentaux et théoriques.

1982 est un tournant important pour l'activité expérimentale. C'est la dernière année de fonctionnement du satellite GEOS 2, qui laisse une masse importante d'informations sur la convection du plasma froid dans le plan équatorial de la magnétosphère moyenne, et aussi sur le rôle des ondes électrostatiques dans les précipitations électroniques aurorales. Mais c'est aussi un spectaculaire recentrage des études sur l'ionosphère aurorale, lieu privilégié du couplage ionosphère/magnétosphère, menées à la fois à partir du sol (le sondeur incohérent EISCAT en Scandinavie du nord) et en satellite (avec le satellite franco-soviétique ARCAD-3). C'est l'importance du poids de ces expériences nouvelles, en partie encore dans la phase de qualification et de développement de logiciels d'analyse, qui a fait adopter un plan "instrumental" du texte contrairement aux années précédentes. A côté de ces expériences nouvelles ou achevées, la poursuite de l'exploitation du sondeur incohérent métropolitain de Saint-Santin contribue à l'établissement du bilan de l'impact à l'échelle planétaire de l'activité aurorale.

L'activité théorique et de modélisation a également marqué une étape importante, avec l'achèvement de deux algorithmes numériques de transport du plasma, l'un pour la convection du plasma magnétosphérique, l'autre pour la dynamique des couches ionosphériques, qui ont été testés avec succès en 1982. Leur application à la simulation du transport à grande échelle des plasmas de la haute atmosphère terrestre sera mise en oeuvre de façon intensive dans les années à venir.

IV.1 ETUDES EXPERIMENTALES

IV.1.1 Moyens sol

IV.1.1.1 EISCAT

En liaison avec le CEPHAG (Grenoble) et le CESR (Toulouse), plusieurs programmes d'électrodynamique ont été mis en oeuvre pour le radar à diffusion incohérente EISCAT dans le cadre de deux types d'observations :

- Analyse le long de la ligne de force magnétique de Tromsø du champ électrique, des courants, des conductivités, du mouvement des neutres et du chauffage par effet Joule et par précipitation (programme commun n° 1). Une version simplifiée de ce programme a été mise en place au cours de l'année 1982. Les programmes d'analyse correspondants sont pratiquement achevés sur le calculateur du CNES.

- Structure latitudinale de la zone aurorale (programme commun n° 3, réalisé par le CRPE). Un balayage de 10° en latitude autour de Tromsøe permet d'obtenir le profil latitudinal du champ électrique et une coupe méridienne de la région aurorale.

IV.1.1.2 Morphologie de la région aurorale

a) Stationnarité du diagramme de convection

Le programme MITHRAS (septembre 1981 à janvier 1982) a été construit autour d'une campagne d'observations simultanées des radars auroraux EISCAT, STARE, Chatanika et Millstone Hill. Il était destiné à s'affranchir des ambiguïtés entre variations en temps universel et en temps local qui sont inhérentes aux mesures par radar de la distribution spatiale de la convection du plasma, de la structure des couches ionosphériques, et du chauffage Joule. En observant simultanément la zone aurorale à trois temps locaux différents, on peut séparer les phénomènes stationnaires dans le repère soleil-terre de ceux qui impliquent des variations importantes en temps universel dans ce repère, tels que les sous-orages magnétosphériques, dont la signature à grande échelle sur les champs électriques de convection est encore très mal connue.

La figure 1 montre un premier résultat de la campagne MITHRAS (715). On a tracé sur la même carte polaire en temps magnétique local les mesures de champ électrique effectuées par EISCAT et par Chatanika les 18 et 19 novembre 1981. Les deux stations révèlent la dominance de champs dirigés vers le nord du côté après-midi, puis vers le sud le matin. La coïncidence entre l'heure d'inversion du champ au-dessus des deux stations est frappante. Elle suggère que la convection est restée assez stationnaire pendant les dix heures séparant le passage des deux stations au même temps local, alors que la position très tôt dans la soirée de ce renversement (que l'on appelle la "discontinuité de Harang") et l'intensité des champs électriques indiquent une assez forte activité magnétique, que l'on pourrait penser être dominée par d'importantes variations en temps universel.

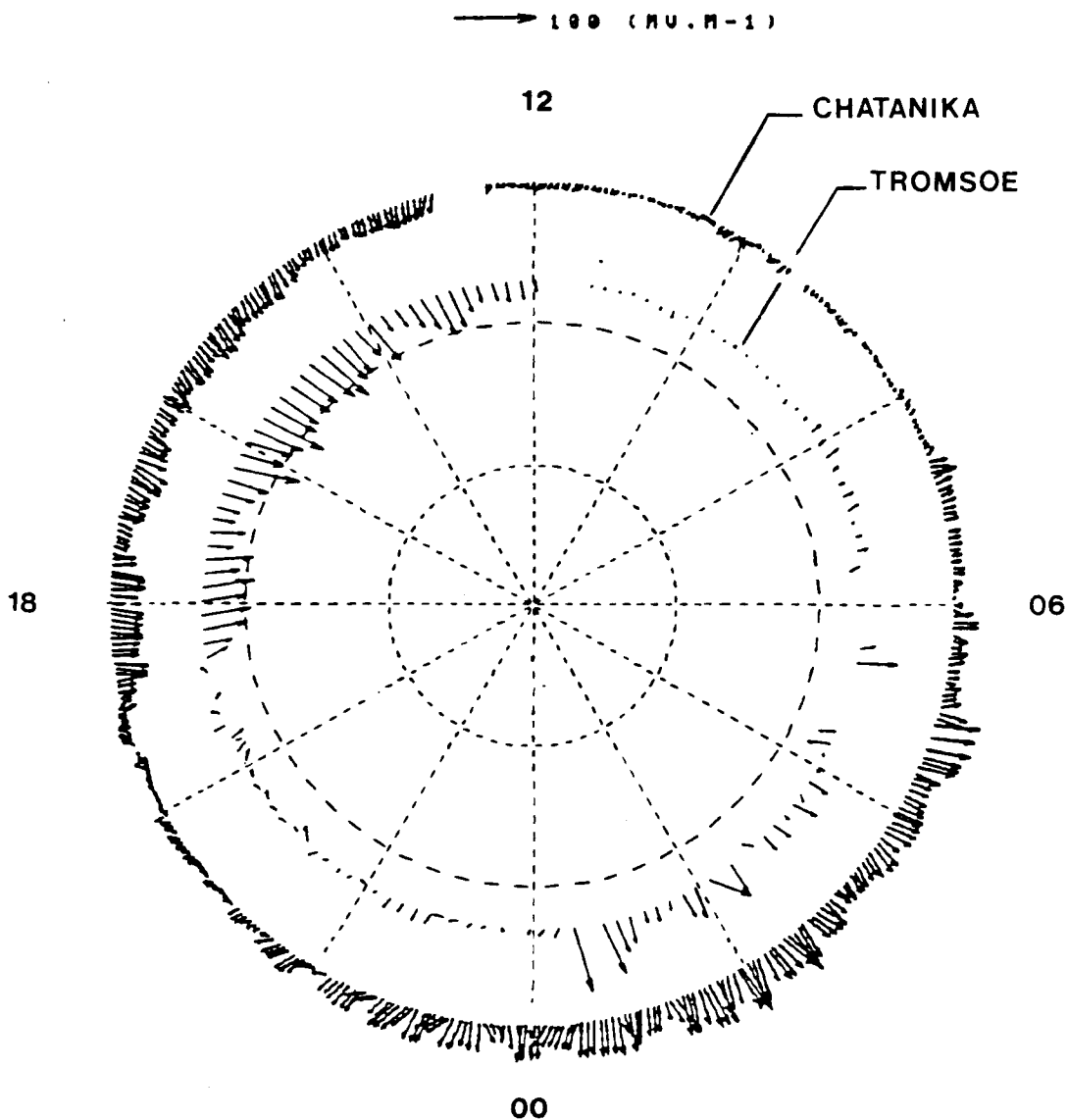


Fig. 1. Comparaison de la variation en temps local magnétique des champs électriques mesurés les 18/19 novembre 1981 par les radars incohérents de Chatanika et EISCAT (installé à Tromsøe en Scandinavie du nord). A dix heures de différence en temps universel, les deux radars traversent la région de renversement nocturne du champ électrique (la "discontinuité de Harang") au même temps local, ce qui suggère une très grande stationnarité de la convection du plasma pendant cette journée.

b) Relations entre les courants alignés et les précipitations (secteur nuit)

Le séjour de C. SENIOR à SRI International (Californie) a été centré sur l'étude de la structure latitudinale de la zone aurorale et des relations entre la concentration électronique, le champ électrique, et les courants électriques parallèles aux lignes de force magnétiques qui couplent entre eux les circuits de l'ionosphère et de la magnétosphère. Son étude a permis en particulier de réaliser la première observation par radar d'une intensification du champ électrique de convection dans le secteur soir de la région sub-aurorale, et d'établir (figure 2) la morphologie des relations entre courants parallèles, structure de l'ionosphère et zones de précipitations dans le secteur matin de la région aurorale (746).

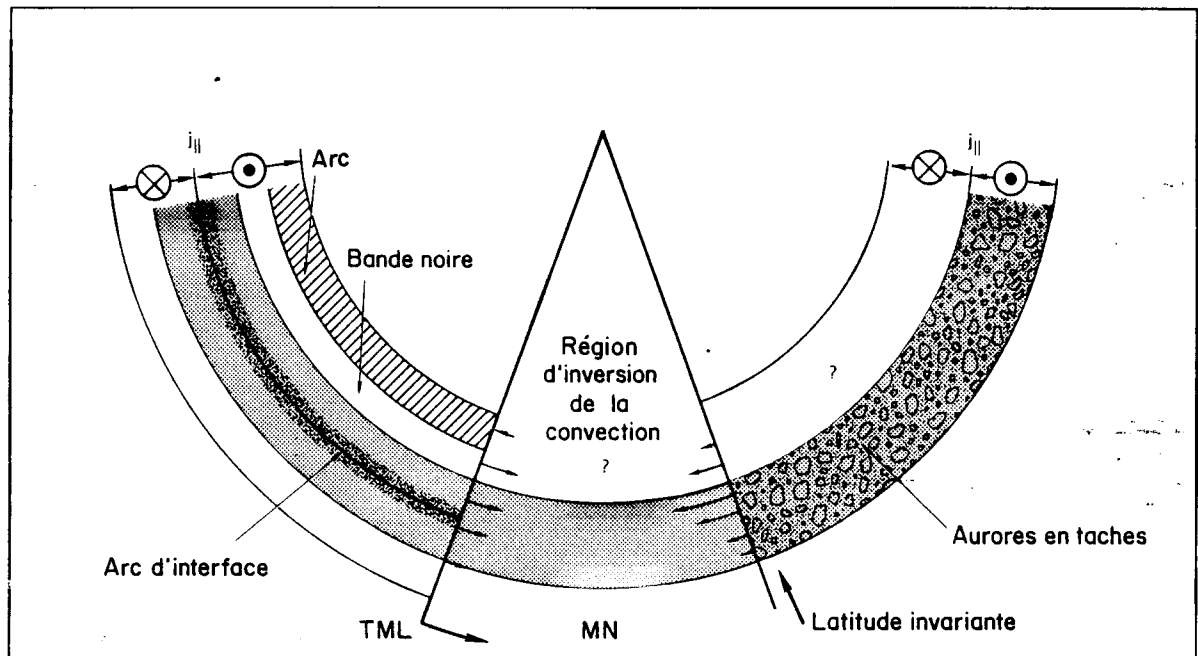


Fig. 2. Représentation schématique de l'ovale auroral de nuit dans un repère latitude invariante - temps magnétique local. Les positions des courants alignés, de la signature ionosphérique du feuillet de plasma (zone hachurée) et des structures de la zone aurorale sont indiquées.

c) Chauffage Joule

Le sondage à diffusion incohérente, grâce aux mesures simultanées du champ électrique et de la conductivité de l'ionosphère, permet de quantifier la dissipation Joule associée à la circulation de courants électriques dans l'ionosphère. Les perturbations magnétiques observées sont une autre conséquence de l'existence et de la variation de ces courants.

Au cours d'une étude (720), menée en collaboration avec Y. KAMIDE (NOAA Boulder), une relation linéaire entre le taux de chauffage Joule intégré en altitude, obtenu à l'aide du sondeur de Chatanika, et le carré de la perturbation magnétique mesurée à Collège, a été déduite. Cette relation, établie séparément pour quatre situations différentes (électrojets est et ouest, discontinuité de Harang et période diurne), a été utilisée pour estimer le taux de chauffage Joule sur l'extension en latitude de l'ovale auroral à partir des données de la chaîne IMS méridienne de magnétomètres en Alaska. La figure 3 présente le profil latitudinal du taux de chauffage en fonction du temps universel pour un jour continuellement perturbé (12 août 1978). L'apport total de chaleur pour ce jour est ainsi évalué à $2,6 \cdot 10^{15}$ Joules.

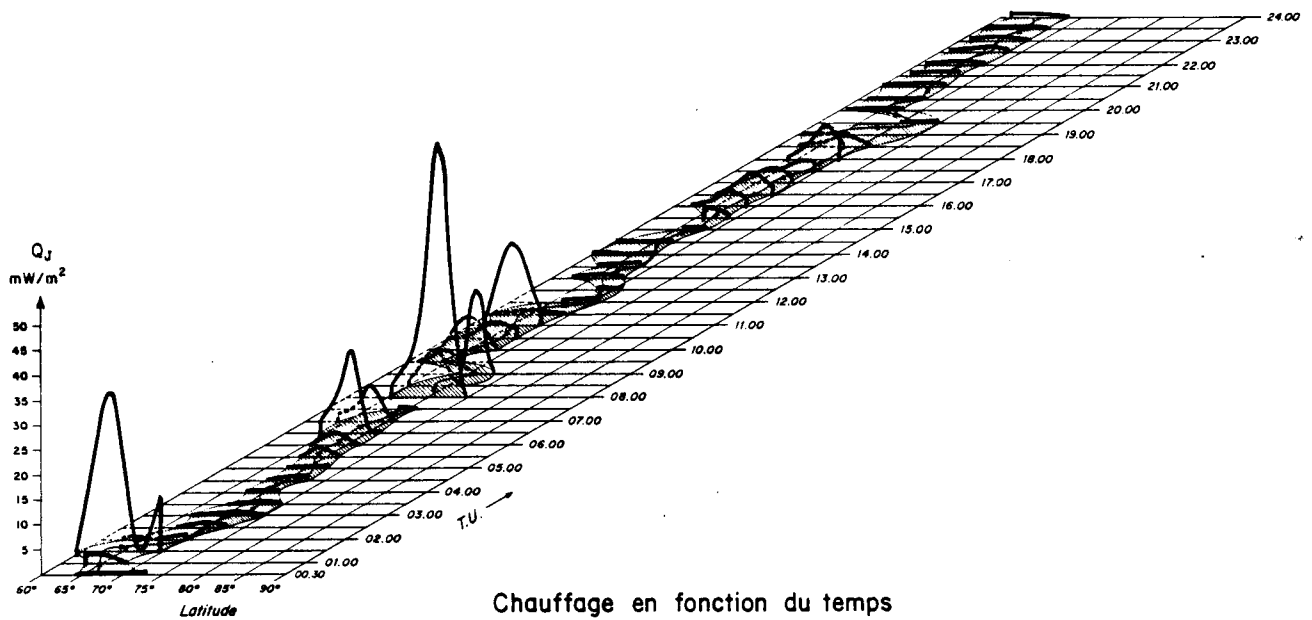


Fig. 3. Des calculs du chauffage Joule auroral effectués à partir des mesures de champs électriques et de conductivités avec le radar incohérent de Chatanika ont été combinés avec les profils latitudinaux de perturbations magnétiques de la chaîne de magnétomètres d'Alaska pour obtenir la distribution en latitude et en temps universel du chauffage Joule par unité de colonne atmosphérique. Cette information est importante pour toute évaluation quantitative des effets à grande échelle de l'activité aurale sur la thermosphère.

IV.1.1.3 Orage magnétique. Effet dynamo à moyenne latitude

Dans le paragraphe précédent, on montre comment il a été possible de déterminer le taux de dissipation Joule associé à la circulation des courants électriques entre l'ionosphère et la magnétosphère. Durant les périodes de forte activité magnétique le chauffage Joule en zone auroral donne naissance à des perturbations du vent neutre qui se propagent jusqu'aux moyennes latitudes.

La figure 4 représente une perturbation des vents thermosphériques, observée le 23 mars 1979 à l'aide du sondeur à diffusion incohérente de St-Santin (45° de latitude), qui résulte d'un chauffage de la zone aurorale provoqué par l'orage magnétique du 22 mars 1979. Le 23 mars on observe une très forte perturbation de la vitesse ionique parallèle au champ magnétique qui correspond (projetée sur l'horizontale) à une variation de 160 m/s du vent neutre méridional.

Une telle perturbation engendre des modifications des champ et courant électriques que nous avons mises en évidence grâce au sondeur de St-Santin pour la première fois (739).

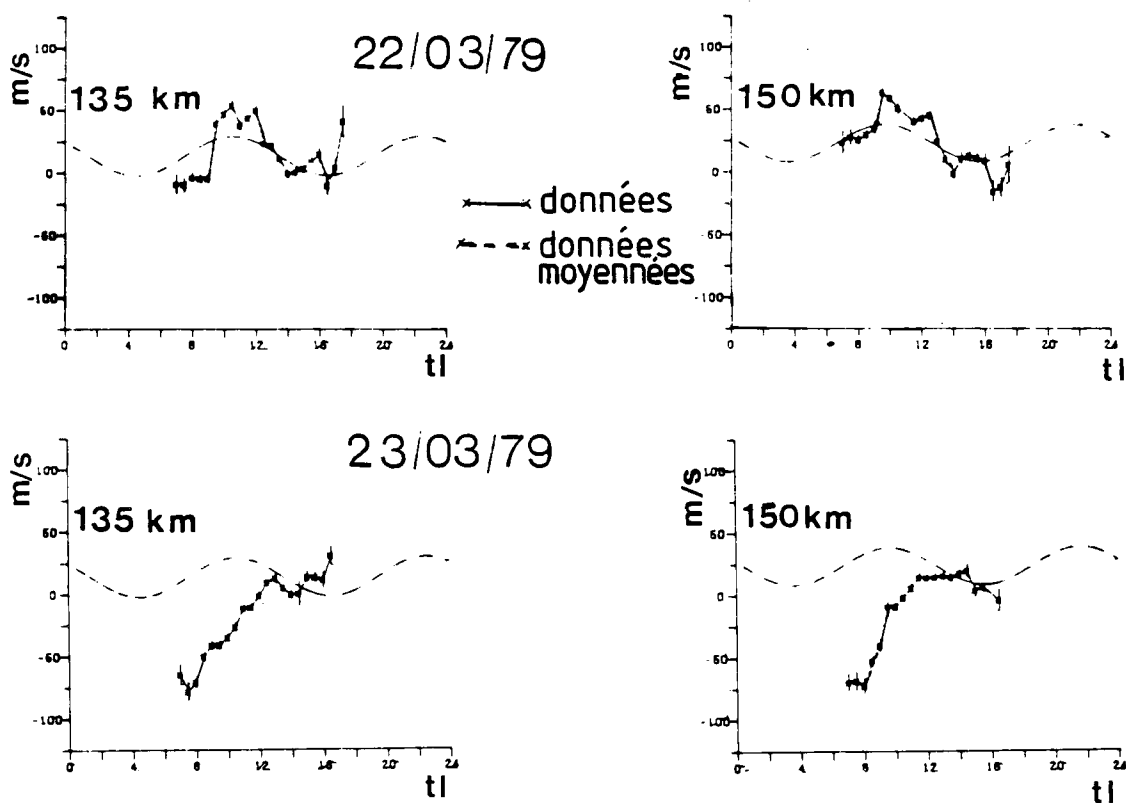


Fig. 4. Sur cette figure les courbes en trait pointillé représentent le modèle moyen du vent ionique parallèle au champ magnétique terrestre établi sur la période de mesure du 20 au 28 mars 1979. Les courbes en trait plein représentent les observations de ce paramètre d'un jour donné pour une altitude donnée. En haut de la figure le trait plein représente les données du 22 mars 1979 à 135 km (gauche) et 150 km (droite). En bas de la figure on retrouve les mêmes courbes pour le 23 mars 1979. Le 23 mars une importante différence existe entre le modèle et les observations. Elle représente une perturbation des vents neutres engendrée par l'orage du 22 mars 1979.

IV.1.2 Expériences embarquées

IV.1.2.1 Satellite ARCAD 3

a) Expérience DYCTION

Le mois de septembre 1981 a été marqué par le lancement du satellite ARCAD 3. L'une des expériences embarquées, le spectromètre de masse ionique "DYCTION" (709) a pour objectif de déterminer la concentration, la vitesse d'ensemble et la température des ions thermiques de l'ionosphère. Le cadre de ces mesures est l'étude de la réponse de l'ionosphère aux phénomènes d'origine magnétosphérique et à ceux qui résultent du couplage entre l'ionosphère et la magnétosphère. L'exemple de résultats obtenus, présenté plus loin, montre que ce cadre n'est pas restrictif.

L'exploitation scientifique des données passait par plusieurs phases préliminaires :

- la mise au point des programmes de dépouillement avec des données réelles.

- la détermination des transparences relatives des différentes fenêtres d'entrée de l'expérience, qu'il n'a pas été possible de faire dans le caisson à plasma à Orléans.

- l'étalonnage absolu des chaînes de comptage à l'aide des données de la concentration électronique fournies par l'expérience ISOPROBE (mesure de la fréquence plasma par la sonde à impédance du LPCE d'Orléans, également embarquée sur ARCAD 3).

Ces études ne sont pas encore terminées ; il est néanmoins possible pour certains passages d'atteindre les objectifs fixés (connaissance des température et vitesse ioniques, ainsi que de la direction d'arrivée des ions).

En particulier, une exploitation des données a été faite pour plusieurs passages équatoriaux, dans le cadre de l'étude du F-diffus équatorial en liaison avec C. BEGHIN du LPCE à Orléans. Les irrégularités équatoriales de la région F de l'ionosphère, associées au F-diffus, sont observées au niveau de l'équateur géomagnétique, de nuit autour de 22 heures (temps local). Le but de cette étude, à l'aide

des données simultanées électroniques et ioniques, est de clarifier la physique du F-diffus équatorial et de mieux comprendre la liaison entre les fluctuations de petite échelle (quelques km) et la dépression de plasma observée sur plus de 10° de latitude.

La figure 5 présente les résultats obtenus pour l'un des passages du 9 juin 1982 (orbite 3433). On observe de 00 34 TU à 00 37 TU une décroissance d'un facteur 10 des concentrations en ions O^+ et H^+ . Simultanément l'écart entre les vitesses des ions V_{O^+} et du satellite V_{sat} , et la variation de la direction d'arrivée des ions dans le plan horizontal ϕ_{hor} , traduisent l'existence d'une vitesse de dérive des ions dirigée principalement de l'est vers l'ouest.

L'étude d'un autre passage, dans le secteur soir au-dessus de 60° de latitude invariante, a permis d'associer (709) les fluctuations des température et vitesse ioniques à de la turbulence électrostatique (expérience TBF, (710)).

Ce type d'analyse va être conduit pour les périodes sélectionnées en vue de "l'atelier de travail IMS" de mai 1983, au cours duquel les mesures de toutes natures portant sur une même période seront confrontées et analysées conjointement.

b) Expérience TRAC

L'expérience TRAC (708), conçue pour détecter la traversée de nappes de courants parallèles aux lignes de force magnétiques, utilise comme capteur le magnétomètre triaxial soviétique destiné initialement aux seuls besoins de la restitution d'attitude. Une électronique adaptée permet d'obtenir la mesure des trois composantes du champ magnétique, avec une précision de l'ordre de 10 gammas, et il est possible de détecter des variations locales du champ de l'ordre du milligauss qui témoignent de la traversée des nappes de courant. Accessoirement l'utilisation de données de cette qualité permettra d'améliorer sensiblement la précision de la restitution d'attitude, ce qui est actuellement nécessaire pour le traitement correct des mesures fournies par l'expérience DYCTION.

Un exemple des résultats initiaux obtenus est présenté sur la figure 6 (orbite 869 du 26 novembre 1981). La traversée d'une double nappe de courants montants, puis descendants est mise en évidence par la variation de la composante transverse B_y du champ magnétique mesuré alors que le satellite quittant la calotte polaire, traverse la zone aurorale de 76° à 70° de latitude géomagnétique vers 19 00 Temps Magnétique Local. Ce résultat est en accord avec le modèle statistique établi par T. IJIMA et T.A. POTEMRA à l'aide des données du satellite TRIAD.

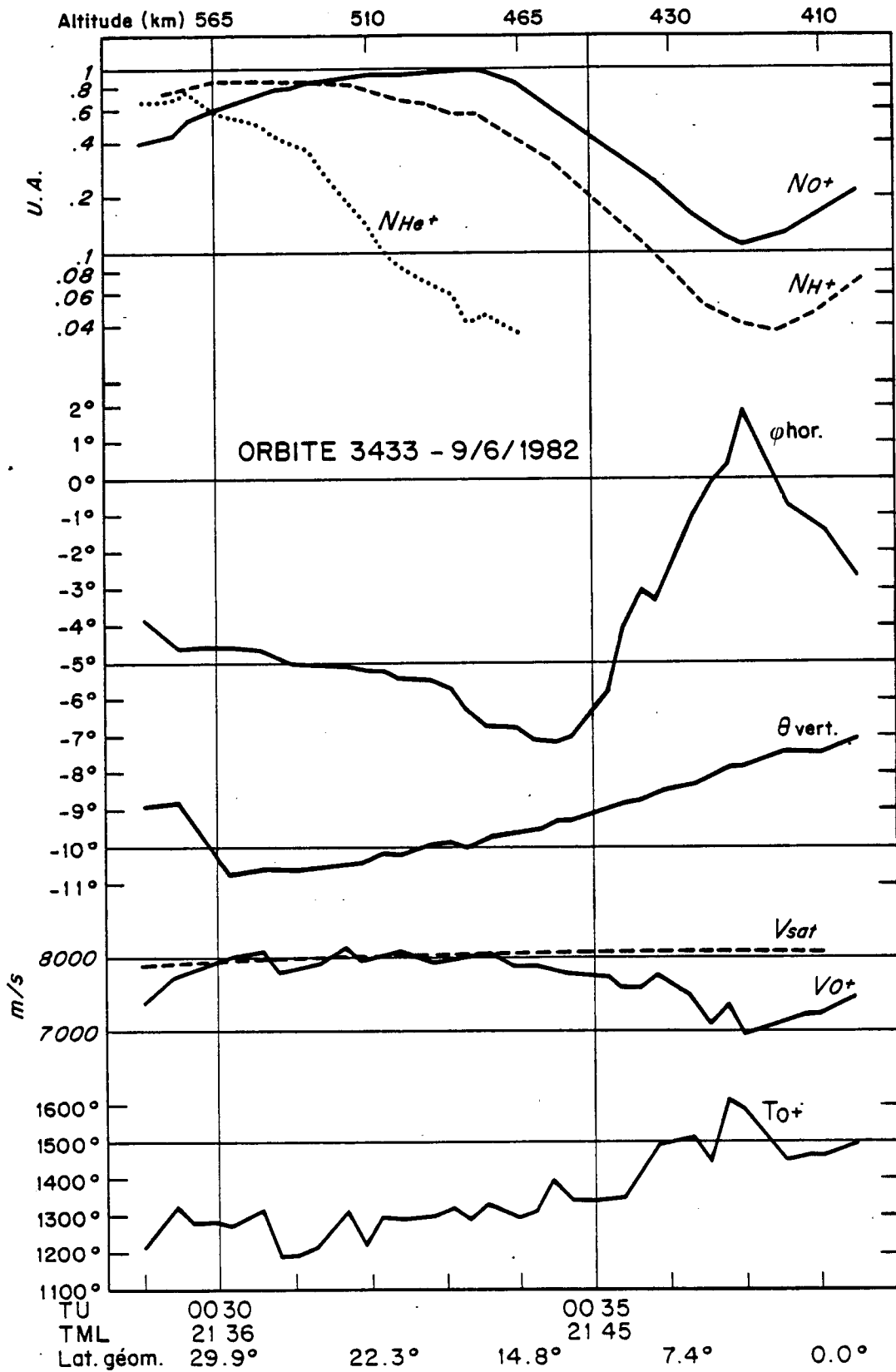
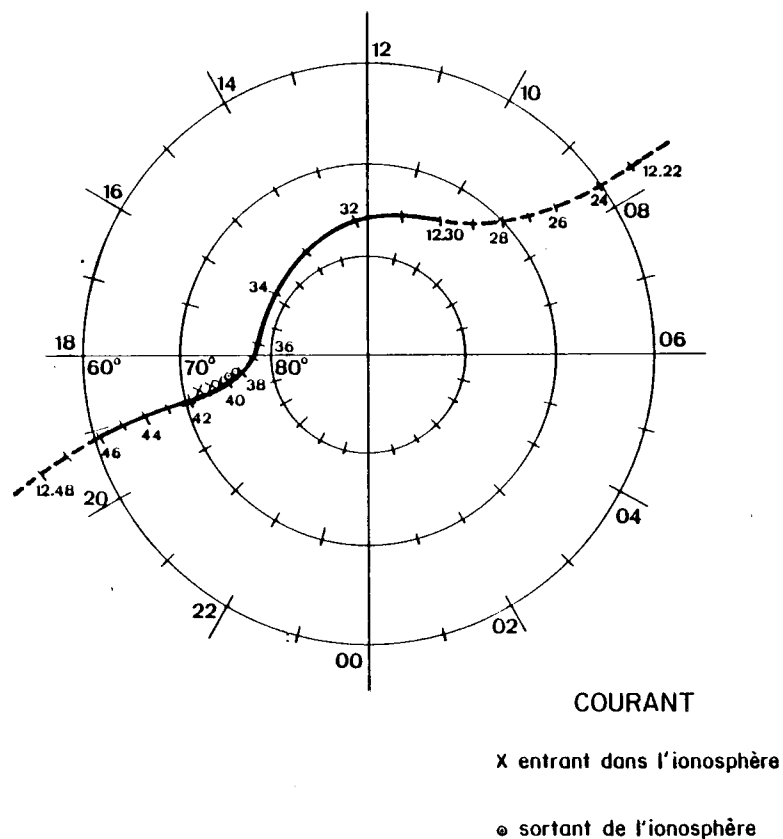


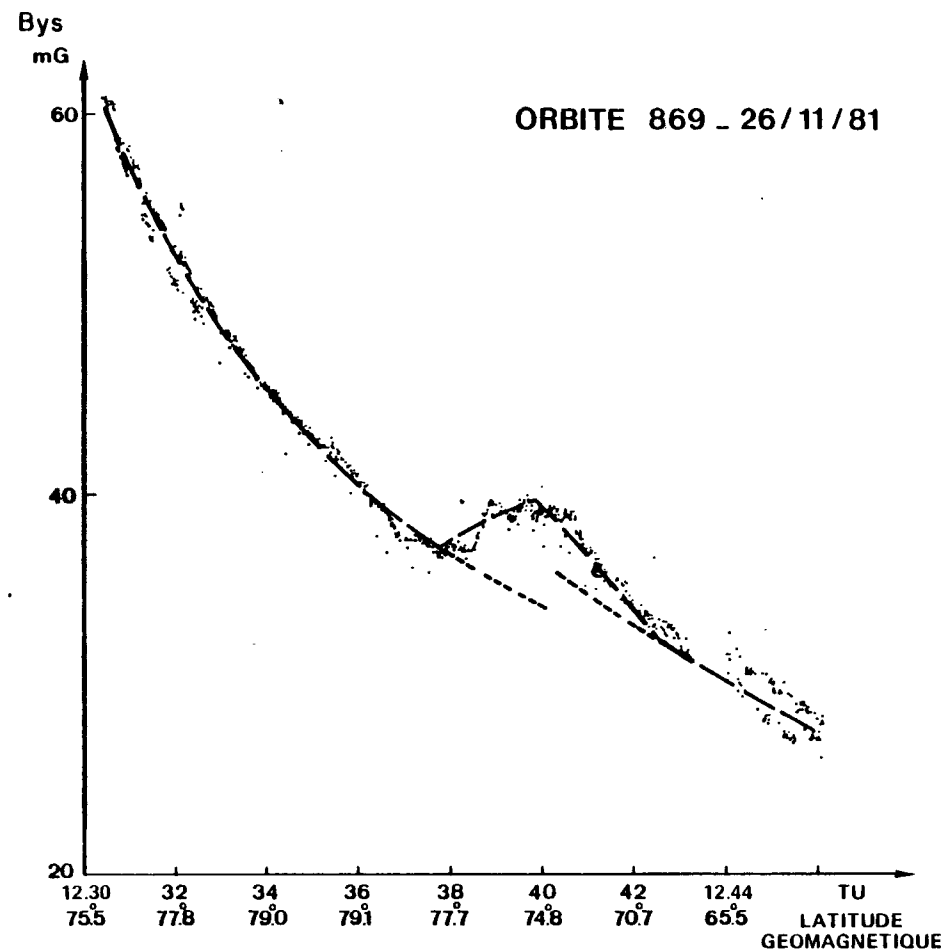
Fig. 5. Comportement équatorial de la région F de l'ionosphère au coucher du soleil.

La température ionique T_{O^+} (en bas), les concentrations ioniques N_{O^+} , N_{H^+} et N_{He^+} (en unités arbitraires, en haut) sont tracées en fonction du temps universel, du temps magnétique local, de la latitude géomagnétique et de l'altitude. On a aussi représenté (au centre) les trois paramètres qui caractérisent la vitesse des ions O^+ dans le repère du satellite. Deux sont les angles qui définissent la direction d'arrivée des ions, θ_{vert} dans le plan vertical (compté positivement vers le haut), et ϕ_{hor} dans le plan horizontal (compté positivement vers l'est). Le troisième paramètre V_{O^+} est la vitesse relative des ions par rapport au détecteur (V_{sat} représente la vitesse du satellite).

ORBITE 869 - TROMSOE - 26/11/81



6a. Trajectoire et localisation des courants dans un repère TML, latitude géomagnétique.



6b. Composante magnétique transverse By en fonction du temps TU et de la latitude géomagnétique.

Fig. 6. Expérience TRAC. Traversée d'une double nappe de courants.

En liaison avec l'expérience TBF on s'attache actuellement à étudier la structure des courants alignés au voisinage des instants où est observée la turbulence magnétique UBF ; des résultats préliminaires (708 et 306) indiquent que l'apparition de cette turbulence coïncide avec des extrema des variations magnétiques.

IV.1.2.2 Expériences nouvelles : GIOTTO, INTERBAL, OPEN

Dans le cadre du projet GIOTTO de l'ASE le CRPE participe avec trois autres laboratoires (Max Planck Institut de Heidelberg, Université de Berne, Université du Texas à Dallas) à la réalisation d'un spectromètre de masse pour la mesure des neutres et des ions thermiques dans l'environnement de la comète de Halley (expérience MESSAGE, 209). L'objectif de cette expérience est de déterminer la composition chimique de l'atmosphère neutre et ionisée de la comète, de mettre en évidence les principaux processus photochimiques, chimiques et dynamiques qui régissent son évolution, et d'obtenir des informations sur l'origine des matériaux cométaires par l'analyse des constituants. Nous avons la responsabilité du matériel sol, utilisé pendant toutes les phases d'essai et d'intégration de l'expérience, qui est organisé autour d'un ordinateur LST 11/23, et des deux détecteurs l'un pour l'analyse en énergie, l'autre pour l'analyse en masse. Ces détecteurs utilisent un système de galettes à microcanaux courbes et des réseaux d'anodes collectrices permettant d'effectuer la détection simultanée de toutes les espèces dans un large domaine de masses atomiques avec une excellente sensibilité. Le prototype du matériel sol a été livré le 15 novembre, les détecteurs sont en cours de fabrication.

L'objectif scientifique des expériences proposées dans le cadre des projets INTERBAL et OPEN est l'étude du plasma thermique et des ions suprathermiques dans la magnétosphère aurorale et polaire. Pour ces deux expériences, la conception et l'étude de l'optique des spectromètres constituent la phase actuelle.

IV.1.2.3 Satellite GEOS 2

a) Expérience Ondes S 300 - Bilan

L'année 1982 a vu s'achever le 30 juin les opérations de l'expérience Ondes S 300 embarquée sur le satellite GEOS 2, et par voie de conséquence celles du Sondeur à Relaxation (GEOS - S 301) qui en faisait partie. En presque 4 ans de bons et loyaux services, l'expérience de sondage a fourni un total avoisinant 1 million de mégabits (10^{12}) d'information. Plusieurs dizaines de millions de phénomènes de résonance ont été excités dans le plasma à ses fréquences caractéristiques, dont on a

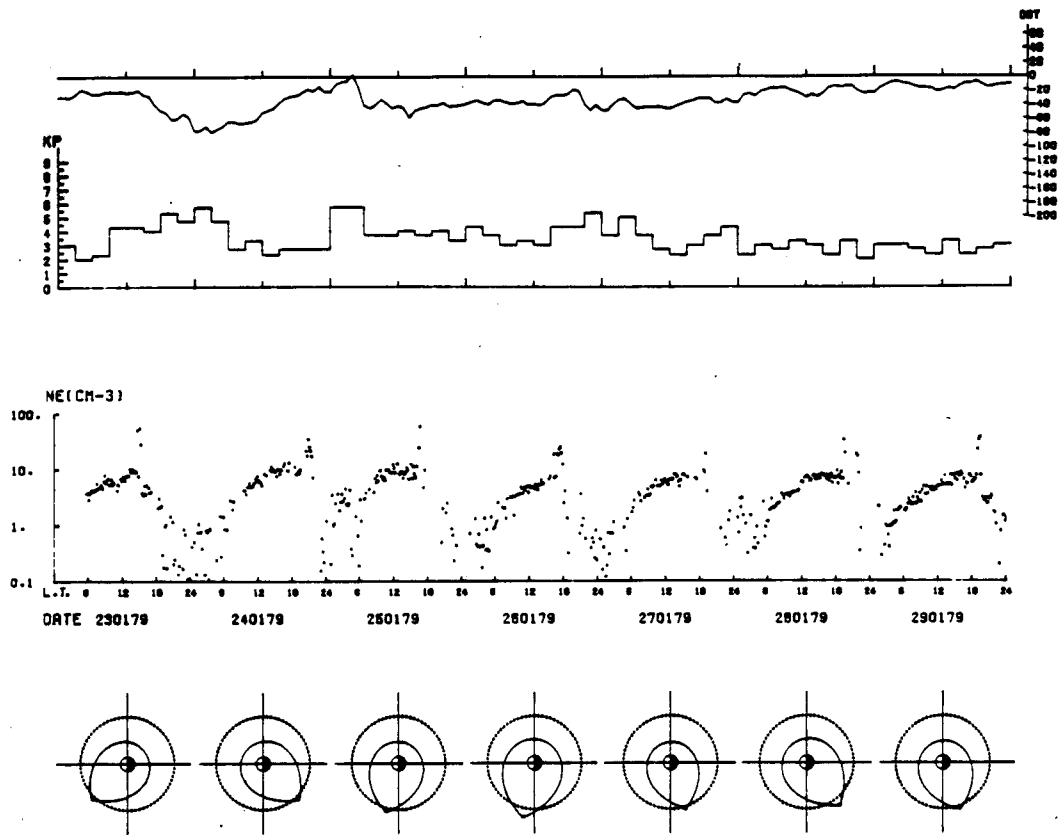
extrait, entre autres, plus d'un million de points de mesure de la concentration électronique magnétosphérique répartis le long des 24 heures de Temps Local parcourues par l'orbite géostationnaire. Il faut ajouter à ce bilan, pour être complet, que ces données ont été traitées en temps réel par un mini ordinateur HP 2100, dont le fonctionnement opérationnel sous la responsabilité des expérimentateurs totalise plus de 20 000 heures avec un taux de disponibilité voisin de 95 %. Plusieurs millions de télécommandes y ont été élaborées par les programmes de traitement puis envoyées au satellite pour optimiser le fonctionnement de l'expérience de sondage en application des différents objectifs scientifiques choisis.

C'est donc une quantité considérable de données qui est maintenant disponible. Elles constituent en particulier une base unique pour l'étude de l'électrodynamique du système magnétosphère-ionosphère. Le diagnostic de la concentration électronique magnétosphérique que cette base contient est intéressant non seulement pour lui-même, puisqu'il concerne, par définition, l'un des paramètres de base de l'électrodynamique du milieu ionisé magnétosphérique, mais aussi pour les "corrélations" avec les nombreuses mesures réalisées sur d'autres paramètres et phénomènes du milieu soit à bord de GEOS 2 même, soit à bord de nombreux autres satellites (par exemple ISEE A et B, SCATHA, EXOS B, DYNAMIC EXPLORER, ISIS), soit par des expériences au sol, particulièrement celles implantées en zone aurorale conjuguée (EISCAT, STARE).

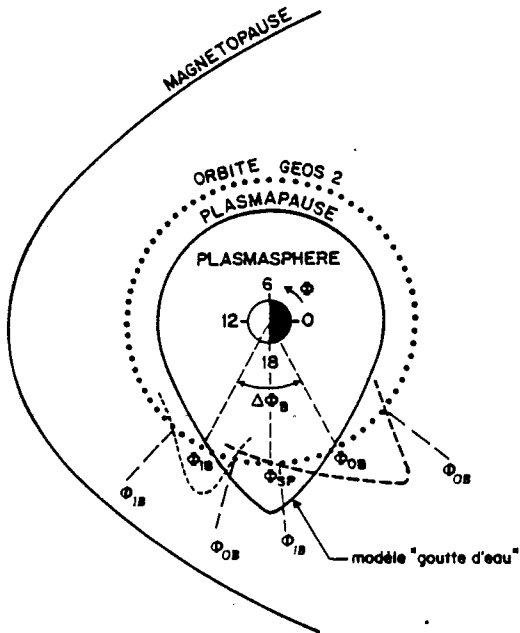
b) Propriétés dynamiques de la plasmasphère

La figure 7 présente le résultat obtenu par le traitement statistique de 4 mois de données de la concentration électronique obtenues à l'aide du sondeur à relaxation de GEOS 2. Les études de la plasmasphère montrent que sa section équatoriale, particulièrement dans le secteur de l'après-midi, présente des variations extrêmement bien corrélées avec l'activité géomagnétique, c'est-à-dire avec les caractéristiques spatio-temporelles du champ électrique de convection. La statistique de la figure 7c indique que la position de l'excroissance d'après-midi de la plasmopause se déplace systématiquement de la nuit vers le jour lorsque l'activité magnétique augmente, un résultat qu'il reste à expliquer sur le plan théorique.

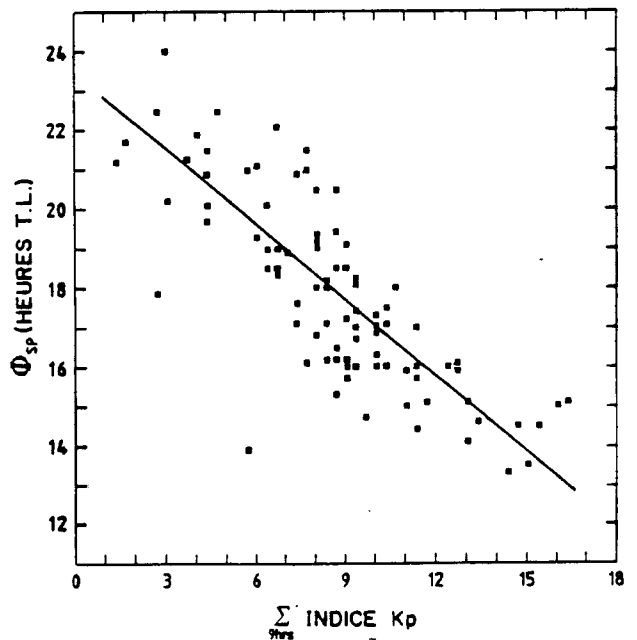
Pour permettre, dans le cadre d'une future modélisation, de rendre compte correctement de cette propriété de la convection, il était intéressant de réaliser conjointement des mesures par GEOS 2 et Dynamic Explorer. L'intention est d'obtenir une description tridimensionnelle de la plasmopause. En effet, un satellite en orbite polaire excentrique (apogée à $4.7 R_t$) peut fournir une coupe méridienne de la



7a. Représentation en fonction du temps local, pour 7 jours consécutifs.
 en haut : indices d'activités géomagnétiques.
 au centre : concentration électronique.
 en bas : section équatoriale de la plasmapause extrapolée à partir du profil de concentration électronique et d'un modèle du champ électrique de convection (les pointillés représentent l'orbite de GEOS 2).



7b. Représentation schématique des positions respectives de l'orbite et de la plasmapause, et des temps caractéristiques qui mesurent leur intersection pour 3 cas différents. ϕ_B et ϕ_{SP} sont respectivement les temps d'entrée et de sortie de GEOS 2 dans la plasmapause et ϕ_{SP} leur point milieu.



7c. Valeurs de ϕ_{SP} en fonction de l'activité magnétique (au cours des 9 heures précédentes). L'ajustement des points conduit à la relation $\phi_{SP} = 23.45 - 0.64 \sum_{9hrs} Kp$ (trait continu) avec un coefficient de corrélation égal à -0.84 (l'incertitude sur ϕ_{SP} étant de ± 0.6 heure).

Fig. 7. Corrélation entre la forme de la section équatoriale de la plasmapause et l'activité géomagnétique.

plasmasphère alors que GEOS 2 permet d'obtenir la coupe équatoriale. Les derniers mois d'opération de GEOS 2 ont ainsi été mis à profit pour effectuer une campagne de mesures, coordonnées avec Dynamic Explorer, impliquant également l'expérience de mesure des densité et température électroniques par la sonde à impédance mutuelle GEOS-S 304.

Le dépouillement sera entrepris dans le cadre de l'exploitation systématique des données, vers lequel on va maintenant se tourner, après une phase de caractère plutôt exploratoire. Celle-ci s'achève sur des études d'événements localisés (010) ou de statistique de la morphologie magnétosphérique (732), et sur une première étude statistique du couplage ionosphère-magnétosphère (039).

Enfin, les capacités de diagnostic des plasmas spatiaux par la méthode du sondage à relaxation sont l'objet d'un bilan présenté dans le cadre d'une thèse de Doctorat d'Etat en cours de rédaction.

IV.2 ETUDES THEORIQUES ET MODELISATION

IV.2.1 Modélisation de la répartition des particules ionisées de l'ionosphère

Une première version d'un modèle ionosphérique des moyennes latitudes fonctionne de manière satisfaisante depuis plus d'un an (422).

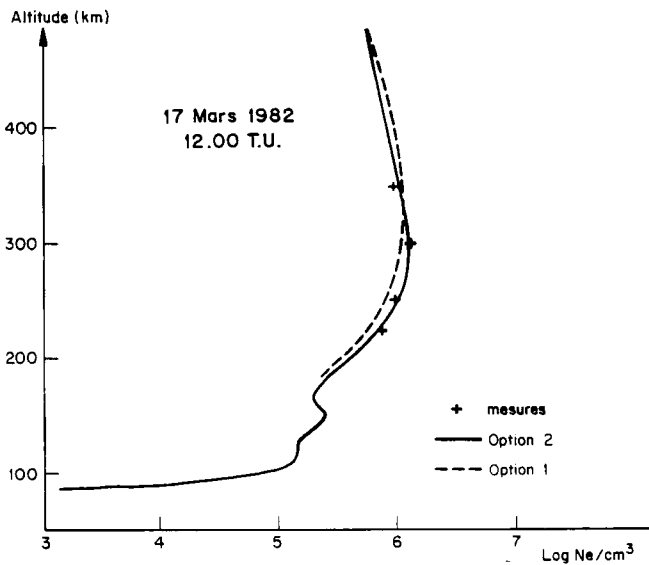
Le travail a été poursuivi dans deux directions :

- l'amélioration du modèle à une dimension,
- l'extension à deux dimensions du modèle.

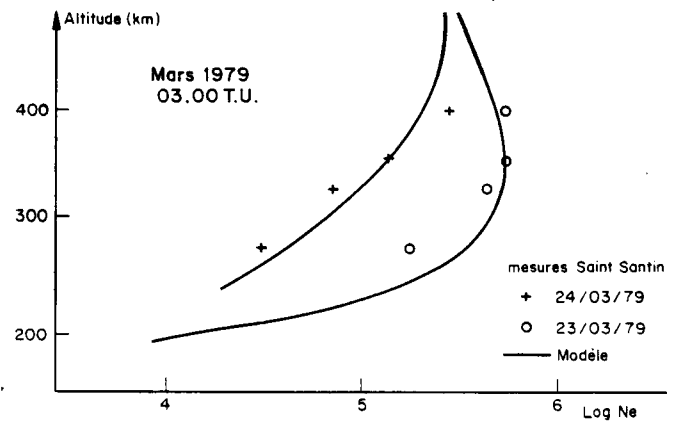
En ce qui concerne ce dernier point la structure mathématique du programme a été mise en fichier permanent et a fonctionné, sans difficulté particulière, sans des hypothèses physiques très simplifiées. Il reste à mettre en place et tester les sous-programmes décrivant le milieu. Le modèle à une dimension a été amélioré en reprenant la structure mathématique pour le généraliser. Jusqu'alors, le transport par diffusion des seuls ions O^+ étant pris en compte. Introduire la diffusion des autres ions ne change rien au résultat à moyenne latitude mais généralise le calcul pour d'autres conditions, par exemple celles haute latitude, où d'autres ions que les ions O^+ peuvent être abondants dans la région F.

Le programme prévoit deux options. L'une (option 1) consiste à introduire dans les équations l'influence du vent neutre et du champ électrique résultant des modèles qui les décrivent en moyenne avec leurs variations saisonnières ; pour l'autre (option 2) on introduit directement les vitesses mesurées par le sondeur à diffusion (422).

La figure 8a montre que l'option 2 rend mieux compte des mesures que l'option 1. Les calculs effectués pour l'ensemble de la journée montrent que les fluctuations journalières des concentrations sont dues à des variations importantes de la vitesse verticale de transport des ions et par conséquent aux variations des vents neutres et du champ électrique.



8a. Comparaison Mesures-Modèle (option 1).
Modèle (option 2).



8b. Modifications du profil liées à un sous-orage.
Comparaison Mesures-Modèle.

Fig. 8. Comparaisons du profil théorique de densité électronique issu du modèle avec les données de Saint-Santin.

Le modèle a aussi été mis à l'épreuve pour un cas d'orage, celui du 22 mars 1979. La figure 8b montre les mesures de concentration électronique effectuées par le sondeur de St-Santin à 03 00 TU le 24 mars (+) et le 23 mars (O). La perturbation a débuté le 22 mars à 08 30 TU. On observe, à l'aide du sondeur, un vent neutre méridional très fort, à partir de 18 00 TU jusqu'à 400 m/s. Tenant compte de ce vent, le résultat du modèle est une forte diminution de densité, d'un facteur 2 à 3 entre le 23 (profil de référence) et le 24, décroissance qui est observée.

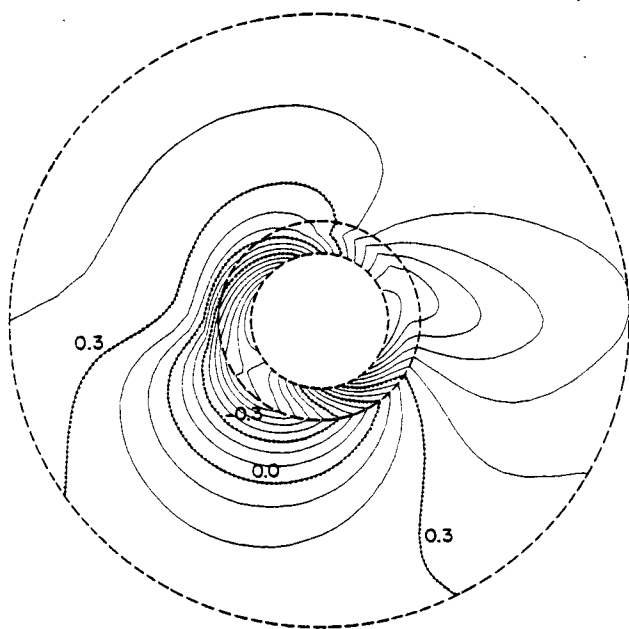
IV.2.2 Théorie et modélisation de la convection magnétosphérique

Les études théoriques sur la convection magnétosphérique se sont poursuivies dans deux directions complémentaires : 1- le développement de modèles simples (analytiques ou semi-analytiques, et linéaires), qui visent essentiellement à comprendre les mécanismes régulateurs de la convection, et à fournir des outils d'interprétation simples d'utilisation pour les grands traits statistiques de la convection ; 2- le développement d'un modèle numérique beaucoup plus complexe, visant un réalisme maximum, susceptible de bien représenter les aspects fortement non-linéaires, et de simuler au mieux un événement particulier bien couvert par les mesures.

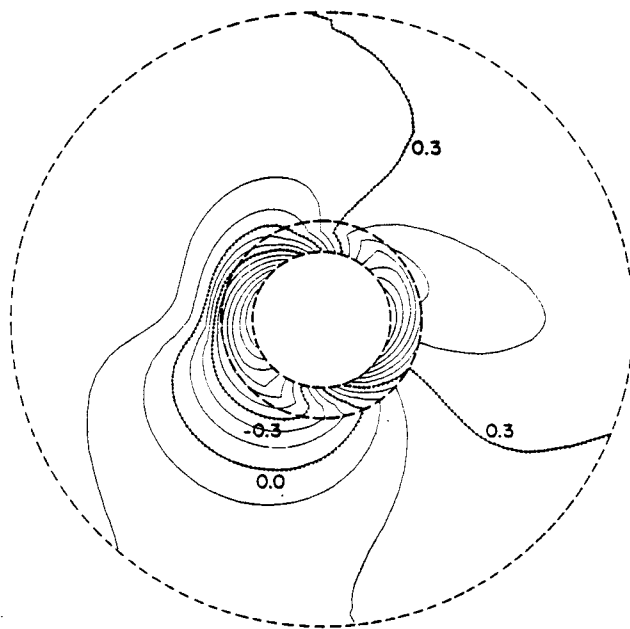
IV.2.2.1 Calculs linéaires analytiques et semi-analytiques

La distribution en latitude et temps local des champs de convection magnétosphérique, et les constantes de temps de ses variations temporelles, sont contrôlées par les conductivités ionosphériques et la distribution radiale du courant annulaire magnétosphérique. La forme de cette dépendance a fait l'objet de deux études théoriques.

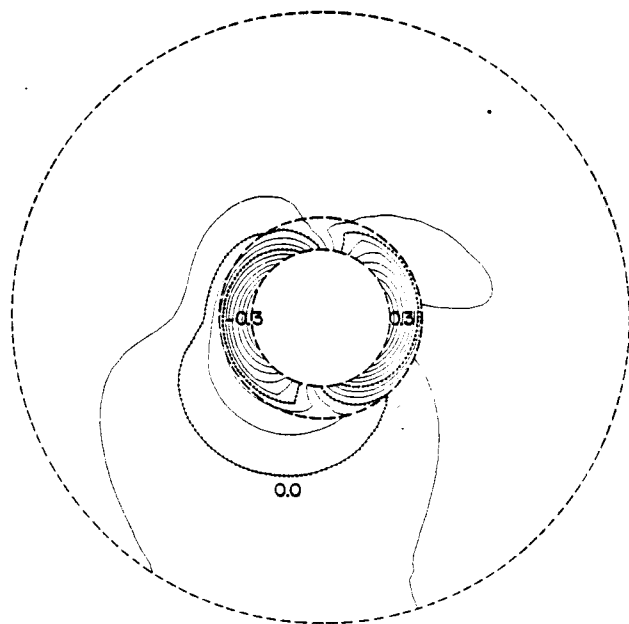
Un modèle linéaire de l'interaction entre le courant annulaire et la coquille conductrice ionosphérique a été achevé (746). Le modèle de conductivité ionosphérique comprend une distribution réaliste en moyennes latitudes, dans laquelle les conductivités sont fortes du côté jour, et varient en fonction de la hauteur zénithale du soleil, et très faibles et uniformes du côté nuit. L'effet des précipitations électroniques aurorales est représenté par une couronne de conductivités uniformes renforcées en hautes latitudes. Cette distribution de conductivités est connectée au bord interne du courant annulaire et à l'interface vent solaire/magnétosphère par des rideaux de courants électriques parallèles aux lignes de force magnétique, qui évoluent en fonction du temps sous l'effet des mouvements du courant annulaire. La figure 9 montre quatre instants dans l'évolution vers l'état stationnaire de la distribution de potentiel produite par le modèle sur l'hémisphère ionosphérique nord. A l'état initial le courant annulaire est symétrique et la différence de potentiel aube-crépuscule imposée par le vent solaire à travers la magnétosphère est nulle. Elle est alors portée brusquement à une valeur finie qui reste constante par la suite. On voit la symétrie matin/soir des deux vortex de convection à l'état initial, puis leur rotation vers l'est et leur atténuation. A l'état stationnaire, la convection est assez bien confinée en région aurorale, et ne pénètre plus que le soir et la nuit vers les latitudes moyennes.



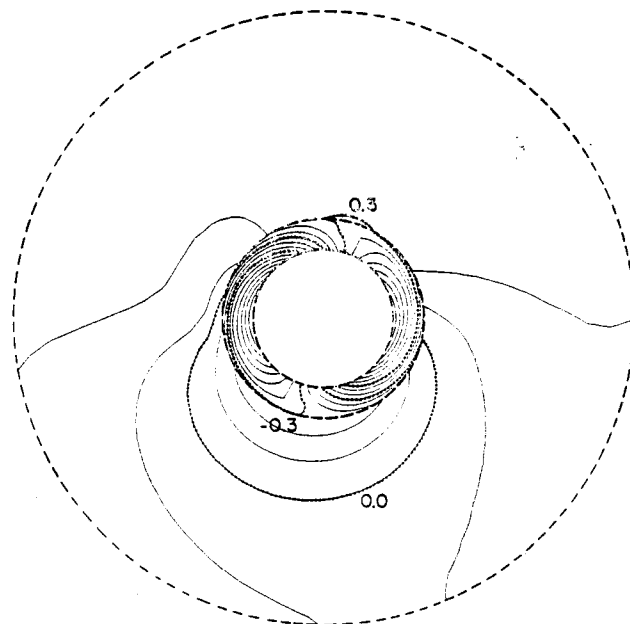
INSTANT INITIAL



$T = 0.2 \tau_D$



$T = 0.6 \tau_D$



ETAT STATIONNAIRE

Fig. 9. Distribution du potentiel électrostatique de convection à quatre instants dans le modèle semi-analytique de Senior et Blanc (1982). Les trois cercles pointillés représentent, de l'intérieur vers l'extérieur, les bords polaire et équatorial de la zone aurorale, et le cercle de l'équateur magnétique. A l'instant initial, lorsqu'on "allume" la convection, elle pénètre largement jusqu'aux basses latitudes en deux vortex fortement asymétriques (le vortex du soir étant plus étendu). Lorsqu'on tend vers l'état stationnaire, la pénétration des vortex aux moyennes latitudes est progressivement atténuée dans le secteur de jour, mais reste sensible dans le secteur de nuit.

Grâce à l'inclusion de conductivités réalistes, le modèle rend maintenant bien compte de la distribution en temps local des champs électriques observés à diverses latitudes à l'intérieur de la plasmasphère par les sondeurs incohérents (dont celui de Saint-Santin). Il permet de montrer que même à l'état stationnaire la part résiduelle du potentiel aube-crépuscule qui reste transmise aux moyennes latitudes est suffisante pour expliquer en moyenne le champ de perturbation observé.

Alors que ce modèle est adapté spécifiquement à l'étude des relations entre champ auroral et champ de moyenne latitude, il ne peut rendre compte de l'allure exacte du profil latitudinal du champ de convection à l'intérieur de la projection ionosphérique de la couche de plasma et du courant annulaire, qui correspond essentiellement aux zones aurorales. Le développement de mesures systématiques de ce profil latitudinal à tous les temps locaux par les radars incohérents (Chatanika, puis Millstone Hill et maintenant EISCAT) a suscité le développement d'un modèle plus fin de la convection pour les latitudes aurorales (504). Au lieu de supposer que le courant annulaire a une frontière interne abrupte (qui produit un rideau de courants alignés extrêmement étroit) on a établi les relations liant son profil radial de concentration et de pression à celui du champ de convection. Le profil radial du courant annulaire correspondant au modèle de convection empirique de Stern-Volland a pu être calculé, au prix d'une rotation avec la latitude de la phase de ce modèle. Le modèle ainsi modifié réconcilie le modèle de Stern-Volland avec les équations physiques de la convection. Il le prolonge en un modèle qui fournit également de façon autocohérente le courant annulaire et les courants parallèles aux lignes de force magnétiques, qui sont maintenant, comme dans la réalité, étendus sur une gamme de latitudes couvrant toute la zone aurorale.

IV.2.2.2 Simulation numérique

La limitation des modèles précédents tient à leur modèle de conductivité, qui en zone aurorale simule artificiellement le renforcement de l'ionisation résultant du bombardement de la haute atmosphère par les précipitations particulières, sans le relier directement aux équations de transport et de perte des électrons magnétosphériques. Un travail préliminaire, achevé en 1982 (723) avait permis de formuler des équations de transport des électrons de la couche de plasma magnétosphérique incluant, sous l'hypothèse restrictive de la diffusion forte en angle d'attaque, leur précipitation dans l'ionosphère. Ces équations ont été couplées aux équations du courant ionosphérique, et résolues en fonction du temps à l'aide d'un code numérique à éléments finis développé par l'INRIA. Dans une première étape, dont les résultats vont être publiés en 1983, les ions du courant annulaire sont supposés froids. Une étape ultérieure inclura l'effet de leur pression finie, et donc les courants parallèles qui en résultent.

V. RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE TERRESTRE ET PLANETAIRE RESONANCE DES PLASMAS

Ce chapitre vise à dresser un bilan des études effectuées dans le domaine des ondes électromagnétiques ou quasi-électrostatiques qui peuvent se propager dans les plasmas de l'environnement terrestre. On décrira successivement les résultats des expériences : SUBSTORM-GEOS, PORCUPINE et ARAKS réalisées par tir de fusées dans l'ionosphère, AUREOL-3 (satellite situé à l'interface Ionosphère - Magnétosphère), et enfin des satellites GEOS 1, 2 et ISEE d'exploration de la Magnétosphère et du vent solaire. L'importance accordée à la mesure des ondes dans les plasmas naturels procède d'une double motivation : d'une part les ondes permettent l'étude "à distance" des processus physiques, d'autre part elles contribuent grandement à déterminer la dynamique du plasma en assurant par exemple la friction "anormale" entre les divers composants de plasmas a priori non collisionnels (au sens classique du terme).

La dernière partie de ce chapitre est consacrée à des études d'ondes effectuées en laboratoire ; le but de ces études est évidemment de simuler des situations rencontrées dans l'environnement terrestre. Finalement les résultats d'études de théorie du signal seront brièvement résumés.

V.1 IONOSPHERE

V.1.1 Sondes à impédance mutuelle EBF

L'étude du comportement de ces sondes en plasma chaud a été poursuivie afin de comprendre certains résultats de l'expérience "mesure de résistivité anormale" du programme SUBSTORM-GEOS, et de voir les possibilités d'utilisation de ce type de sonde dans les plasmas spatiaux. Une étude théorique du potentiel créé par une antenne sphérique de surface solide, polarisée au potentiel plasma, a permis d'expliquer le faible niveau des ondes acoustiques ioniques excitées par l'antenne d'émission durant l'expérience. Par suite de l'absorption des particules chargées par l'antenne, le niveau d'excitation est beaucoup plus faible que celui qui serait créé par une source de charge ponctuelle, dès que le rayon de l'antenne dépasse un seuil critique, ce qui est pratiquement toujours réalisé dans la haute ionosphère. En particulier si la fréquence d'émission est beaucoup plus faible que la fréquence plasma ionique, il y a un ensemble

de valeurs du rayon de l'antenne pour lesquelles la réduction du niveau d'excitation est indépendante du rayon (figure 1). Un article concernant cette étude est en cours de rédaction.

Une autre étude a été entreprise afin d'essayer de comprendre les variations du niveau des ondes, qui ont été observées lors du troisième vol de l'expérience, en fonction de la direction par rapport au champ magnétique.

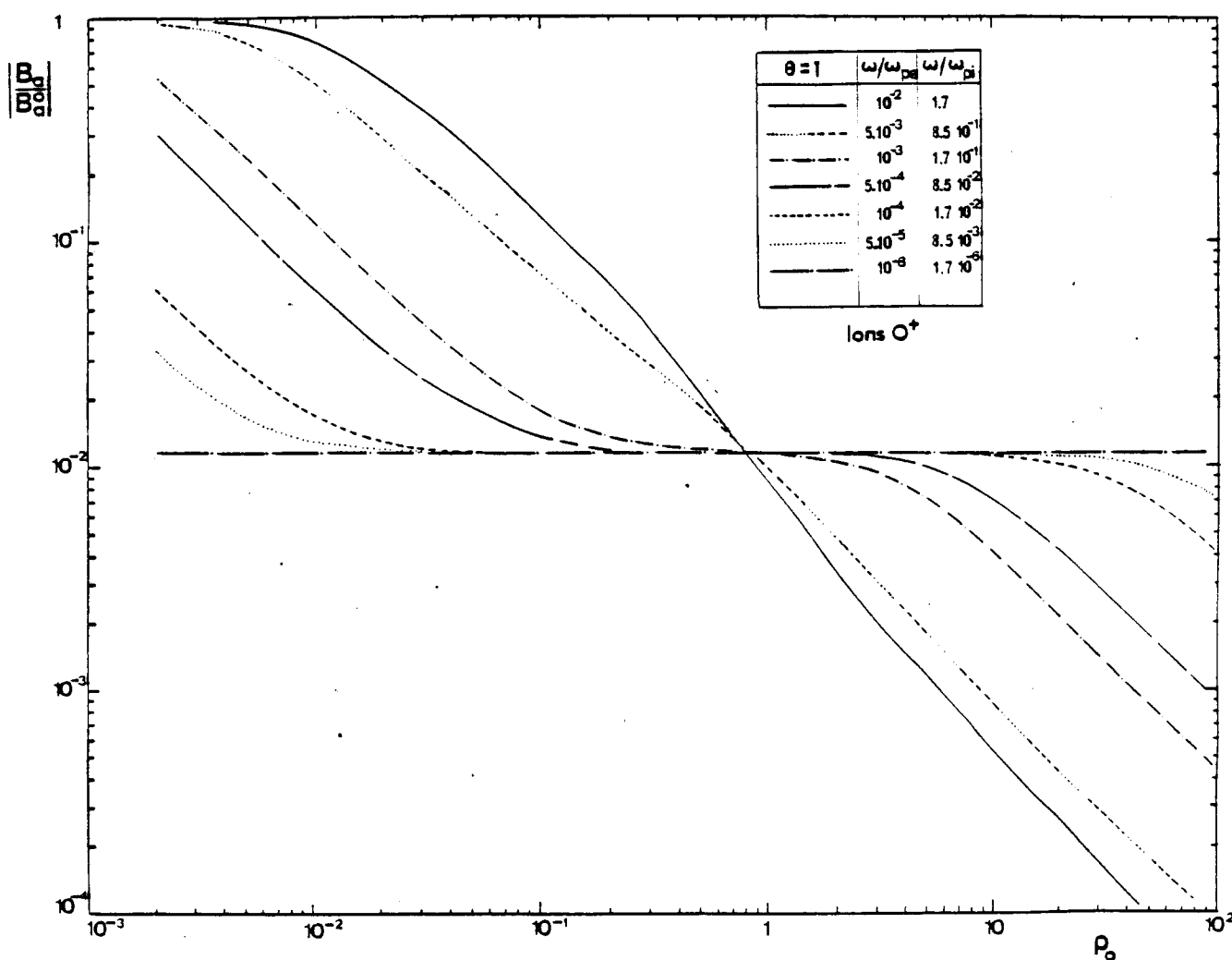


Fig. 1. Variations du coefficient d'excitation des ondes acoustiques rayonnées par une antenne sphérique, normalisé par rapport au coefficient d'excitation des ondes rayonnées par une source ponctuelle en fonction du rayon de l'antenne normalisé par rapport à la longueur de Debye, pour différentes valeurs du rapport ω/ω_{Di} , lorsque $(T_e/3T_i) = 1$; T_e et T_i sont les températures respectives des populations électroniques et ioniques.

V.1.2 Etude de la dynamique d'un faisceau d'ions dans l'ionosphère

Durant l'expérience PORCUPINE (Kiruna, mars 1979), un faisceau artificiel de plasma de xénon a été émis dans l'ionosphère à partir d'une source préalablement éjectée du corps de la fusée porteuse. Cette source fournissait un flux d'ions xénon neutralisés, dont la vitesse moyenne était de 17 km/s ce qui correspond à une énergie de 200 eV. Quant à l'énergie des électrons émis elle était de l'ordre de 2 eV.

Les résultats expérimentaux ont montré que les trajectoires des électrons émis par la source sont immédiatement gouvernées par le champ magnétostatique, si bien que les ions xénon acquièrent très vite un mouvement individuel. Ces ions se propagent au travers d'un nuage d'électrons ambiants qui s'écoulent le long des lignes de force du champ magnétique pour venir neutraliser le plasma.

L'étude des émissions électrostatiques engendrées par le faisceau d'ions a montré qu'aux basses fréquences on observait une déstabilisation des ondes cyclotroniques ioniques aux multiples de la gyrofréquence des protons (nf_H). Le comportement de la turbulence haute fréquence est beaucoup plus curieux. De fait, initialement cette turbulence est observée aux alentours de la fréquence plasma du faisceau, et se trouve concentrée dans les zones où le gradient de densité électronique $\vec{\Delta n}$ et le champ électrique statique $\vec{E}$ sont tels que $\vec{\Delta n} \cdot \vec{E} > 0$. Puis au fur et à mesure que le faisceau se propage, la turbulence haute fréquence se meut en amont du faisceau. On observe alors dans cette zone un creux de densité électronique où toute la turbulence haute fréquence se trouve confinée (voir Figure 2). L'analyse spectrale de cette turbulence montre qu'elle est concentrée aux alentours des harmoniques des ondes cyclotroniques électroniques (nf_b), la déstabilisation de ces ondes étant produite par suite du mouvement d'ensemble des ions par rapport aux électrons. Cette étude fait l'objet d'un article soumis (742).

V.1.3 Rayonnement d'un faisceau d'électrons modulé en fréquence

Les travaux d'interprétation des résultats obtenus lors des expériences actives Araks ont été achevés. Ils ont porté sur l'étude des effets de la modulation du faisceau à la fréquence du convertisseur d'alimentation du canon à électrons et à ses harmoniques. Un modèle de calcul du champ proche d'un élément de courant modulé dans un plasma froid anisotrope a été développé et devrait par la suite pouvoir être utilisé pour calculer le comportement d'une antenne magnétique immergée dans un plasma (501).

PORCUPINE F 3

79 - 03 - 19

LANCEMENT : 22 : 57 : 00 TU

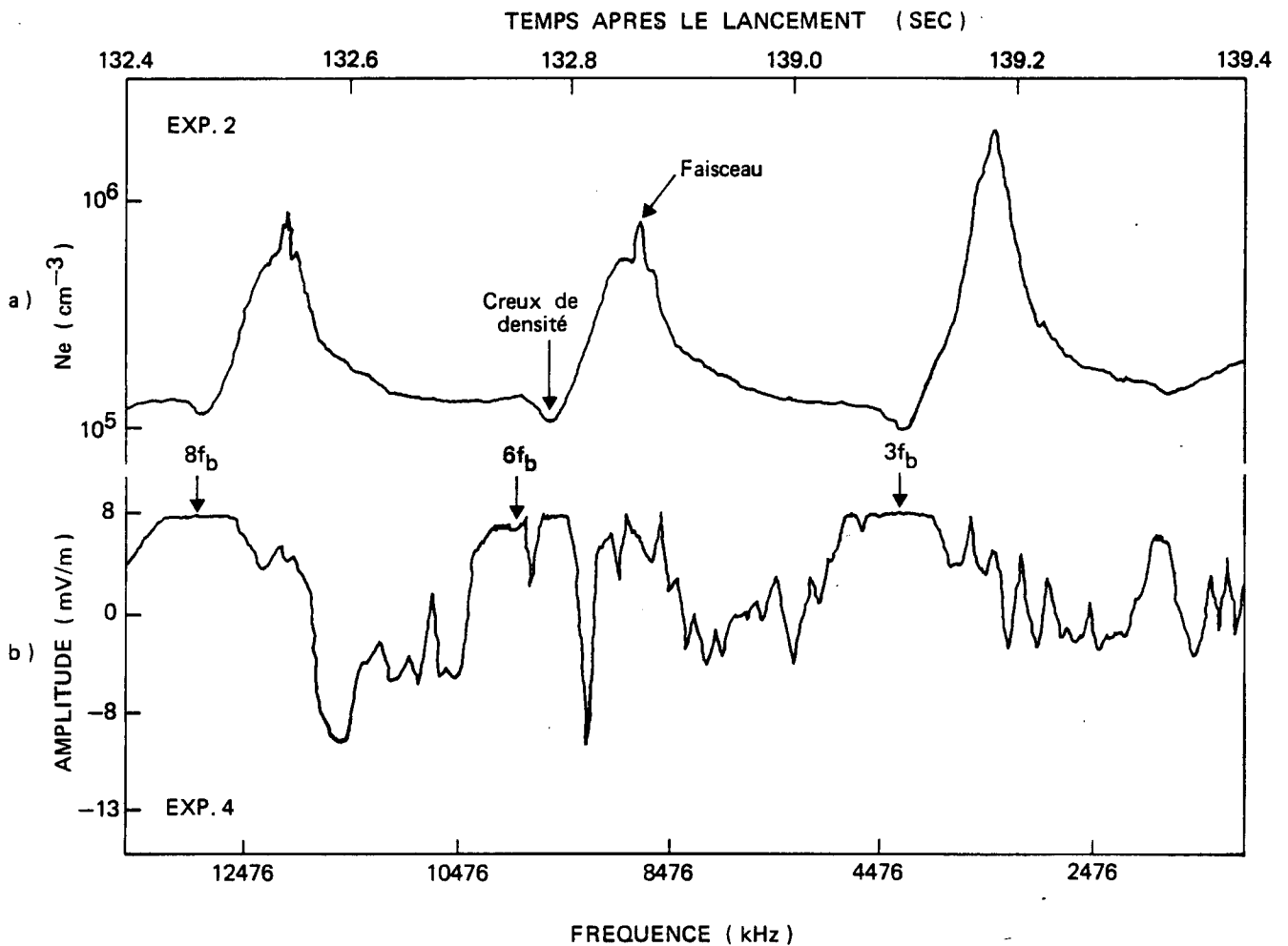


Fig. 2. La partie supérieure représente la réponse de la sonde de Langmuir qui donne la densité électronique avec une haute cadence de résolution. La partie inférieure montre le bruit HF engendré par le passage du faisceau. Il apparaît nettement que la majeure partie de la turbulence est concentrée dans le creux de densité électronique situé en amont du faisceau.

V.1.4 Aspects "ondes" des mesures du satellite Auréol 3

Les données de l'expérience ondes dans le domaine des ondes électromagnétiques apparaissent extrêmement riches, en particulier dans le domaine EBF où l'utilisation des 5 composantes devrait permettre une étude détaillée des conditions de propagation et des mécanismes de génération de ces ondes. Nous citerons ici brièvement deux observations intéressantes ; la première a trait au souffle auroral dont on observe très fréquemment des fluctuations de niveau avec des temps caractéristiques de l'ordre d'une fraction de seconde à quelques secondes. On a pu corrélérer de

façon très précise l'intensification du souffle avec une augmentation de la densité électronique et une propagation préférentielle le long du champ magnétique (710) ; une analyse plus fine de ces données et leur interprétation en terme de guidage le long de conduits d'ionisation est en cours. La seconde observation est celle d'ondes électromagnétiques engendrées lors des expériences de modulation de l'électrojet auroral (330). Ces expériences consistent à utiliser un émetteur HF de grande puissance pour chauffer la basse région E, l'intensité de l'onde HF de chauffage étant elle-même modulée par une onde EBF ou TBF (entre 525 Hz et 1 400 Hz). La conductivité de la région E, et par conséquent l'intensité de l'électrojet, présentent une modulation à la même fréquence, l'idée sous-jacente étant d'utiliser alors l'électrojet comme une antenne de très grande dimension. Au cours d'une de ces tentatives réalisées lorsque le satellite se trouvait au voisinage de la zone éclairée par l'émetteur, les ondes attendues ont effectivement été détectées mais apparemment dans un créneau relativement étroit (Figure 3) ; une étude est en cours pour préciser les caractéristiques des signaux reçus et analyser les conditions de propagation dans l'ionosphère supérieure.

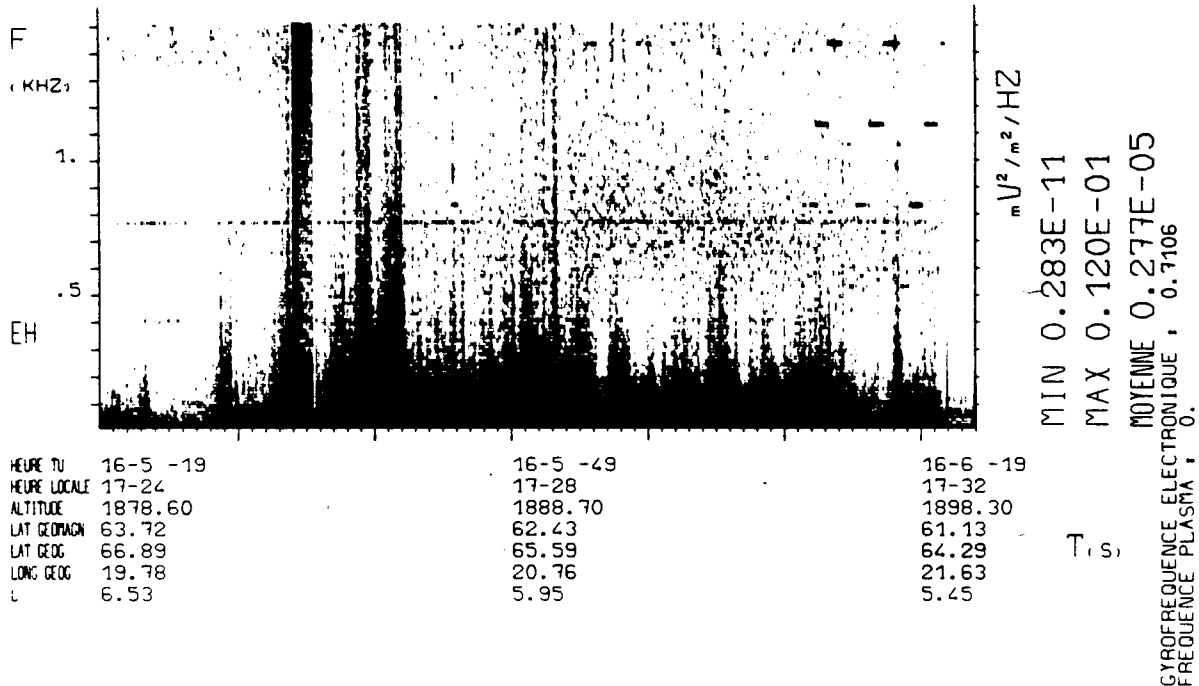


Fig. 3. Spectrogramme des mesures d'onde (composante électrique) obtenu au voisinage de la zone éclairée par l'émetteur et au cours d'un passage au-dessus de Tromsøe. On distingue trois des fréquences utilisées pour la modulation.

V.2 MAGNETOSPHERE

V.2.1 Rôle des ondes d'Ultra Basse Fréquence dans la dynamique du plasma magnétosphérique

L'étude des ondes d'Ultra Basse Fréquence et de leur rôle dans la thermalisation "anormale" des divers composants du plasma magnétosphérique a été un des points forts du programme GEOS. La plupart des résultats obtenus ont été décrits dans les deux rapports précédents. Les articles correspondants ont été rédigés au cours du premier semestre 82 ; ils sont maintenant publiés (025), (026), (029), (030) ou acceptés (740). En outre ces travaux ont motivé un certain nombre de développements.

Sur la base des données des satellites GEOS 1 et 2, une interprétation du mécanisme de déstabilisation des Ondes Cyclotronique Ioniques (OCI) et de leur rôle dans le chauffage des particules ionosphériques a été développée. Il restait à confronter cette interprétation avec une comparaison directe sol - satellite ce qui a été possible grâce aux données de la station mobile installée en Norvège à proximité du pied de la ligne de force associée à GEOS. Il a été constaté que le coefficient de transmission jusqu'au sol des OCI dépend de manière critique du rapport entre leur fréquence et la gyrofréquence de l'Hélium He^+ . Cette variation de la transmission jusqu'au sol des ondes avec le rapport $F/F_{\text{He}^+ \text{eq}}$ est en accord avec l'interprétation théorique qui a été proposée pour l'amplification de ces ondes dans la région équatoriale. L'effet de miroir imparfait qui a été ainsi introduit est illustré sur la figure 4. Ce travail est soumis à GRL (741). L'ensemble des travaux discutés dans ce paragraphe a fait l'objet de communications et d'exposés de synthèses (315), (318), (325), (336), (339), (340).

V.2.2 Théorie quasi-linéaire des interactions onde-particule

Certains aspects de l'interaction entre les Ondes électromagnétiques Cyclotroniques Electroniques (OCE ; gamme de fréquence 100 Hz - 3 kHz) et les électrons énergétiques (10 keV - 200 keV) dans la magnétosphère ont pu être étudiés grâce aux données très détaillées de GEOS 1 et 2. Les résultats expérimentaux ainsi obtenus sont en accord avec ce que prévoit la théorie quasi-linéaire de la diffusion en angle d'attaque (angle entre le vecteur vitesse des particules et le champ magnétostatique) des particules. La situation physique peut être décrite de la manière suivante. A la suite d'une injection d'électrons énergétiques, dont la fonction de distribution présente une anisotropie de température : $T_{\perp} > T_{\parallel}$, (la température étant définie par rapport à la direction du champ magnétostatique) une OCE peut se développer.

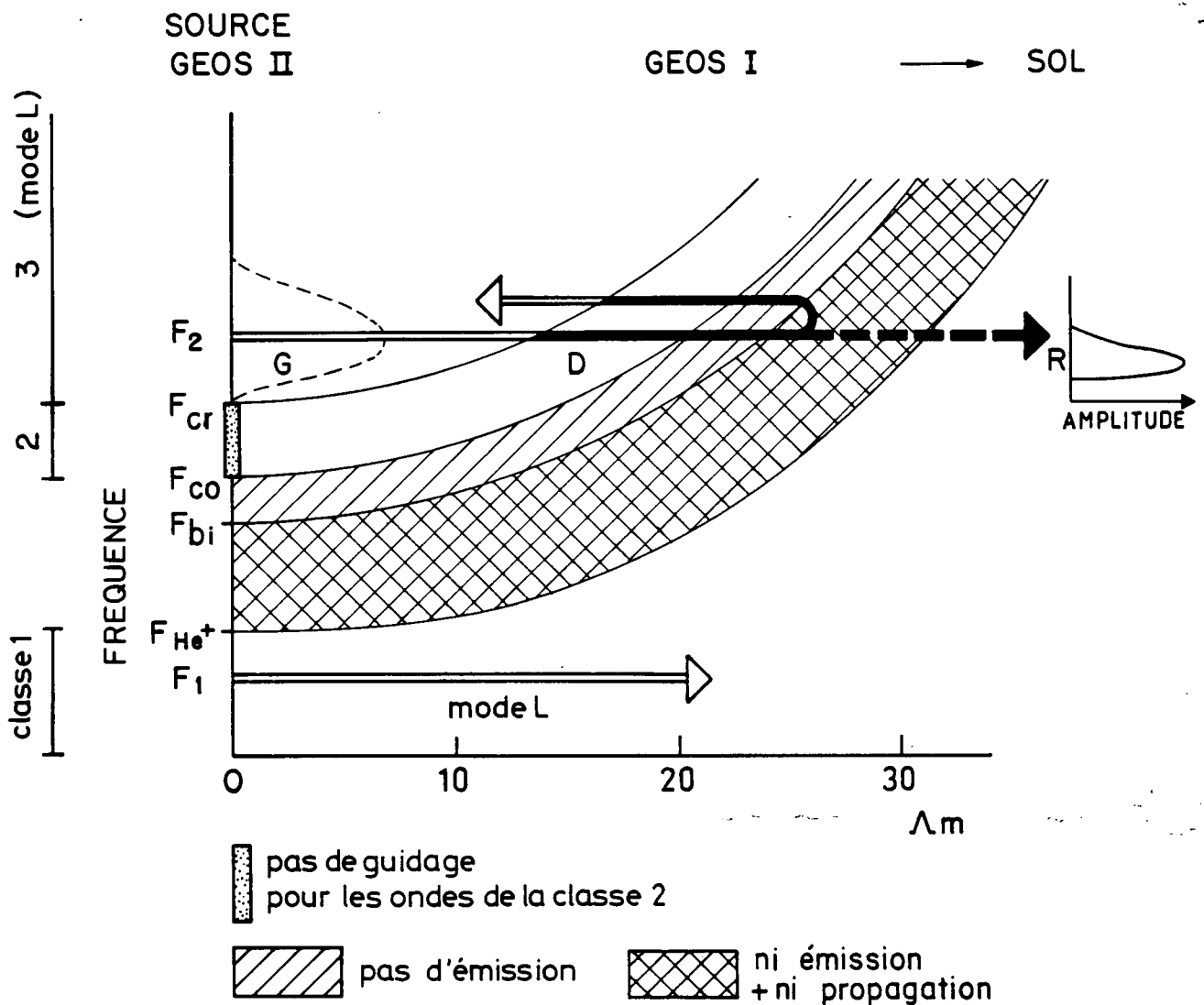
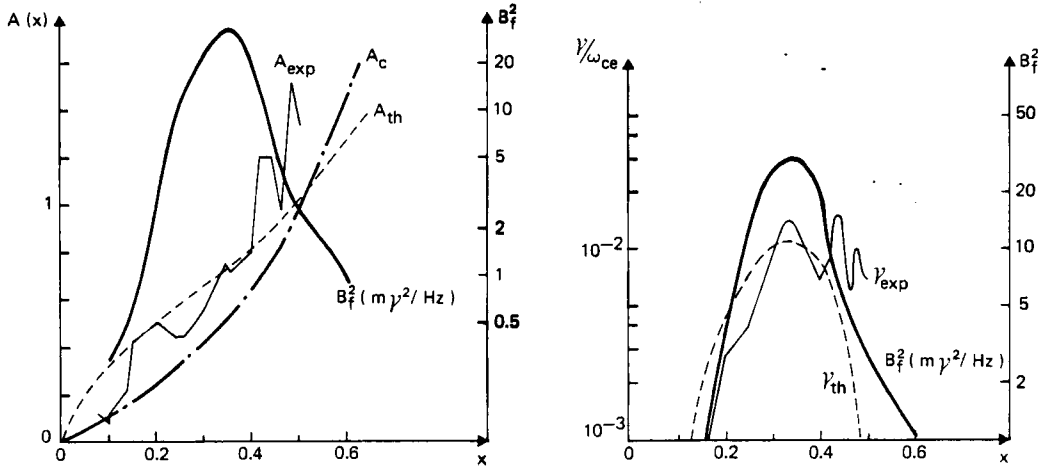


Fig. 4. Les OCI sont engendrées dans la région équatoriale par les protons énergétiques. Pour des fréquences $F_1 < F_{He^+}(\Lambda_m = 0)$ la gyrofréquence équatoriale de l'Hélium, le mode est guidé et se propage jusqu'au sol (Λ_m est la latitude magnétique). Les ondes qui sont instables avec $F_2 > F_{cr}(0) > F_{He^+}(0)$ (où F_{cr} est la fréquence de croisement introduite par He^+) sont également bien guidées mais subissent localement une inversion de polarisation pour $F_2 = F_{cr}(\Lambda_m)$ et une réflexion pour $F \sim F_{bi}(\Lambda_m)$, la fréquence hybride bi-ion. Par conséquent une onde instable de fréquence $F_2 > F_{He^+}$ ne peut se propager jusqu'au sol dans un plasma riche en He^+ . Au contraire si le pourcentage d' He^+ décroît jusqu'à être de l'ordre de quelques pour cent un effet tunnel a lieu qui privilégie les fréquences les plus basses du spectre des ondes instables (voir texte). Cet effet de filtre "passe bas" est illustré sur la figure : le spectre des ondes transmises $\Lambda_m > 30^\circ$ est relativement plus pauvre en composantes de haute fréquence que le spectre au niveau de la source ($\Lambda_m = 0$).

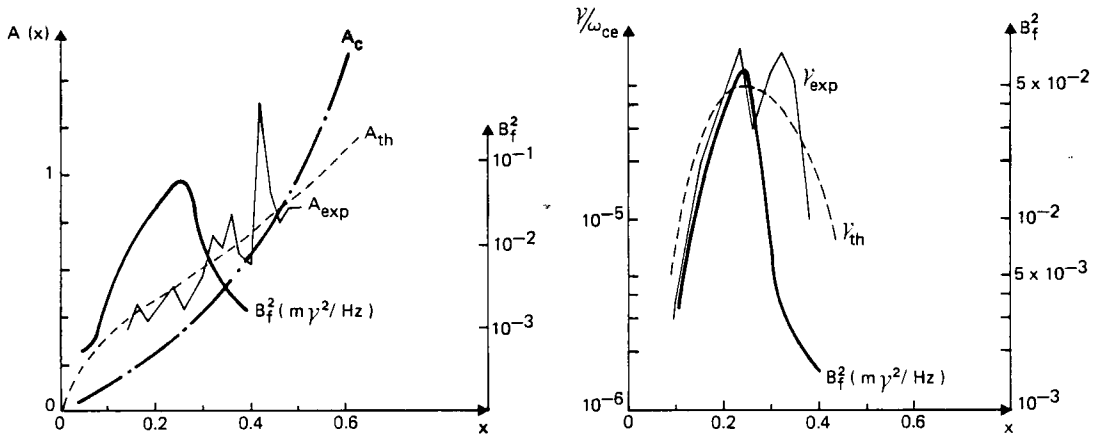
Cependant ceci ne peut se produire que lorsque l'anisotropie de température A dépasse un seuil critique A_c . Si cette condition est vérifiée, les ondes provoquent la diffusion des électrons en angle d'attaque réduisant ainsi l'anisotropie A jusqu'à des valeurs $A \sim A_c$ (voir Figure 5). Cette étude, qui comporte aussi certains aspects liés au seuil d'apparition des ondes et à l'intensité de la diffusion, fait l'objet d'un article en cours de rédaction.

Partant de ces résultats établis expérimentalement pour la diffusion quasi-linéaire, un modèle analytique simple de fonction de distribution des électrons soumis à cette diffusion a été établi. Ce modèle a été utilisé pour expliquer certaines différences observées entre les résultats de GEOS 2 obtenus à l'équateur géomagnétique ($\lambda \sim 0^\circ$) et ceux de GEOS 1 pour des latitudes ($\lambda \sim 20^\circ$). Ces différences concernent en particulier la position du maximum en fréquence du coefficient d'amplification des ondes par rapport à la position du maximum du spectre des ondes (voir Figure 5). Ce travail est aussi en cours de rédaction.

GEOS 2 - 11-08-78 - 2:00-2:05 TU



GEOS 1 - 3-09-77 - 11:50-11:55 TU



GEOS 1 - 9-8-77 - 14:09-14:14 TU

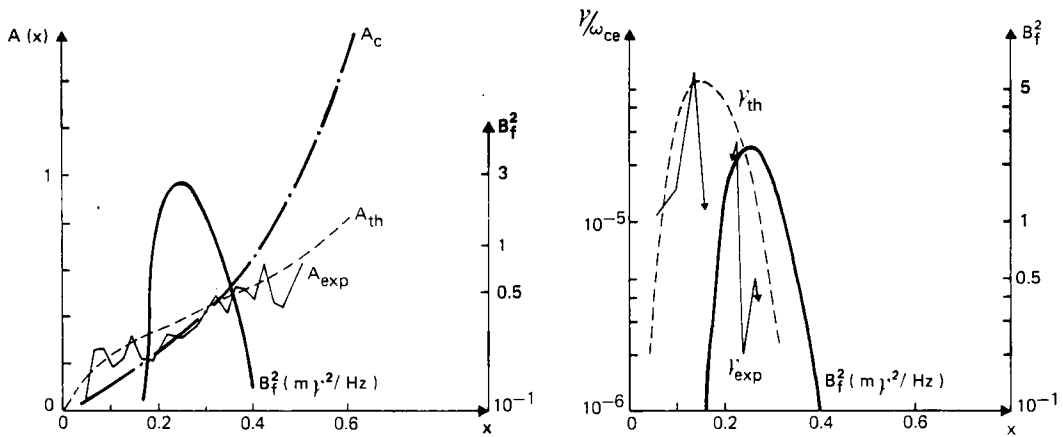
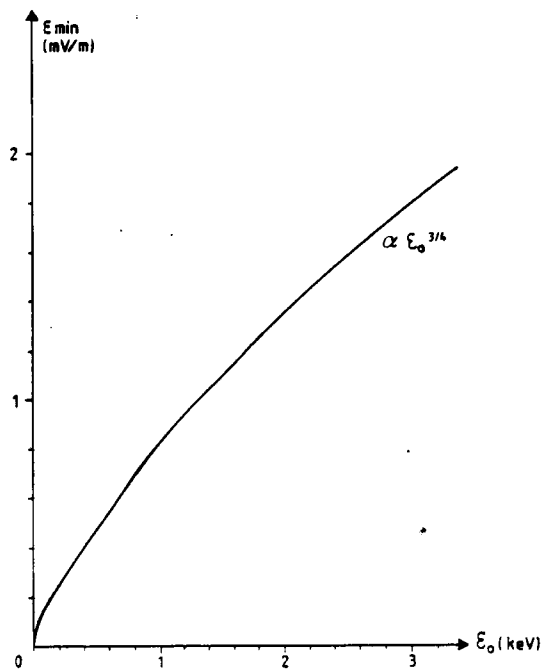


Fig. 5. Sur les 3 figures de gauche, on a tracé l'anisotropie de température des électrons $A(x)$ [$A(x) \sim (T_{\perp} - T_{\parallel})/T_{\parallel}$; $T_{\perp}$ et $T_{\parallel}$ températures mesurées par rapport au champ magnétostatique terrestre] en fonction de la fréquence réduite (fréquence des ondes divisée par la fréquence cyclotronique locale). Selon les prédictions de la théorie quasi-linéaire de la diffusion, dans l'intervalle de fréquence x où les ondes (B_f^2) apparaissent, l'anisotropie déduite des données des satellites GEOS (A_{exp}) suit par valeurs supérieures l'anisotropie critique A_c (seuil de déclenchement des ondes). Sur les 3 figures de droite, on a tracé le coefficient d'amplification $\nu(x)$ des ondes. Sur l'ensemble des figures on voit que le modèle théorique élaboré, qui donne A_{th} et ν_{th} , est en bon accord avec les résultats expérimentaux.

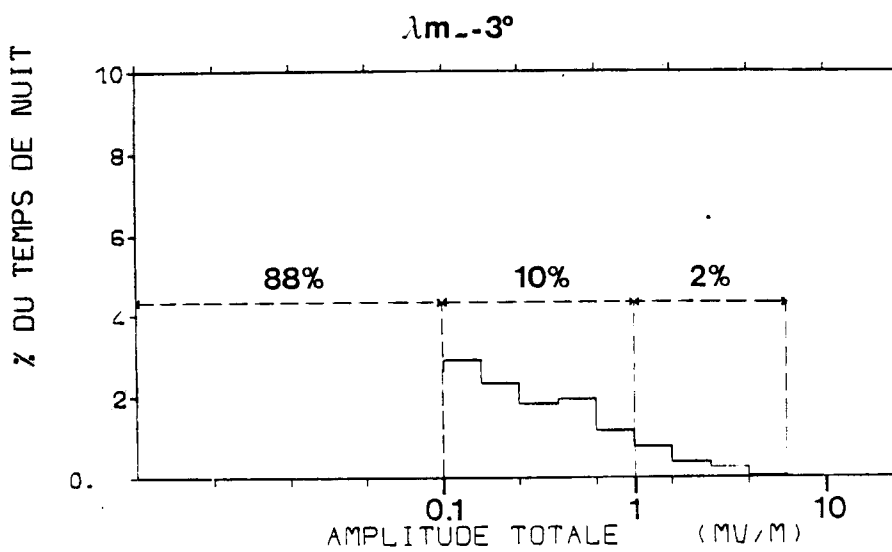
V.2.3 Ondes électrostatiques et aurores diffuses

La bordure équatoriale de l'ovale auroral est marquée en permanence par ce que l'on nomme des "aurores diffuses", qui sont constituées par des précipitations d'électrons d'énergie de 100 eV à 10 keV. Le mouvement de convection vers la terre du réservoir de plasma que constitue la queue géomagnétique doit donc s'accompagner d'une précipitation (provoquée par des ondes) qui rende compte des aurores diffuses précitées.

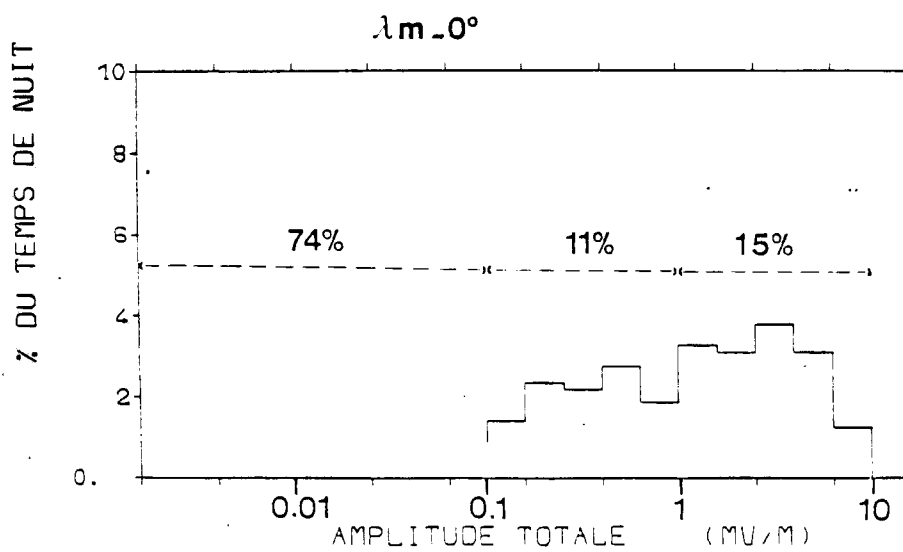
Depuis 1970, les théoriciens pensaient avoir identifié les ondes responsables de cette diffusion comme étant les ondes électrostatiques à des fréquences supérieures ou de l'ordre de la gyrofréquence électronique F_{ce} , ondes qui ont été observées par différents satellites au voisinage du plan équatorial, et à l'extérieur de la plasmopause (qui se situe entre ~ 4 et 8 rayons terrestres côté nuit). L'orbite géostationnaire de GEOS 2, ainsi que la diversité des moyens de diagnostic à bord de ce satellite en faisaient l'outil privilégié pour vérifier cette hypothèse. Une étude statistique de toutes les ondes électrostatiques enregistrées à bord de GEOS 2 a été menée à bien au cours de cette année, et a donné lieu à une thèse de 3ème cycle (503), et un premier article (705). Sur la figure 6 est présenté l'un des résultats importants de cette recherche : l'amplitude des ondes observées ne dépasse 1 mV.m^{-1} que 2 % du temps de nuit lorsque GEOS 2 est à une latitude $\lambda_m = -3^\circ$ par rapport à l'équateur magnétique (6,b), et 15 % lorsqu'il se trouve situé sur cet équateur théorique (6,c). Or, le calcul théorique de la diffusion par les ondes électrostatiques, que nous avons effectué en tenant compte de toutes les informations expérimentales récentes sur ces ondes, montre que cette valeur de 1 mV.m^{-1} doit nécessairement être atteinte pour mettre les électrons de 1 keV en diffusion forte (la figure 6 a montre le champ électrique minimum $E_{\min}$ nécessaire pour mettre en diffusion forte les électrons d'énergie ϵ_0). L'ensemble de ces résultats montre que les ondes électrostatiques, contrairement à ce qui a été affirmé jusqu'ici, sont de mauvais candidats pour expliquer le phénomène permanent que sont les aurores diffuses.



(a)



(b)



(c)

V.2.4 Rayonnement radio planétaire

De manière un peu schématique on peut distinguer deux types de rayonnements radio planétaires : le rayonnement (continuum radio émission) émis dans la région équatoriale et le rayonnement des sources de basse altitude (le rayonnement kilométrique auroral dans le cas de la Terre). Ces deux types de rayonnement non thermiques ont été détectés pour les trois planètes magnétisées "explorées" du système solaire : la Terre, Jupiter et Saturne.

a) Rayonnement continuum de la Terre (Voir aussi le § 4.2)

L'étude du rayonnement électromagnétique de la terre du type "continuum non thermique" à l'aide de mesures simultanées des satellites GEOS et ISEE, a été poursuivie. En plus des résultats déjà obtenus, (localisation des sources sur la plasmopause, existence de structures fines très monochromatiques, existence d'une importante composante de ce bruit se propageant dans le mode extraordinaire) on a pu montrer que, contrairement aux prévisions de la théorie d'émission de ces ondes par conversion linéaire de modes, l'émission est peu directive (Figure 7). Un premier article résumant les principaux résultats a été publié (008), (318).

b) Rayonnement kilométrique auroral

Une étude systématique du rayonnement kilométrique auroral a été entreprise en collaboration avec des chercheurs du Centre de Physique Théorique de l'Ecole Polytechnique. Le mécanisme de génération proposé pour ce rayonnement particulièrement intense est l'instabilité Maser Synchrotron qui a été étudiée dans la phase linéaire aussi bien que dans la phase non linéaire (ce qui permet d'évaluer l'amplitude des ondes). Deux articles ont été soumis sur ce sujet (737), (738).

Notons pour clore ce chapitre la parution d'un article dans lequel est proposée une interprétation du rayonnement TBF observé loin du faisceau d'électrons émis lors de l'expérience ARAKS (015).

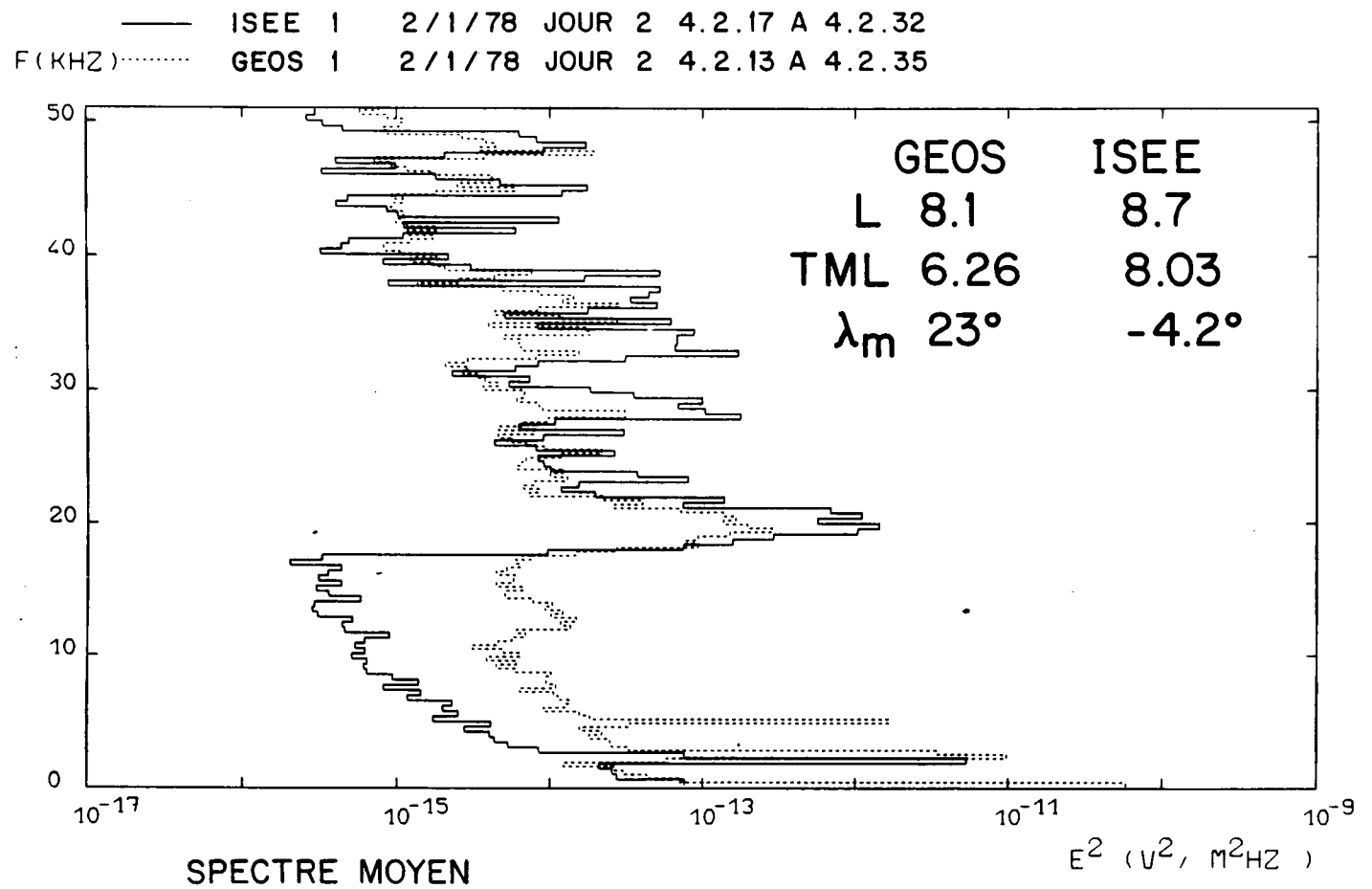


Fig. 7. Exemple de spectre de "continuum non thermique" structuré reçu simultanément sur GEOS et ISEE. La position des satellites est indiquée sur la figure. Les satellites, situés sensiblement à la même distance de la terre mais séparés par près de 2 h en heure locale et presque 30° en latitude, observent les mêmes structures spectrales. Cela prouve que la source, localisée sur la plasmopause émet dans un angle d'au moins $\pi/2$ stéradians.

V.3 VENT SOLAIRE

Etude des ondes en amont du choc de la terre

L'étude des ondes observées à bord du satellite ISEE en amont de l'onde de choc de la terre a été poursuivie. On a mesuré leurs caractéristiques au voisinage de la fréquence de plasma lorsque le champ magnétique est connecté à des chocs perpendiculaires.

On a pu montrer que la puissance observée est plus forte et la largeur spectrale plus faible lorsque ces ondes sont observées sur une ligne de force connectée tangentiellement au choc, ces deux quantités évoluant lorsqu'on pénètre plus profondément dans le préchoc (Figure 8). Le spectre en énergie des particules venant du choc évolue simultanément. Par contre l'écoulement du vent solaire et la distance par rapport au choc n'ont pas d'influence. Des calculs sont en cours pour essayer d'interpréter ces observations en terme d'instabilité au bord du préchoc et d'émission incohérente par les électrons dans les régions plus internes, c'est-à-dire les plus lointaines par rapport à la première ligne de force qui traverse le choc.

V.4 THEORIES LIEES A DES EXPERIENCES EN LABORATOIRE ET CONSEQUENCES GEOPHYSIQUES

V.4.1 Interactions non linéaires onde-onde

Les couplages non linéaires d'ondes dans un plasma font intervenir au moins trois ondes satisfaisant les relations de synchronisme : conservation de l'énergie ($\omega_3 = \omega_1 - \omega_2$) et conservation de la quantité de mouvement ($k_3 = k_1 - k_2$). L'interaction est résonante lorsque chacune des trois ondes est un mode propre du plasma. Si les ondes 1 et 2 sont imposées de l'extérieur, l'observation d'une interaction résonante peut être utilisée à des fins de diagnostic du plasma.

Les efforts ont porté sur l'étude de la situation où les ondes 1 et 2 sont des ondes électromagnétiques de fréquences très supérieures à la fréquence plasma. L'onde 3 est l'oscillation électrostatique de Langmuir au voisinage de la fréquence plasma. La théorie de l'interaction a été développée dans le cas où l'interaction a lieu au voisinage des sources et où la sphéricité des surfaces d'ondes doit être prise en compte. La localisation de la région d'interaction, le niveau de l'onde de plasma engendrée et la géométrie du faisceau ont été étudiés quantitativement (006).

7 NOV 1977 ISEE A

GSE

X=13.4
Y=-6.3
Z=6.7

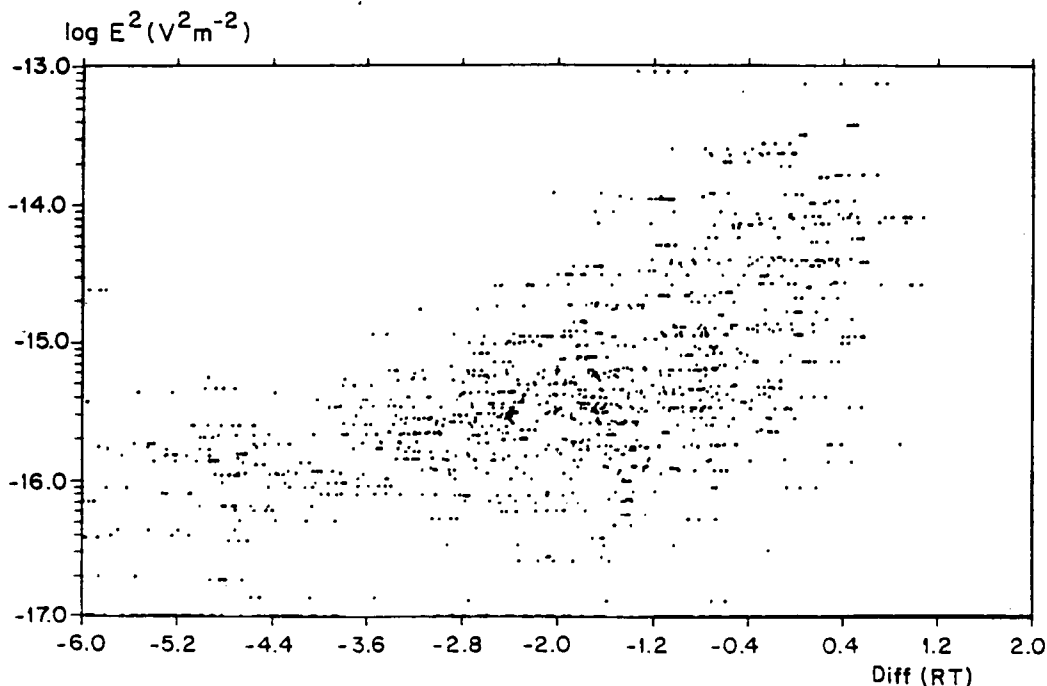
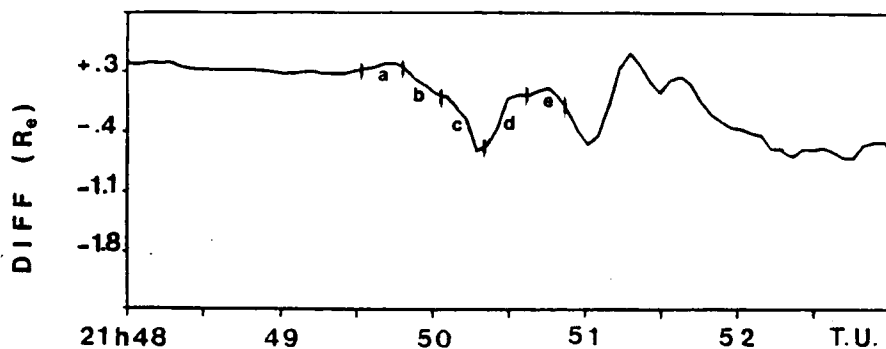
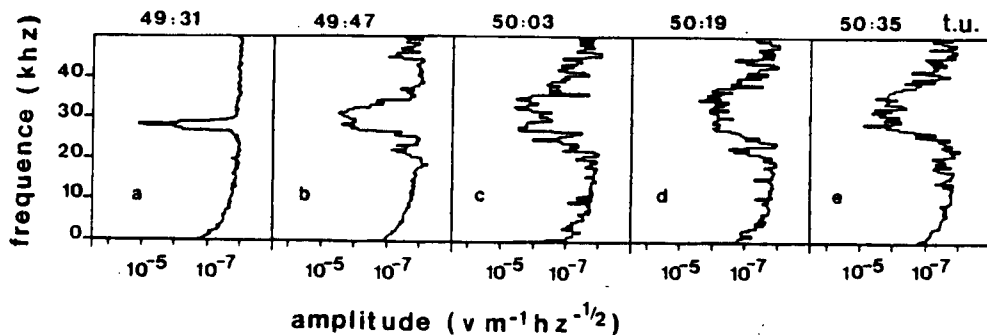


Fig. 8. En haut de la figure sont dessinés les spectres successifs observés lorsque le satellite pénètre dans le préchoc de plus en plus profondément puis se rapproche de nouveau du bord. La courbe située en-dessous représente la profondeur de convection (Diff) en fonction du temps. Le spectre (a) a été observé sur la ligne de force tangente au choc, les spectres (b) et (c) de plus en plus loin à l'intérieur du préchoc. Lors de l'observation des spectres (d) et (e) le satellite se rapprochait de nouveau du bord. Remarquez la rapidité d'évolution du phénomène qui en rend l'étude très difficile : les spectres sont observés toutes les 16 secondes. L'évolution du spectre est clairement visible : les ondes sont plus fortes avec un spectre plus étroit sur la ligne de force tangente au choc qu'en pénétrant davantage à l'intérieur du préchoc, la nature du spectre étant différente entre le spectre (a) et les autres. Cette tendance est confirmée sur la figure du bas où l'on a porté le log de la puissance reçue en $V^2 m^{-2}$ en fonction de la profondeur de convection en rayons terrestres.

Ces travaux ont permis de définir les contraintes expérimentales pour une expérience devant être réalisée dans le courant de l'année 1983 dans le caisson à plasma du LPCE à Orléans.

V.4.2 Propriétés du rayonnement d'une antenne dans un magnétoplasma ; continuum non thermique

Parallèlement à l'analyse des émissions naturelles selon les modes électrostatiques électroniques, des études de physique fondamentale sur la propagation des ondes dans un plasma ont été poursuivies. Elles ont porté sur les propriétés de rayonnement d'une antenne dans un magnétoplasma, rayonnant selon les modes évoqués plus haut. Elles ont donné lieu à une thèse de Doctorat d'Etat (505).

Les propriétés de dispersion du mode électrostatique Cyclotronique Electronique (OCE) ont été examinées en détail lorsque la fréquence d'émission de la source était inférieure à la fréquence hybride haute. Il a été établi que les deux modes électrostatiques les moins amortis présentaient des caractéristiques communes. Il en résulte un caractère oscillatoire, autour de la direction privilégiée de propagation de l'énergie, de la distribution spatiale du champ rayonné. Ce phénomène s'apparente à celui de la diffraction. Il a été montré que les grandeurs caractéristiques de cette structure (amplitude du maximum principal, taille des oscillations) sont directement déterminées par la largeur du domaine non amorti (206).

Lorsque, dans un domaine de fréquence, plusieurs modes électrostatiques sont simultanément présents, une structure interférentielle se superpose aux éventuelles figures de diffraction. Ainsi ont été analysées les distributions du potentiel rayonné dans le domaine des fréquences inférieures à la fréquence hybride haute. On obtient un excellent accord entre les résultats numériques, expérimentaux et sous certaines approximations, analytiques (033).

Ces résultats ont été utilisés pour rechercher l'origine des ondes naturelles observées dans toute la cavité magnétosphérique et parfois dans le vent solaire et rayonnées vraisemblablement selon le mode ordinaire polarisé à gauche. Ces ondes ont été dénommées "Rayonnement Myriamétrique Terrestre" ou "Continuum Non Thermique".

Il avait été établi, par triangulation, que la source de ce rayonnement devait se trouver au voisinage de la plasmopause ; en outre une corrélation avait été trouvée entre l'occurrence de ce rayonnement et celle d'émissions électrostatiques

enregistrées au voisinage de cette plasmapause. Un schéma de conversion linéaire de mode a été proposé (Figure 9) : les ondes sont émises selon le mode électrostatique OCE. A mesure que leurs vecteurs d'onde se rapprochent du champ géomagnétique le mode de propagation devient le mode électromagnétique Z. Selon les conditions de plasma rencontrées, un effet tunnel doit pouvoir se produire permettant au mode électromagnétique Z qui est a priori piégé de se transformer en un mode ordinaire qui, lui, peut s'échapper du voisinage de la planète (017), (210).

V.5 TRAITEMENT DU SIGNAL

Temps de groupe et largeur de bande de signaux modulés simultanément en amplitude et en fréquence

Dans cette étude on calcule la forme exacte de la surface à trois dimensions $|s(t,f)|^2$ où $|s|^2$ est la puissance "instantanée" du signal au temps t et à la fréquence f pour un signal dont la fréquence varie linéairement dans le temps et dont l'amplitude est représentée par une loi gaussienne. On montre que dans la partie basse fréquence du spectre le temps de groupe passe par un minimum très marqué.

VI. PROCESSUS PHYSIQUES A MOYENNE ECHELLE DANS LES PLASMAS SPATIAUX

Conformément aux recommandations formulées lors du colloque de prospective des Arcs (organisé par le CNES) la priorité pour les projets à long terme a été accordée au projet ESSAIM qui est destiné à étudier la dynamique des régions frontières telles que : le choc en amont de la terre, la magnétopause et la couche limite, le cornet polaire et la queue magnétosphérique. Ces régions frontières qui se caractérisent par des structures spatiales complexes à l'échelle de quelques rayons de Larmor des ions, et des fluctuations temporelles rapides, déterminent dans une large mesure la thermalisation du plasma du vent solaire, sa pénétration dans la "cavité" magnétosphérique et son accélération ultérieure. Plusieurs membres des départements EMI et OPN ont grandement contribué à la pré-définition (sous l'égide du CNES) du projet "ESSAIM" et à sa soumission à l'Agence Spatiale Européenne où il est devenu "CLUSTER".

Un certain nombre de travaux (qui s'inscrivent dans la ligne exprimée plus haut) ont été déjà abordés dans le domaine de la physique des processus à moyenne échelle. Il s'agit soit des "frontières externes" dont l'étude est l'objet de CLUSTER-ESSAIM, soit des régions de transition à basse altitude (la région aurorale) dont l'étude démarre avec EISCAT et ARCAD, et se prolongera avec VIKING et INTERBALL.

VI.1 ETUDE DES STRUCTURES DE COURANTS PARALLELES LOCALISES

La possibilité de détecter par le biais de l'expérience "ondes d'Ultra Basse Fréquence", à bord de GEOS 1 et 2 des tubes de courant en mouvement rapide par rapport au satellite a déjà été mentionnée. Une étude systématique de ces tubes de courants et de leurs liens avec les paramètres du plasma et en particulier les fluctuations du champ électrique quasi-statique a été soumise pour publication à JGR (743). Ce travail dont l'essentiel a porté sur la mise au point d'une méthode complexe de déconvolution des formes d'ondes associées aux structures localisées de courant va être développé ; il suscite en particulier des études théoriques sur les mécanismes d'accélération des électrons au sein de ces structures.

VI.2 MECANISME DE FORMATION DES ARCS

Durant les sous orages des courants alignés localisés, les arcs, couplent la couche de plasma avec l'ionosphère aurorale. ATKINSON puis SATO ont suggéré que ces structures localisées étaient associées à la modification de la conductivité ionosphérique par la précipitation électronique. Compte tenu de la taille des arcs il était nécessaire, pour faire un calcul réaliste, de tenir compte des effets de rayon de Larmor fini des ions. Ce travail a été mené à bien par un thésitif de 3ème cycle L. GIRARD, en liaison avec R. PELLAT du Laboratoire de Physique Théorique de l'Ecole Polytechnique. Les résultats montrent que l'instabilité qui doit permettre la fragmentation du courant ne peut avoir lieu que si l'on tient compte du temps fini de transfert de l'information entre la magnétosphère équatoriale et le sol.

VI.3 PROCESSUS DE FORMATION DE SAUTS DE POTENTIEL LE LONG DES LIGNES DE FORCES "DOUBLES COUCHES"

La plupart des simulations de doubles couches sont faites en imposant une différence de potentiel à un plasma de longueur L ; ces simulations sont intéressantes pour expliquer les phénomènes observés dans les conditions similaires des expériences de laboratoire. En revanche pour la physique spatiale il est plus intéressant de savoir si des structures cohérentes comme les doubles couches peuvent émerger de la turbulence créée par une instabilité de courant ; SATO et OKUDA ont répondu affirmativement à cette question pour l'instabilité acoustique ionique mais n'ont pas expliqué le mécanisme de formation des sauts de potentiel en question. Grâce à la mise en oeuvre de deux types différents de programmes de simulation d'un plasma unidimensionnel électrostatique (méthode particulière et résolution directe du système VLASOV-POISSON par une méthode antidiffusive) le mécanisme de formation des doubles couches et leur relation avec la turbulence acoustique ont pu être élucidés. Ce mécanisme met en jeu la réflexion des électrons (qui portent le courant électrique) sur les parties négatives du potentiel. Plus le système simulé est long, plus grande est la probabilité qu'il existe une fluctuation négative locale de potentiel atteignant un niveau donné au-dessus du niveau quadratique moyen des fluctuations. Les ondes acoustiques ioniques étant peu dispersives aux grandes longueurs d'ondes cette fluctuation peut subsister assez longtemps pour être amplifiée par la réflexion des électrons. Plus la fluctuation est importante plus les électrons réfléchis par elle sont rapides ce qui augmente l'énergie cédée et favorise donc l'amplification (le processus est auto-entretenu). Le courant électrique est donc interrompu localement ce qui implique une asymétrie de la densité électronique en amont et en aval de la fluctuation

alors que la densité ionique est encore symétrique en raison de la grande inertie des ions. Il apparaît ainsi une différence de potentiel entre les deux bords de la dépression de densité associée à la fluctuation négative de potentiel. Cette "double couche acoustique ionique" est détruite ultérieurement par la dynamique des ions.

Sur la figure 1 on a représenté l'évolution au cours du temps du potentiel en fonction de la distance, ainsi qu'il résulte de la simulation numérique décrite plus haut. Enfin mentionnons que les résultats de la simulation numérique, et en particulier l'instabilité du puits de potentiel, ont été décrits par une équation de KORTWEG-DE-VRIES modifiée qui tient compte de la réflexion des électrons sur le puits (203), (313), (717).

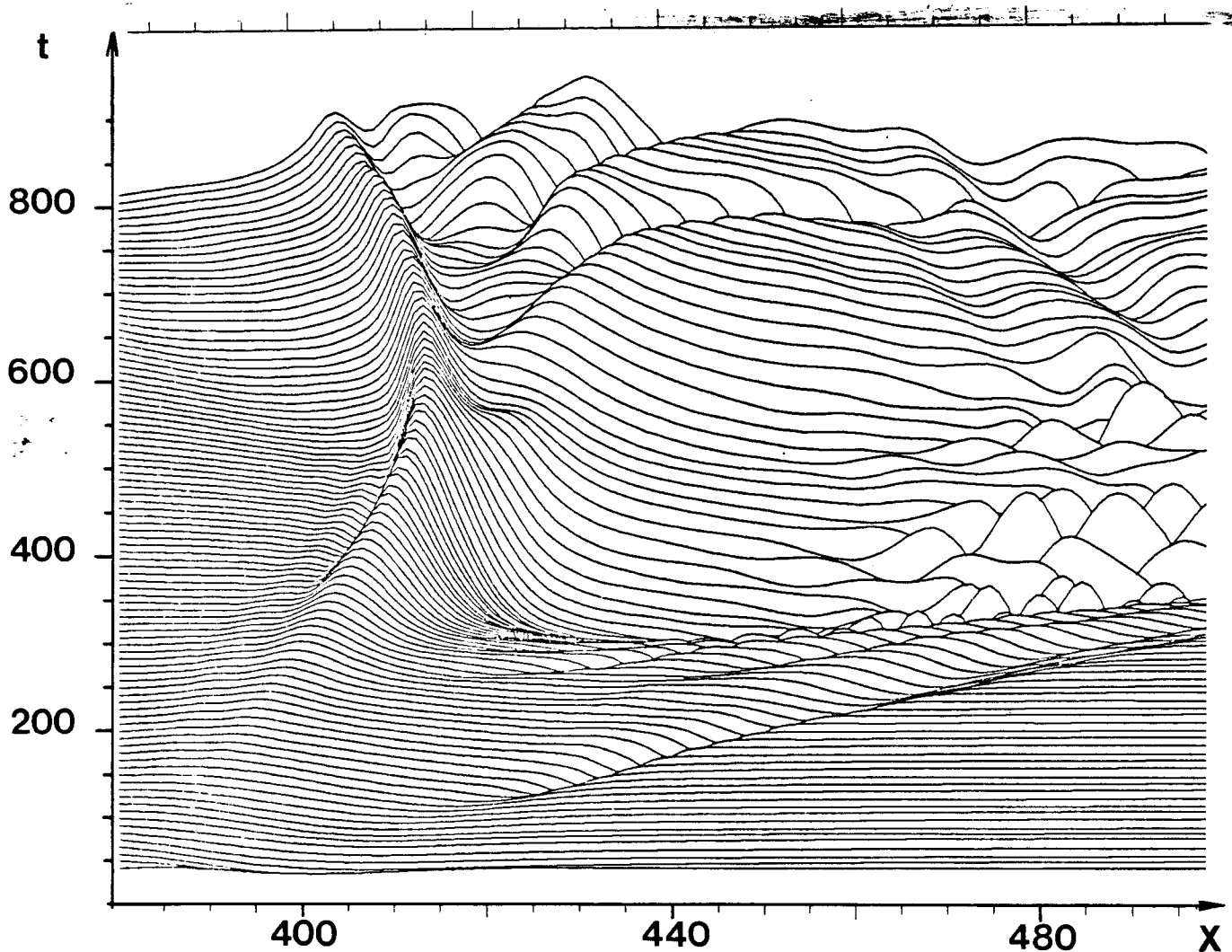


Fig. 1. Evolution temporelle du potentiel dans un régime d'instabilité acoustique ionique. La distance est mesurée en nombre de longueurs de Debye et le temps en période plasma. On voit apparaître une structure pour $X \sim 400$ qui se déplace d'abord vers la droite (dans le sens des électrons porteurs du courant). Cette structure croît au cours du temps en se propageant puis elle est amortie à partir du moment où elle change le signe de sa vitesse. L'instabilité de ce puits de potentiel (pour les électrons) résulte de la réflexion des électrons et conduit à une diminution du courant.

VI.4 STABILITE D'UNE COUCHE NEUTRE A DEUX DIMENSIONS

La stabilité d'une couche "épaisse" (à deux dimensions), au sein de laquelle règne un petit champ magnétique vertical, a été étudiée. Dans ce travail qui vient d'être publié (018) les auteurs proposent, dans un régime non collisionnel, une théorie cinétique de l'instabilité en déchirement (tearing mode). Au terme de cette étude les auteurs concluent que, au moins dans son régime linéaire, l'instabilité ionique en déchirement est supprimée du fait de l'interaction entre le champ électromagnétique perturbé et la dynamique des électrons. La possibilité d'un régime non linéaire pour l'instabilité est également discutée.

VI.5 RECONNEXION MAGNETIQUE AU "NEZ" DE LA MAGNETOPAUSE

Lorsque la pression dynamique du vent solaire est particulièrement élevée les satellites GEOS 1 et 2 (apogée à environ 7 rayons terrestres) peuvent traverser la magnétopause. Grâce aux mesures de la turbulence basse fréquence (sur les composantes électriques et magnétiques) un certain nombre de conclusions préliminaires ont pu être tirées concernant le processus de reconnexion magnétique. La figure 2 représente le champ électrique (en bas) et les formes d'ondes des trois composantes du champ magnétique d'Ultra Basse Fréquence (en haut) dans un repère VDH. Pendant la période considérée le satellite (GEOS 2) traverse la couche de courant dite de Chapman Ferraro qui caractérise la magnétopause. Le mouvement relatif du satellite, par rapport à une géométrie où les lignes de forces (lignes continues fléchées) du vent solaire et de la magnétosphère sont reconnectées, est indiqué sur la figure par un pointillé fort. Cette connexion entre la magnétosphère et le vent solaire a été mise en évidence par l'observation pendant toute la période considérée (quelques minutes) d'électrons et de protons énergétiques qui, issus de la magnétosphère, s'écoulent le long des lignes de force en direction du vent solaire.

Contrairement à ce que prévoit la théorie Magnéto-Hydro-Dynamique (MHD) classique de la reconnexion (modèle de PETERSCHKE) on n'observe pas de composante tangentielle mesurable du champ électrique quasi-statique. Au contraire le champ électrique très intense (~ 30 mV/m) qui est observé lors de la traversée de courant est perpendiculaire à la magnétopause et s'inverse à son niveau.

On note le niveau considérable des fluctuations magnétiques $\delta B/B \sim 1/2$ à proximité de la couche de courant. Nous étudions le lien entre ces fluctuations et la

pénétration du plasma à travers la frontière a priori imperméable que constitue la magnétopause. Les observations décrites ici incitent à considérer la reconnexion comme un processus dynamique (335).

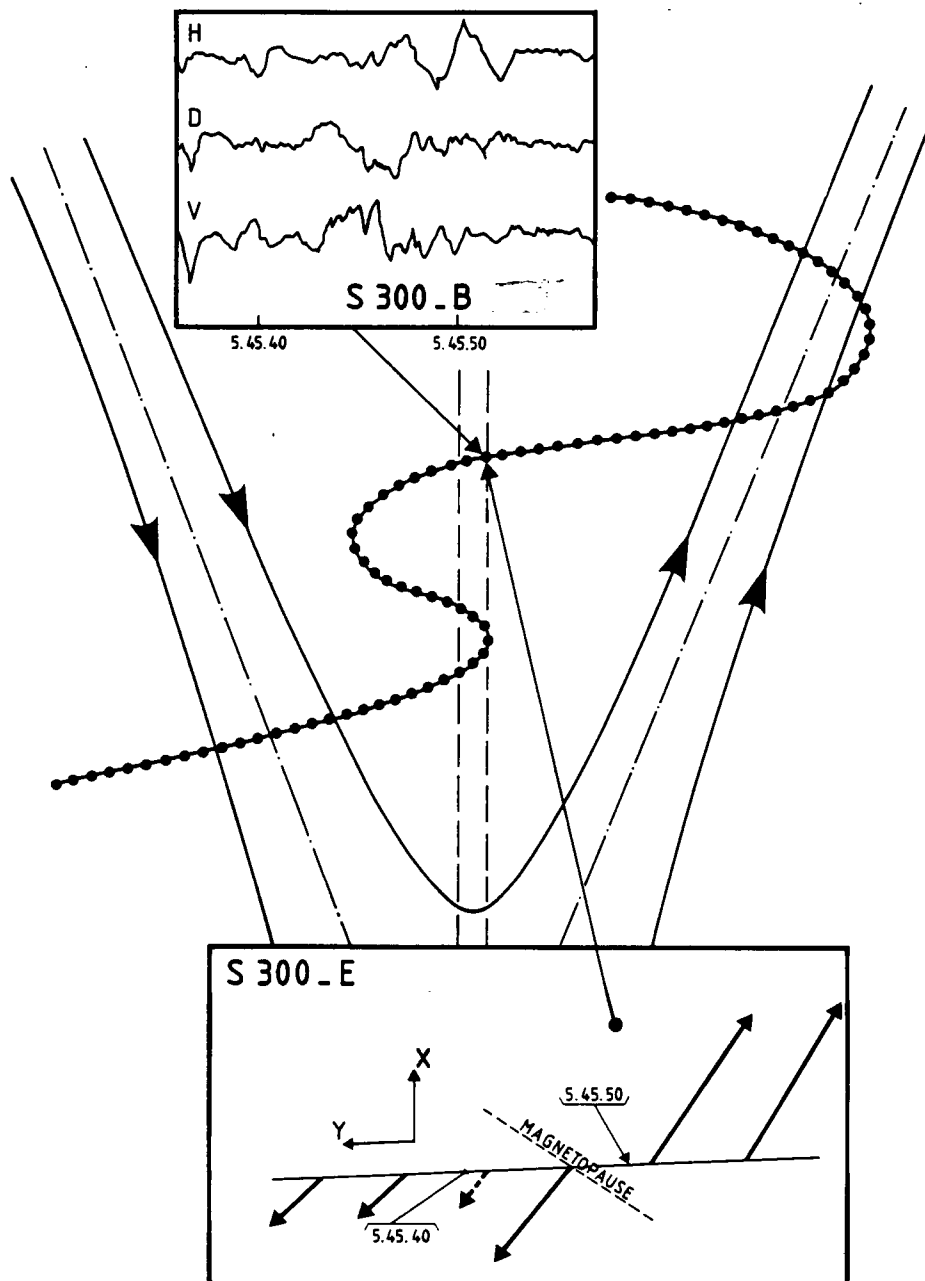


Fig. 2. Reconnexion magnétique au niveau de la magnétopause.

VI.6 ETUDE DE DENSITE DU PLASMA DANS LA QUEUE MAGNETOSPHERIQUE

L'utilisation des mesures de densité effectuées à partir des deux expériences actives embarquées sur les satellites ISEE 1 et 2 (expérience commune avec le G.A.S. de Meudon) a permis de découvrir dans la queue de la magnétosphère des régions où la densité du plasma "froid" peut atteindre dix particules par cm^3 . L'étude

préliminaire qui est en cours laisse à penser que ce plasma "froid" est une caractéristique de la couche limite récemment mise en évidence en bordure de la couche de plasma. Les premiers résultats ont été présentés (319).

VI.7 FLUCTUATIONS ELECTRIQUES LIEES AUX COURANTS ALIGNES ET AUX IRREGULARITES DE DENSITE

L'expérience TBF (ondes de Très Basses Fréquences) à bord du satellite Franco-Soviétique ARCAD 3 mesure deux composantes électriques et les trois composantes magnétiques des ondes dans les domaines EBF (Extra Basses Fréquences) et TBF. Au cours des passages dans les régions de haute latitude, voire même au niveau de la dépression de plasma, on observe systématiquement un fort niveau de bruit électrostatique qui couvre la partie inférieure du spectre jusqu'à 500 Hz environ (710). L'origine de ce bruit, déjà mis en évidence sur les données du satellite S3-3 en particulier, est à rechercher dans l'inhomogénéité spatiale du plasma ionosphérique dont la densité, la température, le potentiel sont sujets à des fluctuations importantes : la traversée de ces structures spatiales erratiques engendre au niveau des capteurs électriques des fluctuations temporelles qui à la sortie de la chaîne de traitement prennent l'apparence d'une turbulence électrostatique. Les deux composantes électriques sont affectées, avec des rapports d'intensité variables et l'un des premiers objectifs des travaux entrepris est d'analyser la polarisation des signaux et leurs caractéristiques spectrales. Parallèlement, et en utilisant les données des deux autres instruments consacrés aux mesures du plasma thermique (ISOPROBE et DYCTION), on s'efforcera de déterminer les mécanismes susceptibles d'engendrer cette turbulence du plasma thermique : instabilités de dérive, gradients de vitesse, instabilités de courants alignés.

Sur les composantes magnétiques on a mis en évidence un phénomène nouveau qui est présenté sur la figure 3. Il peut prendre deux formes différentes : soit une oscillation sur une ou deux périodes avec une fréquence typique de $\sim 10-20$ Hz, soit un bruit intéressant une partie plus étendue du spectre (jusqu'à 100-200 Hz environ) subsistant jusqu'à 1 à 2 secondes (707), (709). Ce type de phénomène, beaucoup plus rare que la turbulence électrostatique, se manifeste essentiellement dans la zone aurorale nocturne (entre 19 h et 04 h locales) ou plus rarement au niveau du cornet polaire, et s'accompagne systématiquement d'un renforcement du niveau de la turbulence électrostatique. On étudie actuellement ses corrélations avec les courants alignés (cf. TRAC).

ORBITE 120 TRO

ORBITE 767 JBD

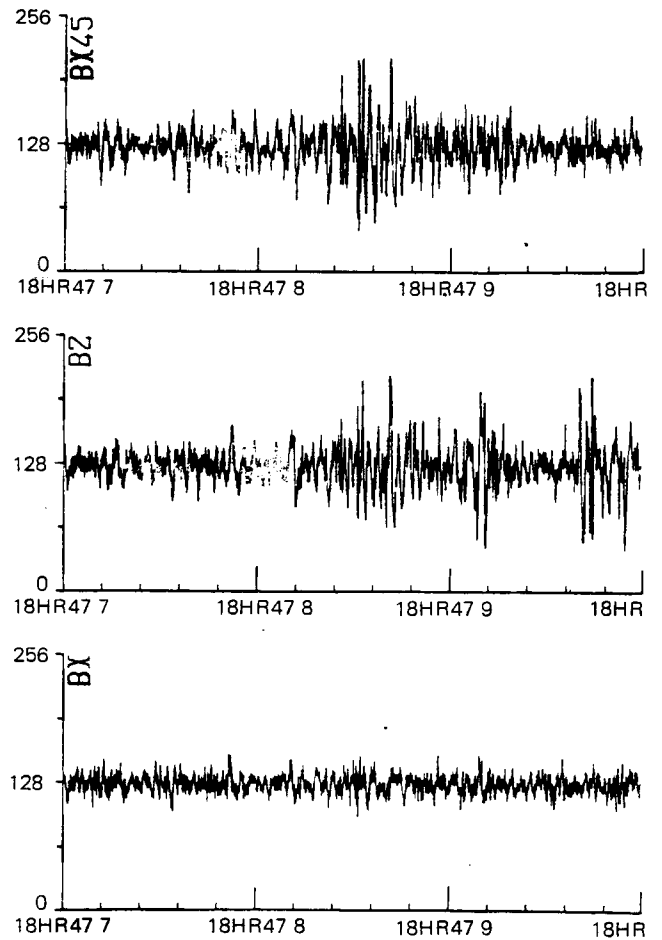
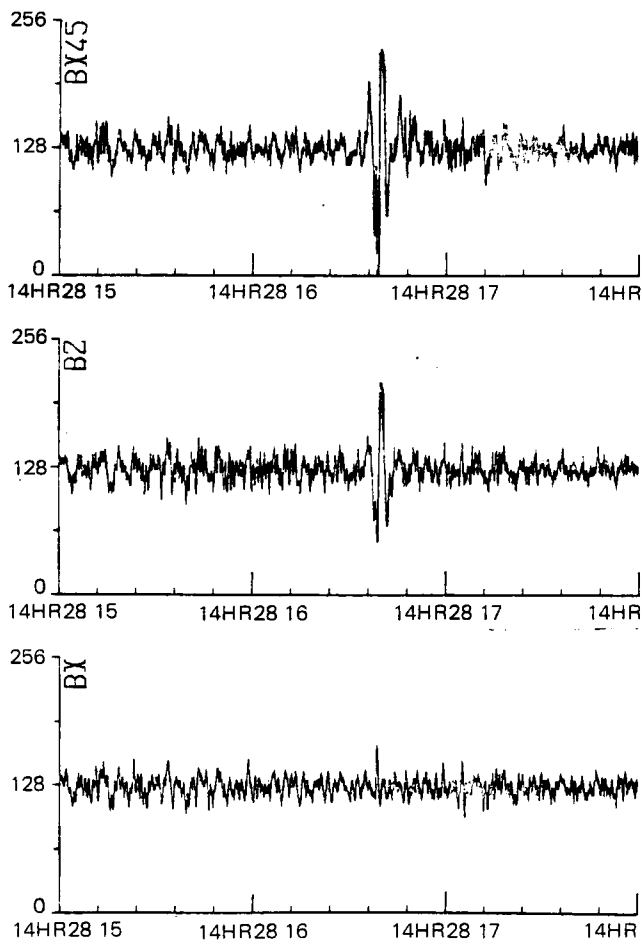
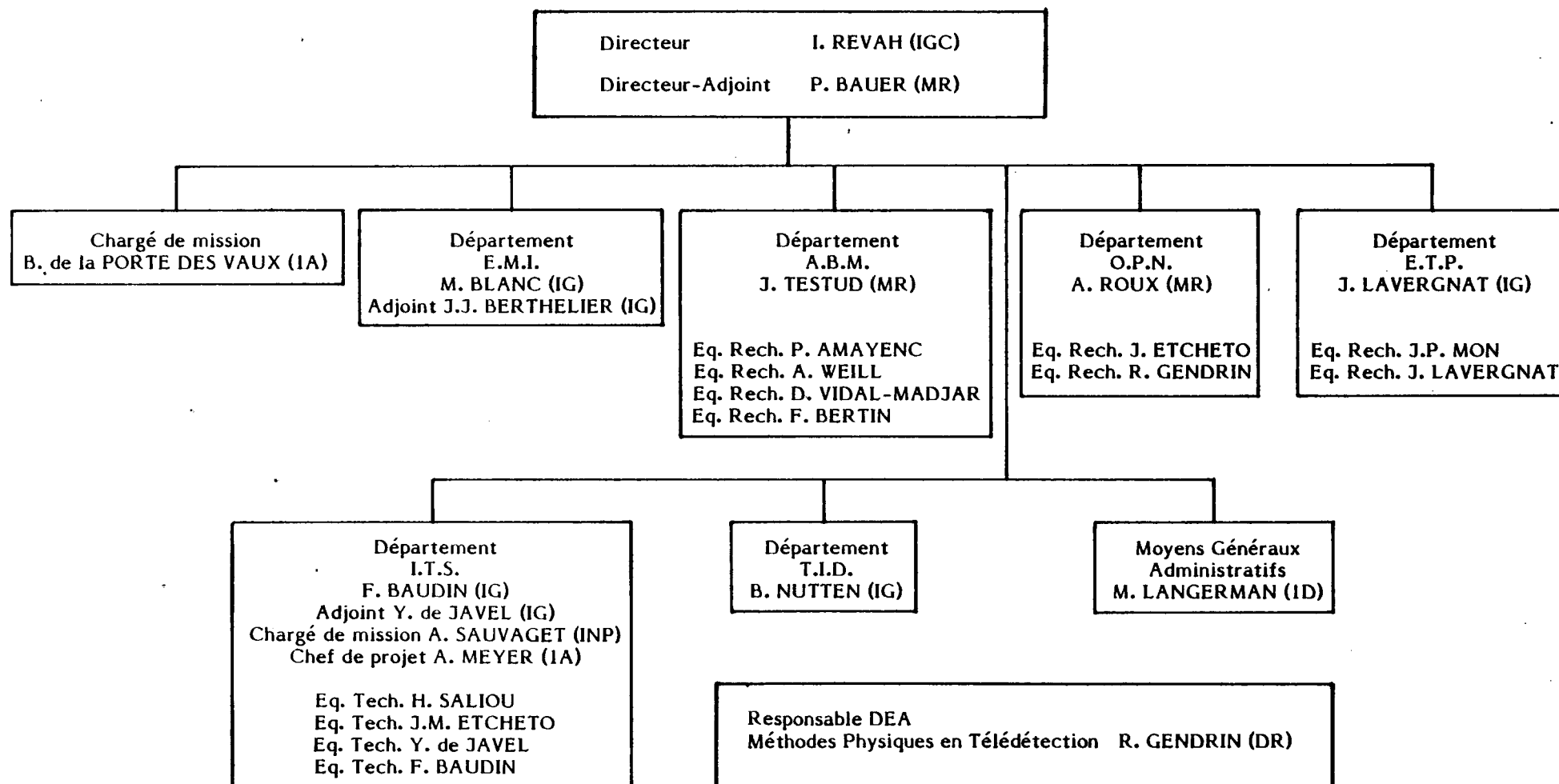


Fig. 3. Turbulence observée sur les antennes magnétiques dans la gamme 10 Hz - 300 Hz.

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, IG.1
Adjoint : M. BERTHELIER, IG IIIB

M. BAROUCH	Maître de Recherches CNRS
Mme BERTHELIER	Chargée de Recherches CNRS
Mme BOUVET	Technicienne 2B CNRS
M. CAUDAL	IG.2
M. CERISIER	Professeur
Mme DUBOIN	Maître Assistante
Mme FONTAINE	Attachée de Recherches CNRS
M. GIRARD	I.G. I
Mme GUERIN	IG 3A CNRS
M. ILLIANO	IG 2A CNRS
Mme LAFEUILLE	Attachée Scientifique
Mle MACHARD	Thésitive 3ème cycle
M. MALINGRE	Maître Assistant
Mme MAZAUDIER	Attachée de Recherches
M. POTTELETTE	Chargé de Recherches CNRS
M. ROUX Daniel	Assistant CNAM
Mle SENIOR	Attachée de Recherches CNRS
M. TAIEB	Maître de Recherches CNRS
M. VILA	IG II

DEPARTEMENT ATMOSPHERE BASSE ET MOYENNE (ABM)

Responsable : J. TESTUD, Maître de Recherches CNRS

Equipe Convection nuageuse tridimensionnelle et précipitations

Responsable :	M. AMAYENC	Chargé de Recherches CNRS
	M. CHONG	Attaché de Recherches CNRS
	Mme HAUSER	Attachée de Recherches CNRS
	M. ROUX Franck	Attaché de Recherches CNRS
	M. SCIALOM	IG 2A CNRS

Equipe Convection tridimensionnelle des couches limites

Responsable :	M. WEILL	Maître de Recherches CNRS
	Mme EYMARD	Attachée de Recherches CNRS
	M. KLAPISZ	Maître assistant
	Mme BLEZ	Thésitive E.N.S.

Equipe Télédétection

Responsable :	M. VIDAL-MADJAR	Ingénieur 1A CNRS
	M. BERNARD	Chargé de Recherches CNRS
	Mme FREZAL	IG 2A CNRS
	Mme TACONET	Boursière CNES
	M. MILLET	Stagiaire 3ème cycle

Equipe Atmosphère moyenne

Responsable :	M. BERTIN	IG IIIA
	Mme CREMIEU	Maître Assistante
	Mme MASSEBEUF	Ingénieur 2A CNRS
	M. GLASS	Professeur Université

DEPARTEMENT ONDES DANS LES PLASMAS NATURELS (OPN)

Responsable : A. ROUX, Maître de Recherches CNRS

Equipe Vent solaire et planètes

Responsable :	Mme ETCHETO	Chargée de Recherches
	M. BELMONT	IG II
	Mme CORNILLEAU	Attachée de Recherches
	M. ROBERT	IG 2 CNRS
	M. SOLOMON	Maître Assistant
	M. TROTIGNON	IG 2A CNRS
	Mme DE VILLEDARY	IG 2A CNRS

Equipe Magnétosphère et phénomènes auroraux

Responsable :	M. GENDRIN	Directeur de Recherches CNRS
	M. CHANTEUR	Attaché de Recherches CNRS
	Mme DERIEUX	Assistante
	M. DE FERAUDY	Assistant
	M. HIGEL	IG III A
	M. LEMBEGE	Chargé de Recherches CNRS
	Mme PERRAUT	Chargée de Recherches CNRS
	M. IGI	Stagiaire Etranger

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

Responsable : J. LAVERGNAT, IG IIIB

Equipe Etudes fondamentales en propagation

Responsable :	M. MON	IG III B
	Mle MAYRARGUE	IG 2
	M. OLIVIER	IG 1
	M. G. ROUX	Boursier
	M. SPANJAARD	IG 2
	M. TIFFON	IG II

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

Responsable :	M. ROORYCK (ETR)	IG III A
	Mme JUY (ETR)	IG II

Equipe Théorie des communications

Responsable :	M. LAVERGNAT	IG III B
	M. BAILLAUD	Enseig. Second.
	Mle DECHAMBRE	IG 2A CNRS
	M. DELAHAYE	IG 2A Orstom
	M. DUHAMEL	IG II
	M. HOLLMANN	IG I
	M. JOUVEAU	INP
	M. LEHNER	Scient. Contingent
	M. LEVY	IG II
	M. OUAMRI	Stagiaire
	M. SYLVAIN	IG 1A CNRS
	Mme PRESSENS	IG II

DEPARTEMENT INSTRUMENTATION TERRESTRE ET SPATIALE (ITS)

Responsable : F. BAUDIN, IG III B

Adjoint : Y. De JAVEL, IG III B

Chargé de mission logistique : M. SAUVAGET, INP

Chef de projet : M. MEYER, IG 1A CNRS

Equipe Stations SONDEUR

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

Equipe Radar RONSARD

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

Equipe Instrumentations spatiales

Responsable :	M. De JAVEL	IG III B
	M. BLONDEAU	Contrôleur Divisionnaire
	M. COVINHES	IG 3A CNRS
	M. DELACROIX	IG II
	M. DESCHANCIAUX	ATP
	M. GODEFROY	Technicien 2B Orstom
	M. GOGLY	IG 2A CNRS
	M. MARQUE	Inspecteur Central
	M. THEVENET	IG 2A CNRS

Equipe Instrumentation sol et logistique

Responsable :	M. BAUDIN	IG III B
	M. BILBILLE	ATP
	M. BORIE	Technicien 2B CNRS
	M. CAMUS	IG II
	M. CLEMENT	IG II
	Mme CROCQUEVIELLE	Technicienne 5B CNRS
	M. DUBOIS	AT 3
	M. FEVRE	Technicien des Installations
	M. GABISON	Technicien 3B Orstom
	M. LAURENT	IG 3A CNRS
	M. MOUGINOT	Inspecteur Central
	M. NEY	IG 2A CNRS
	M. PEURE	ATP

DEPARTEMENT TRAITEMENT INFORMATIQUE DE DONNEES (TID)

Responsable : M. NUTTEN, IG III A

Mme BOUVARD	Documentaliste
M. DAUTRICHE	Technicien IB CNRS
M. FRENOD	Technicien IB CNRS
Mme KOSSA	Technicienne 3B CNRS
Mme LEMAULF	Technicienne 5B CNRS
Mme MOREAU	Technicienne 3B CNRS
Mme PARIS	IG 3A CNRS
M. PAWELA	IG 2A CNRS •
Mme PIRON	Technicienne 1B CNRS
M. PRON	IG III A
Mme PORTENEUVE	IG 2A CNRS
M. QUELEN	Contrôleur
M STZEPOURGINSKI	AT3
Mme TIFFON	Secrétaire Technique

MOYENS GENERAUX DU CRPE

Responsable : Mme LANGERMAN, 1D CNRS

Mme ADANE	Technicienne 3B CNRS
Mme BELHACENE	Contrôleur
M. BROUSSEAU	Agent d'Exploitation
Mme CHAUVET L.	Secrétaire Principale 3D CNRS
Mme CHAUVET F.	Bibliothécaire 6B CNRS
M. CLAVERO	Agent Technique 1ère classe (Chauffeur)
Mme DUPIN	Secrétaire Principale H.C. 2D CNRS
Mme FROMAGER	Sténodactylographe
Mme GAL	Secrétaire 5D Orstom
Mme GIORGIS	Technicienne 5B CNRS (cantine Saint-Maur)
Mme GUITTARD	Agent d'Administration
Mme JABOIN	Technicienne 3B CNRS (Bibliothécaire)
Mme LEFLOCH	Secrétaire Principale 3D CNRS
Mme PENNEC	Sténodactylographe
M. RUSSEIL	Agent d'Administration Principal (chauffeur)
Mme SEDONI	Secrétaire 4D CNRS
Mme VACHER	Contrôleur

BIBLIOGRAPHIE

REVUES

- (001) ALCAYDE D., BERNARD R., Modelling of the lower thermosphere : contributions of incoherent scatter observations, J. Atmos. Terr. Phys., 44 (2), 95-109, 1982.
- (002) ALCAYDE D., FONTANARI J., BAUER P., High latitude neutral atmosphere temperature and concentration measurements from the first EISCAT incoherent scatter observations, Ann. Géophys., 4, 473-480, 1982.
- (003) ANDERSON R.R., HARVEY C.C., HOPE M., TSURUTANI B.T., EASTMAN T.E., ETCHETO J., Plasma waves near the magnetopause, J. Geophys. Res., 87 (A4), 2087-2107, 1982.
- (004) 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., 12 (3), 189-200, 1982.
- (005) CERISIER J.C., LAVERGNAT J., RIHOUEY J.J., PELLAT R., Generation of Langmuir waves by nonlinear wave-wave interaction in the ionosphere, J. Geophys. Res., 86 (A6), 4731-4738, omis en 1981.
- (006) CERISIER J.C., Nonlinear interaction of spherical waves in a homogeneous isotropic plasma, J. Plasma Physics, 28 (3), 539-550, 1982.
- (007) DUHAMEL P., HOLLMANN H., Number-theoretic transforms with 2 as a root of unity, Electron. Lett., 18 (22), 978-980.
- (008) ETCHETO J., CHRISTIANSEN P.J., GOUGH M.P., TROTIGNON J.G., Terrestrial continuum radiation observations with GEOS-1 and ISEE-1, Geophys. Res. Lett., 9 (11), 1239-1242, 1982.
- (009) EYMARD L., WEILL A., Investigation of clear air convection structures in the P.B.L. using a dual Doppler radar and a Doppler sodar, J. Appl. Meteo., 21 (12), 1891-1906, 1982.

- (010) FERAUDY H. de, HIGEL B., Plasma boundaries at $6.6 R_e$ as observed by GEOS-2 : Large plasmopause discontinuity and injection event. Discussion of diamagnetic effects, Planet. Space Sci., 30 (5), 483-489, 1982.
- (011) FONTANARI J., BAUER P., ALCAYDE D., Seasonal changes in thermospheric molecular oxygen : a solar activity control, Geophys. Res. Lett., 9 (5), 551-554, 1982.
- (012) GENDRIN R., ROBERT P., Temps de groupe et largeur de bande de signaux modulés simultanément en amplitude et en fréquence, Ann. Télécomm., 37 (7-8), 289-297, 1982.
- (013) KLAPISZ C., WEILL A., Mean horizontal wind in inversion-capped convective boundary layer, J. Appl. Meteor., 21 (5), 648-655, 1982.
- (014) KOFMAN W., LEJEUNE G., BAUER P., FOLKESTAD K., HAGFORS T., EISCAT first plasma line experiments, Ann. Géophys., 4, 461-466, 1982.
- (015) LAVERGNAT J., LEQUEAU D., PELLAT R., ROUX A., Nonlinear radiation of an electron beam in the whistler range : tentative theoretical model, Phys. Fluids, 25 (6), 1073-1082, 1982.
- (016) LEMAITRE Y., Etude dynamique et thermodynamique de lignes de grains tropicales observées à Korhogo pendant l'expérience COPT 79, J. Rech. Atmos., 16 (1), 47-69, 1982.
- (017) LEMBEGE B., JONES D., Propagation of electrostatic upper hybrid emissions and Z-mode waves at the geomagnetic equatorial plasmopause, J. Geophys. Res., 87 (A8), 6187-6202, 1982.
- (018) LEMBEGE B., PELLAT R., Stability of a thick two-dimensional quasi-neutral sheet, Phys. Fluids, 25 (11), 1995-2004, 1982.
- (019) MAZAUDIER C., Electric currents above Saint-Santin. Part I : Data, J. Geophys. Res., 87 (A4), 2459-2464, 1982.
- (020) MAZAUDIER C., BLANC M., Electric currents above Saint-Santin. Part II : Model, J. Geophys. Res., 87 (A4), 2465-2580, 1982.

- (021) MON J.P., Backward and forward scattering of microwaves by ice particles : a review, Radio Sci., 17 (5), 953-971, 1982.
- (022) MOUPFOUMA F., Distribution statistique des intensités de pluie et des affaiblissements dus à la pluie en climats équatorial et tropical, Ann. Télécomm., 37 (3-4), 123-128, 1982.
- (023) MOUPFOUMA F., DEREFFYE J., Empirical model for rainfall rate distribution, Electron. Lett., 18 (11), 460-461, 1982.
- (024) MOUPFOUMA F., TIFFON J., Raindrop-size distribution from microwave scattering measurements in equatorial and tropical climates, Electron. Lett., 18 (23), 1012-1014, 1982.
- (025) PERRAUT S., Wave-particle interactions in the ULF range : GEOS-1 and -2 results, Planet. Space Sci., 30 (12), 1219-1227, 1982.
- (026) PERRAUT S., ROUX A., ROBERT P., GENDRIN R., SAUVAUD J.A., BOSQUET J.M., KREMSER 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., 87 (A8), 6219-6236, 1982.
- (027) POTTELETTE R., ILLIANO J.M., Excitation of ion acoustic waves by a slow ion beam, Phys. Lett., 91A (7), 351-354, 1982.
- (028) POTTELETTE R., ILLIANO J.M., Observation of weak HF electrostatic turbulence in the auroral ionosphere, J. Geophys. Res., 87 (A7), 5151-5158, 1982.
- (029) RAUCH J.L., ROUX A., Ray tracing of ultra-low frequency waves in a multi-component magnetospheric plasma. Consequences on the generation mechanism of ion cyclotron waves, J. Geophys. Res., 87 (A10), 8191-8198, 1982.
- (030) ROUX A., PERRAUT S., RAUCH J.L., VILLEDARY C. de, KREMSER G., KORTH A., YOUNG D.T., Wave particle interactions near He^+ onboard GEOS-1 and -2. II- Generation of ion cyclotron waves and heating of He^+ ions, J. Geophys. Res., 87 (A10), 8174-8190, 1982.

- (031) SENIOR C., ROBINSON R.M., POTEMRA T.A., Relationship between field-aligned currents, diffuse auroral precipitation and the westward electrojet in the early morning sector, J. Geophys. Res., 87 (A12), 10.469-10.477, 1982.
- (032) TACONET O., WEILL A., Vertical velocity field in the convective boundary layer as observed with an acoustic Doppler sodar, Boundary Layer Meteo., 23, 133-151, 1982.
- (033) THIEL J., LEMBEGE B., Electrostatic electron cyclotron radiation from a point source, Phys. Fluids, 25 (3), 551-565, 1982.
- (034) 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., 18 (6), 1677-1686, 1982.
- (035) 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.
- (036) WEILL A., Sodar micrometeorology : a review. Proceedings of the International Symposium on Acoustic Remote Sensing on the Atmosphere and Oceans, Calgary, p. IV-1 à IV-60, 1981.
- (037) WILLIAMS P.J., VAN EYKEN A.P., BERTIN F., A test of the Hines dispersion equation for atmospheric gravity waves, J. Atmos. Terr. Phys., 44 (7), 573-576, 1982.
- (038) WU LEI, GENDRIN R., HIGEL B., Behaviour of the interplanetary and magnetospheric electric fields during very intense storms, Ann. Géophys., 38 (6), 1982.
- (039) 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., 44 (8), 671-679, 1982.

OUVRAGES COLLECTIFS

- (101) BEGHIN C., ARNALD Y., GILLE P., HENRY D., MICHAU J.L., SENE F.X., LAVERGNAT J., DELAHAYE J.Y., LEBRETON J.P., GONFALONE A., MALERBA F., KLINGE D., MAEHLUM B., TROIM J., NARHEIM B., Electron beam injection and associated phenomena as observed in a large space simulation chamber, in Artificial Particle Beams in Space Plasma Studies, Ed. B. GRANDAL, 481-500, Plenum Publ. Co., 1982.
- (102) 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, 72-86, 1982, omis en 1981.
- (103) DECHAMBRE M., LAVERGNAT J., ZHULIN I.A., KUSHNEREVSKY Yu V., PULINETS S.A., SELEGEI V.V., The waves observed in the Araks-North experiment, in Advances in Space Research, 1 (2), on "Active Experiments in Space Plasmas" (COSPAR), Eds. C.T. RUSSELL & M.J. RYCROFT, 89-95, Pergamon Press, omis en 1981.
- (104) GENDRIN R., Satellite observations of plasma waves in the Earth's magnetosphere, in The First International School for Space Simulation, Ed. T. OBAYASHI, Kyoto University, 24-30, 1982.
- (105) LAVERGNAT J., The French-Soviet experiments Araks: Main results, in Artificial Particle Beams in space Plasma Studies, Ed. B. GRANDAL, 87-100, Plenum Publ. Co., 1982.
- (106) LAVERGNAT J., LE QUEAU D., PELLAT R., ROUX A., SAINT-MARC A., Electron beam as a source of electrostatic waves, in Artificial Particle Beams in Space Plasma Studies, Ed. B. GRANDAL, 525-534, Plenum Publ. Co., 1982.
- (107) LAVERGNAT J., PELLAT R., Spontaneous emission of a charged particle beam inside a plasma: Coherent and incoherent aspects, in Artificial Particle Beams in Space Plasma Studies, Ed. B. GRANDAL, 535-545, Plenum Publ. Co., 1982.

COMMUNICATIONS A DES COLLOQUES AVEC ACTES

- (201) BELMONT G., Multi-temperature plasma : Characteristic frequencies and diagnosis, International Conference on Plasma Physics, Göteborg, Suède, 9-15 juin 1982. Proceedings Contributed Papers, 34, Chalmers University of Technology, 1982.
- (202) CERISIER J.C., Non-linear interactions of spherical waves in a homogeneous isotropic plasma, International Conference on Plasma Physics, Göteborg, Suède, 9-15 juin 1982. Proceedings Contributed Papers, 31, Chalmers University of Technology, 1982.
- (203) CHANTEUR G., ADAM J.C., PELLAT R., A new mechanism for the formation of double layers, International Conference on Plasma Physics, Göteborg, Suède, 9-15 juin 1982. Proceedings Contributed Papers, 38, Chalmers University of Technology, 1982.
- (204) COPT Organizing Committee : "COPT 81", a field experiment designed for the study of dynamics and electrical activity of deep convection in continental tropical regions, Conference on Cloud Physics of the American Society, Chicago, U.S.A., 15-18 novembre 1982. Proceedings, A.M.S., 580-583, 1982.
- (205) EYMARD L., DESSENS J., PAYEN M., PINTY B., Spatial study of fair weather cloudy convection in a tropical boundary layer, Conference on Cloud Physics, Chicago, Illinois, 15-18 novembre 1982. Proceedings, A.M.S., 28-31, 1982.
- (206) FERAUDY H. de, LEMBEGE B., Intrinsic diffraction and interference of electrostatic waves in a hot magnetoplasma, International Conference on Plasma Physics, Göteborg, Suède, 9-15 juin 1982. Proceedings Contributed Papers, 40, Chalmers University of Technology, 1982.
- (207) GOLE P., MON J.P., Effect of ice-induced cross-polarisation on digital earth-space links, IEEE International Conference on Communications, Philadelphia, U.S.A., juin 1982. Conference Record, 3, 6H.2.1-6H.2.8, ICC-82.

- (208) HAUSER D., AMAYENC P., Raindrop size distributions and vertical air motions as inferred from zenith pointing Doppler radar with the Ronsard system, URSI-IEE Symposium on Multiple Parameter Radar Measurements of Precipitation, Bournemouth, G.B., 23-27 août 1982. Proceedings of URSI Symposium, 145-152, 1982.
- (209) KRANKOWSKY D., LAMMERBAHL P., EBERHARDT P., HERRMANN U., BERTHELIER J.J., SYLVAIN M., HOFFMAN J.H., HODGES R.R., VON ZAHN U., KELLER H.U., FESTOU M., The Giotto neutral mass spectrometer, Proceedings International Meeting on the Giotto Mission, 127-130, ESA SP-169, avril 1981, omis en 1981.
- (210) LEMBEGE B., JONES D., Propagation of electrostatic upper hybrid waves at the earth's equatorial plasmopause, International Conference on Plasma Physics, Göteborg, Suède, 9-15 juin 1982. Proceedings Contributed Papers, 35, Chalmers University of Technology, 1982.
- (211) LEMBEGE B., Electron cyclotron harmonic modes: Unicity of the model, International Conference on Plasma Physics, Göteborg, Suède, 9-15 juin 1982. Proceedings Contributed Papers, 313, Chalmers University of Technology, 1982.
- (212) LE QUEAU D., PELLAT R., ROUX A., Discussion of the maser synchrotron instability, International Conference on Plasma Physics, Göteborg, Suède, 9-15 juin 1982. Proceedings Contributed Papers, 299, Chalmers University of Technology, 1982.
- (213) POTTELETTE R., Active and passive wave measurements in an auroral plasma, International Conference on Plasma Physics, Göteborg, Suède, 9-15 juin 1982. Proceedings Contributed Papers, 73, Chalmers University of Technology, 1982.
- (214) ROUX F., TESTUD J., PINTY B., CHALON J.P., Three-dimensional motions within an African squall line observed during "COPT 81" experiment, Conference on Cloud Physics of the American Meteorological Society, Chicago, U.S.A., 15-18 novembre 1982. Proceedings A.M.S., 547-550, 1982.

- (215) SPANJAARD N., LAVERGNAT J., La diffusion multiple par les hydrométéores :
une simulation numérique, AGARD Conference, Issy-les-Moulineaux,
France, 19 octobre 1982.
- (216) WEILL A., Measurements in the atmospheric boundary layer - techniques and
limitation, representativeness, E.C.M.W.F. Seminars, 35-37, Reading,
février 1982.

COMMUNICATIONS A DES COLLOQUES SANS ACTES

- (301) ALCAYDE D., FONTANARI J., BAUER P., High latitude neutral atmosphere temperature and concentration measurements from the first EISCAT incoherent scatter observations, URSI Symposium on Radio Probing of High Latitude Ionosphere and Atmosphere, Fairbanks, Alaska, août 1982.
- (302) BARAT J., BERTIN F., In situ measurements in stratospheric turbulent layers, Workshop on Equatorial Middle Atmosphere Measurements and Middle Atmosphere Radars, Estes Park, Colorado, U.S.A., 9-13 mai 1982.
- (303) BELMONT G., FONTAINE D., CANU P., Origine des aurores diffuses : rôle des ondes électrostatiques équatoriales, Séminaire EISCAT-ARCAD, Grenoble, 22-23 septembre 1982.
- (304) BERNARD R., HATFIELD J.L., VAUCLIN M., Test of an evapo-transpiration model for the use of remote sensing data, Assemblée Générale de la Société Européenne de Géophysique, Leeds, G.B., 23-27 août 1982.
- (305) BERNARD R., TACONET O., VIDAL-MADJAR D., THONY J.L., ITIER B., PERRIER A., CHAPUIS E., LANNELONGUE N., The French C-band helicopter-borne scatterometer and the related programme on the remote sensing of soil moisture, I.G.A.A.R.S. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Munich, RFA, 01-04 juin 1982.
- (306) BERTHELIER A., Identification des courants alignés et phénomènes corrélés, Réunion EISCAT-ARCAD, Grenoble, septembre 1982.
- (307) BERTIN F., KOFMAN W., LEJEUNE G., Observation of gravity waves in the auroral zone, Symposium International U.R.S.I., Fairbanks, U.S.A., 7-14 août 1982.
- (308) BLANC M., Ionospheric-magnetospheric electric field coupling, Yosemite Conference on Origins of Plasmas and Electric Fields in the Magnetosphere, Yosemite, Californie, 25-29 janvier 1982.
- (309) BLANC M., Modélisation de la convection magnétosphérique, Séminaire EISCAT-ARCAD, Grenoble, 22-23 septembre 1982.

- (310) CANU P., BELMONT G., Quantitative study of magnetospheric electrostatic waves from GEOS-2 data. New results and consequences for electron diffusion, E.G.S. Meeting, Assemblée Générale de la Société Européenne de Géophysique, Leeds, G.B., 23-27 août 1982.
- (311) CAUDAL G., ALCAYDE D., de la BEAUJARDIERE O., LEJEUNE G., Simultaneous measurements of the electrodynamic parameters of the auroral ionosphere by the EISCAT and Chatanika radars, Assemblée Générale de la Société Européenne de Géophysique, Leeds, G.B., 23-27 août 1982.
- (312) CAUDAL G., ALCAYDE D., de la BEAUJARDIERE O., LEJEUNE G., Mesures simultanées des champs électriques de l'ionosphère aurorale par les radars d'EISCAT et de CHATANIKA, Séminaire EISCAT-ARCADE, Grenoble.
- (313) CHANTEUR G., Double layer simulations, 1ère Ecole de Simulation Numérique Spatiale (ISSS), Kyoto, Japon, 01-12 novembre 1982.
- (314) CHONG M., TESTUD J., Mesure du champ de vent tridimensionnel à l'aide de deux radars Doppler : Application d'un concept variationnel pour l'intégration de l'équation de continuité, Journées ATP "Recherches Atmosphériques" de l'INAG, Meudon, France, 07 juillet 1982.
- (315) CORNILLEAU-WEHRLIN N., ROUX A., RAUCH J.L., NORRIS A., JOHNSON J., WRENN G.L., Acceleration of thermal electrons by quasi-electrostatic ULF waves in the magnetosphere : experimental evidence and interpretation, Symposium on Solar-Terrestrial Physics, SCOSTEP-COSPAR, Ottawa, Canada, 17 mai - 02 juin 1982.
- (316) DUBOIN M.L., Global heat input by Joule dissipation as deduced from correlated measurements, Assemblée Générale de la Société Européenne de Géophysique, Leeds, G.B., 23-27 août 1982.
- (317) 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 I.M.S., Ottawa, Canada, mai 1982.

- (318) 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 nonthermal continuum radiation, Symposium on Solar-Terrestrial Physics, SCOSTEP-COSPAR, Ottawa, Canada, 17 mai - 02 juin 1982.
- (319) ETCHETO J., SAINT-MARC A., Cold plasma observations in the geomagnetic tail, Geomagnetic Tail Workshop, Greenbelt, U.S.A., Octobre 1982.
- (320) EYMARD L., Etude des structures convectives dans la couche limite observées au moyen des radars Ronsard et du sodar du CRPE, Séminaire EERM, Paris, France, février 1982.
- (321) EYMARD L., Etude des structures convectives en ciel clair dans la couche limite tropicale "COPT 81", Journées ATP "Recherches Atmosphériques" de l'INAG, Meudon, France, juillet 1982.
- (322) FELLOUS J.L., CEVOLANI G., KINGSLEY S.P., MULLER H.G., Atmospheric dynamics observed during the energy budget campaign, 24ème Assemblée Plénière du COSPAR, Ottawa, Canada, 17 mai - 02 juin 1982.
- (323) FONTAINE D., BLANC M., REINHARDT L., GLOWINSKI R., Numerical simulation of the effect of plasmashet electron precipitation on large-scale magnetospheric convection, Symposium on Solar-Terrestrial Physics, SCOSTEP-COSPAR, Ottawa, Canada, 17 mai - 02 juin 1982.
- (324) GENDRIN R., Effects of heavy ions on microscopic plasma physics in the magnetosphere, Nobel Symposium N° 54, Kiruna, Suède, 22-25 mars 1982. in "High-latitude Space Plasma Physics", Eds. T. HAGFORS & B. HULQVIST, Plenum Publ. Co., 1983.
- (325) GENDRIN R., Wave particle interactions as an energy transfer mechanism between different particle species (exposé de synthèse sur invitation), Symposium on Solar-Terrestrial Physics, SCOSTEP-COSPAR, Ottawa, Canada, 17 mai - 02 juin 1982.
- (326) GIRARD L., PELLAT R., Kinetic approach for the feedback mechanism of auroral arcs formation, Assemblée Générale de la Société Européenne Géophysique, Leeds, G.B., 23-27 août 1982.

- (327) HANUISE C., CROCHET M., MAZAUDIER C., BLANC M., VILA P., Ionospheric dynamo currents and their connection to the equatorial electrojet and counter-electrojet: A case study, Assemblée Générale de la Société Européenne de Géophysique, Leeds, G.B., 23-27 août 1982.
- (328) HAUSER D., AMAYENC P., Mesure de la distribution dimensionnelle des hydrométéores et de la vitesse verticale de l'air par radar en visée verticale, Journées ATP "Recherches Atmosphériques" de l'INAG, Meudon, France, 07 juillet 1982.
- (329) HIGEL B., Summary on GEOS-2 electron density data for March 31 - April 1, 1979, Atelier d'Analyse de données CDAW 6.2, ESOC, Darmstadt, 27-30 septembre 1982.
- (330) LEFEUVRE F., BERTHELIER J.J., MOLCHANOV O.A., MOGHIEVSKI M., GALPERIN Yu I., KOPKA H., RIETVELD M., STUBBE E. and DOWDEN D., Communication présentée à Leeds, Symposium EGS, août 1982.
- (331) MASSEBEUF M., BERNARD R., FELLOUS J.L., FREZAL M.E., GLASS M., Meteor radar observations of the zonal circulation at Monpazier (France, 44°N, 1°E), Assemblée Générale de la Société Européenne de Géophysique, Leeds, G.B., 23-27 août 1982.
- (332) MAZAUDIER C., The ionospheric electric currents observed on March 22, 1979, North American CDAW-6.3 at NASA/GODDARD, Washington, U.S.A., 19-23 octobre 1982.
- (333) MAZAUDIER D., DUBOIN M.L., FELLOUS J.L., MASSEBEUF M., Midlatitude dynamo effect of a thermospheric neutral wind disturbance generated by a storm, Assemblée Générale de la Société Européenne de Géophysique, Leeds, G.B., 23-27 août 1982.
- (334) MON J.P., La propagation dans l'atmosphère des ondes centimétriques et millimétriques, Journées Nationales Microondes, Toulouse, 28-30 juin 1982.

- (335) PERRAUT S., PEDERSEN A., ROBERT P., ROUX A., Observations of current tubes and intense ULF turbulence close to the boundary layer during magnetopause crossings by GEOS spacecraft, Symposium on Solar-Terrestrial Physics, SCOSTEP-COSPAR, Ottawa, Canada, 17 mai - 02 juin 1982.
- (336) PERRAUT S., ROUX A., KORTH A., KREMSER G., Non-adiabatic acceleration of energetic protons associated with an Ssc. Subsequent release of this energy via ion cyclotron waves, Symposium on Solar-Terrestrial Physics, SCOSTEP-COSPAR, Ottawa, Canada, 17 mai - 02 juin 1982.
- (337) PREVOT L., BERNARD R., TACONET O., VIDAL-MADJAR D., THONY J.L., Evaporation from a bare soil evaluated from a soil water transfer model using the surface soil moisture as a boundary condition, Assemblée Générale de la Société Européenne de Géophysique, Leeds, G.B., 23-27 août 1982.
- (338) ROBERT P., GENDRIN R., PERRAUT S., ROUX A., PEDERSEN A., GEOS-2 identification of fastly moving current tubes at substorm onsets, Symposium on Solar-Terrestrial Physics, SCOSTEP-COSPAR, Ottawa, Canada, 17 mai - 02 juin 1982.
- (339) ROUX A., Wave-particle interactions as inferred from GEOS-1 and -2 observations (exposé de synthèse sur invitation), Symposium on Solar-Terrestrial Physics, SCOSTEP-COSPAR, Ottawa, Canada, 17 mai - 02 Juin 1982.
- (340) ROUX A., Anomalous friction between various magnetospheric components through ion cyclotron waves, Assemblée Générale de la Société Européenne de Géophysique, Leeds, G.B., 23-27 août 1982.
- (341) ROUX F., TESTUD J., CHONG M., Restitution des champs de température et de pression par filtrage et interpolation des données de deux radars Doppler, Journées ATP "Recherches Atmosphériques" de l'INAG, Meudon, France, 06-08 juillet 1982.
- (342) SENIOR C., Courants alignés, précipitations diffuses et électrojets dans le secteur nuit de haute latitude, Séminaire EISCAT-ARCAD, 22-23 septembre 1982.

- (343) TESTUD J., AMAYENC P., CHONG M., ROUX F., SCIALOM, Mesure des champs tridimensionnels par radars Doppler (COPT 81), Journées ATP "Recherches Atmosphériques" de l'INAG, Meudon, France, 06-08 juillet 1982.
- (344) TAIEB C., Modélisation de l'ionosphère, adaptation aux hautes latitudes, Séminaire EISCAT-ARCAD, Grenoble, 22-23 septembre 1982.
- (345) TESTUD J., Resultats préliminaires de l'expérience COPT 81, Conférence au CNFEGG, Paris, France, 28 janvier 1982.
- (346) TESTUD J., Recherches météorologiques à partir de radars Doppler, Journées SEE, Ecole Supérieure d'Electricité, Paris, France, 21 avril 1982.
- (347) TESTUD J., AMAYENC P., CHONG M., ROUX F., SCIALOM G., Mesure des champs tridimensionnels par radars Doppler (COPT 81), Journées ATP "Recherches Atmosphériques" de l'INAG, Meudon, France, 07 juillet 1982.
- (348) TROTIGNON J.G., ETCHETO J., THOUVENIN J.P., Automatic determination of the electron density measured by the relaxation sounder onboard ISEE-1 satellite, Assemblée Générale de la Société Européenne de Géophysique, Leeds, G.B., 23-27 août 1982.
- (349) VAUCLIN M., VIERA S.R., BERNARD R., HATFIELD J.L., Spatial variability of surface temperature as a stochastic process, Assemblée Générale de la Société Européenne de Géophysique, Leeds, G.B., 23-27 août 1982.
- (350) VILA P., Counter-electrojet regime and tidal " S_R " variability, Assemblée Générale de la Société Européenne de Géophysique, Leeds, G.B., 23-27 août 1982.
- (351) VILA P., FAYNOT L., Equatorial range spread-F generation and sporadic E anticorrelation, Assemblée Générale de la Société Européenne de Géophysique, Leeds, G.B., 23-27 août 1982.
- (352) WEILL A., Some mesoscale problems in the atmospheric boundary layer, Conference RISOE Laboratory, Risø, Danemark, 09 novembre 1982.

- (353) WEILL A., EYMARD L., TACONET O., Etude critique de la paramétrisation de la couche limite atmosphérique : mise en évidence des aspects météorologiques, Journées ATP "Recherches Atmosphériques" de l'INAG, Meudon, France, 07 juillet 1982.

DOCUMENTS INTERNES

- (401) AMAYENC P., CORDESSES R., FOURNET-FAYARD J., MON J.P., RAMOND D., Opération "Radar 10 cm à diversité de polarisation", Rapport IOPG, octobre 1982.
- (402) BERNARD R., JAVEL de Y., MEYER A., Proposition de radiomètre hyper-fréquence pour la correction des données altimétriques de Poseidon, Document de Travail CRPE/1097, 1982.
- (403) BERNARD R., TACONET O., VIDAL-MADJAR D., THONY J.L., VAUCLIN M., CHAPOTON A., WATTRELOT F., LEBRUN A., Comparison of three in situ surface soil moisture measurements and application to C band scatterometer calibration, Note Technique CRPE/120, octobre 1982.
- (404) BERTHELIER J.J., Phénomènes induits par des faisceaux de particules chargées dans l'espace, Contrat de Recherche DRET 79/642, avril 1982.
- (405) BLANC A., Electrification des nuages orageux (Rapport de Stage), Document de Travail CRPE/1101, décembre 1982.
- (406) BOUVET J., LAFEUILLE M., Bibliographie du sondeur français à diffusion incohérente de 1962 à 1982, Note Technique CRPE/124, décembre 1982.
- (407) BOUVET J., MAZAUDIER C., Etude des courants électriques à Saint-Santin. -Programme de traitement, -Jours analysés, Document de Travail CRPE/1098, septembre 1982.
- (408) CHANTEUR G., ADAM J.C., PELLAT R., VOLOKHITIN A.S., Sur la formation des doubles couches acoustiques ioniques, Note Technique CRPE/117, août 1982.
- (409) COLLECTIF. Groupe de réflexion, Projet d'extension des études "Télécom" de la division RPE, Document de Travail CRPE/1090, janvier 1982.
- (410) COLLECTIF, Rapport d'Activité CRPE pour l'année 1981, Note Technique CRPE/115, juillet 1982.

- (411) COLLECTIF (rédigé par AMAYENC P., CHALON J.P., DESBOIS M., ISAKA M., LARUCHE P., TESTUD J.), Expérience Fronts 84, Avant-Projet, décembre 1982.
- (412) COLLECTIF, Expérience "COPT 81", Publication Scientifique, Volume 1, Ed. LMD, 1982.
- (413) DECLAVEILLER O., LANCELIN D., Projet de télécommande par ballon, Rapport de Stage de fin d'Etudes, I.U.T., Créteil, promotion 1982.
- (414) DUBOIN M.L., LEJEUNE G., Notice d'utilisation d'un programme de calcul de la distribution des photoélectrons, Note Technique CRPE/110, février 1982.
- (415) GENDRIN R., Wave particle interactions as an energy transfer mechanism between different particle species, Note Technique CRPE/116, août 1982.
- (416) JOINDOT M., LAVERGNAT J., Les effets des trajets multiples sur les faisceaux Hertziens numériques : Bilan et perspectives des études menées au CNET, Document de Travail CRPE/1100, Note Technique CNET LAB/MER/86, octobre 1982.
- (417) JUY M., ROORYCK M., BENOIT-GUYOD, DAMECOUR F., VERNET M., Traitement dans le cadre de l'action COST 205, des données provenant du satellite O.T.S. obtenues à la station de Gometz-la-Ville, Document de Travail CRPE/1094, mai 1982.
- (418) KLAPISZ C., NUTTEN B., SYLVAIN M., Description du projet PACEM d'étude de propagation en air clair, Note Technique CRPE/111, février 1982.
- (419) LE ROUX G., SYLVAIN M., Algorithme de compression des données d'analyse d'une liaison radioélectrique (Préparation à l'expérience PACEM 2), Note Technique CRPE/121, novembre 1982.
- (420) MAZAUDIER C., BLANC M., HANUISE C., BERNARD R., Dynamo ionosphérique calme. I- Simulations effectuées au cours de l'année 1981, Note Technique CRPE/112, mai 1982.

- (421) OLIVIER Ph., Influence du champ électrique atmosphérique sur la dépolarisation des signaux à 11.6 GHz émis par le satellite OTS, Rapport de Stage, 3ème année ENST, 1982.
- (422) POINSARD P., TAIEB C., Modélisation de l'ionosphère à moyenne latitude, Note Technique CRPE/114, juin 1982.
- (423) PORTE de la B., ROBERT P., Description de l'expérience ondes dans les plasmas. Traitement à bord (International Solar Polar Mission, Unified Radio and Plasma Wave Experiment - Document ISPM N° 1), Document de Travail CRPE/1092, mars 1982.
- (424) PREVOT L., Estimation de l'évaporation d'un sol nu à partir du suivi de son humidité de surface par un diffusiomètre en bande C, en utilisant un modèle numérique de transferts hybrides dans le sol, Note Technique CRPE/119, septembre 1982.
- (425) ROBERT P., Proposition d'organisation générale du dépouillement des données des expériences radio astronomie, sondeur, ondes dans les plasmas de la sonde interplanétaire ISPM et Proposition de visualisation en routine de ces données (International Solar Polar Mission - Unified Radio and Plasma Wave Experiment - Document ISPM N° 2), Document de Travail CRPE/1093, mars 1982.
- (426) ROBERT P., Simulation et test de l'algorithme d'analyse harmonique embarqué à bord. Comparaison avec une TF classique et avec les tests expérimentaux. Part 1 : Fréquences de 10 à 500 Hz (International Solar Polar Mission - Unified Radio and Plasma Wave Experiment, Document ISPM N° 3), Document de Travail CRPE/1099, septembre 1982.
- (427) ROORYCK M., Influence de la propagation dans les faisceaux Hertiens numériques, Document de Travail CRPE/1095, mai 1982.
- (428) SEN GUPTA K., Quelques aspects de la couche limitée par sondage acoustique Note Technique CRPE/118, août 1982.
- (429) SENIOR C., BLANC M., On the control of magnetospheric convection by the spatial distribution of ionospheric conductivities, Note Technique CRPE/123, décembre 1982.

- (430) SYLVAIN M., SES/PICPAB, Rapport Technique, Document de Travail CRPE/1096, juin 1982.
- (431) TIFFON J., Etude de l'affaiblissement de propagation à 13 GHz dû aux précipitations tropicales, Note Technique CRPE/113, juin 1982.
- (432) TIFFON J., Analyse des conditions de propagation à 20 et 30 GHz en Europe, Note Technique CRPE/122, novembre 1982.

THESES

- (501) AHMADI L., Rayonnement très basse fréquence d'un faisceau d'électrons modulé. Application à l'expérience Araks, Thèse de 3ème cycle, Paris VI, 14 décembre 1982.
- (502) BRANDT E., Optimisation de ressources pour des transmissions par satellites utilisant l'AMRT, Thèse de 3ème cycle, Orsay, 25 juin 1982.
- (503) CANU P., Etude expérimentale des ondes électrostatiques électroniques détectées dans la magnétosphère terrestre par le satellite GEOS 2, Thèse de 3ème cycle, Paris VI, 13 septembre 1982.
- (504) 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.
- (505) 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.
- (506) MOUPFOUMA F., Propagation des ondes radioélectriques en climat équatorial et tropical, Thèse de Docteur-Ingénieur, E.N.S.T., 17 décembre 1982.

FORMATION - ENSEIGNEMENT

- (601) BLANC M., Electrodynamique des plasmas ionosphériques et magnétosphériques, Cours au DEA de Géophysique Externe, Paris VI, France, 1982.
- (602) GENDRIN R., Plasmas spatiaux, Cours fait aux étudiants de DEA de Physique des Gaz et des Plasmas, Orsay, décembre 1982.
- (603) GENDRIN R., Waves and wave-particle interaction in the magnetosphere. 1. Long period pulsations. 2. Hydromagnetic waves with higher frequencies, Ecole d'Automne sur le Géomagnétisme, l'Ionosphère et la Magnétosphère, Centre International de Physique de Trieste, Italie, 21 septembre - 12 novembre 1982.
- (604) GENDRIN R., Satellite observations of plasma waves in the earth's magnetosphere, 1ère Ecole de Simulation Numérique Spatiale (ISSS), Kyoto, Japon, 01-12 novembre 1982.
- (605) MON J.P., Aperçu sur les Télécommunications numériques par satellite, Cours au DEA Electronique Appliquée, Université Paris XIII, 1982.
- (606) ROUX F., TESTUD J., PINTY B., Comparison between pressure fields deduced from dual Doppler radar data and from ground network measurements during COPT 81, Ecole d'Eté NATO/ASI sur la Météorologie à Moyenne Echelle, Bonas, France, 12-30 juillet 1982.
- (607) TESTUD J., COPT 81 experiment : first results, Ecole d'Eté NATO/ASI sur la Météorologie à Moyenne Echelle, Bonas, France, 12-30 juillet 1982.
- (608) TESTUD J., Les radars Doppler en météorologie, Principes et applications, Conférences pour le DEA de Météorologie, Paris VI, France, 18 février 1982.
- (609) WEILL A., Enseignement sur la couche limite, DEA Physique de l'Atmosphère, Paris VI, France 1982.
- (610) WEILL A., Séminaire sur la couche limite atmosphérique, DEA d'Astrophysique, France, 1982.

REVUES ET COMMUNICATIONS A PARAÎTRE EN 1983

- (701) ALCAYDE D., FONTANARI J., BAUER P., de la BEAUJARDIERE O., Some properties of the auroral thermosphere inferred from initial EISCAT observations, Radio Science, 1983, accepté.
- (702) BARAT J., BERTIN F., Turbulent and non turbulent motions in the stratosphere. A cautionary analysis, J. Atmos. Sci., 1983, soumis.
- (703) de la BEAUJARDIERE O., WICKWAR V., BARON M., EVANS J., HOLT J., SENIOR C., BLANC M., BAUER P., ALCAYDE D., CAUDAL G., FOSTER J., NIELSEN E., HEELIS R., Mithras : a brief description, Radio Science, 1983, soumis.
- (704) BEGHIN C., BERTHELIER J.J., DEBRIE R., GALPERIN Yu I., GLADYSHEV V.A., MASSEVITCH N.I., ROUX D., High resolution thermal plasma measurements aboard the AUREOL-3 spacecraft, Advances in Space Research, 1983, accepté.
- (705) BELMONT G., FONTAINE D., CANU P., Are equatorial electron cyclotron waves responsible for diffuse auroral electron precipitation ?, J. Geophys. Res., 1983, soumis.
- (706) BERNARD R., TACONET O., VIDAL-MADJAR D., THONY J.L., VAUCLIN M., CHAPOTON A., WATTRELOT F., LEBRUN A., Comparison of three in situ surface soil moisture measurements and application to C band scatterometer-calibration, IEEE Trans. GE-RS, 1983, soumis.
- (707) BERTHELIER J.J., BERTHELIER A., GALPERIN Yu I., GLADYSHEV V.A., LEFEUVRE F., MASSEVITCH N.I., MOGHIESVSKY M., MOLCHANOV O.A., Field and wave measurements aboard the AUREOL-3 spacecraft, Advances in Space Research, 1983, accepté.
- (708) BERTHELIER J.J., BERTHELIER A., GALPERIN Yu I., GLADYSHEV V.A., GOGLY G., GODEFROY M., GUERIN C., KARCZEWSKI J.F., D.C. magnetic field observations on AUREOL-3 : the TRAC experiment, Ann. Géophys., n° spécial ARCAD 3, Tome 5, 1982, accepté.

- (709) BERTHELIER J.J., COVINHES J., GODEFROY M., GOGLY G., GUERIN C., ROUX D., THEVENET P., GLADYSHEV V.A., DYCTION : the thermal ion mass spectrometer onboard "AUREOL-3", Ann. Géophys., 1982, n° spécial ARCAD 3, accepté.
- (710) BERTHELIER J.J., LEFEUVRE F., MOGHIESCSKY M., MOLCHANOV O.A., GALPERIN Yu I., KARCZEWSKI J.F., NEY R., GOGLY G., GUERIN C., LEVEQUE M., MOREAU J.M., SENE F.X., Measurements of the VLF electric and magnetic components of waves and D.C. electric field onboard the AUREOL-3 spacecraft, Ann. Géophys., 1982, n° spécial ARCAD 3, accepté.
- (711) BERTIN F., KOFMAN W., LEJEUNE G., Observation of gravity waves in the auroral zone, Radio Sci., 1983, accepté.
- (712) BLANC M., Magnetospheric convection effects at midlatitudes. I- Saint-Santin observations, J. Geophys. Res., 1983, accepté.
- (713) BLANC M., ALCAYDE D., KELLY J.D., Magnetospheric convection effects at midlatitudes. II- A coordinated Chatanika/Saint-Santin study of the April 12, 1978, magnetic storm, J. Geophys. Res., 1983, accepté.
- (714) BLANC M., Magnetospheric convection effects at midlatitudes. III- Theoretical interpretation, J. Geophys. Res., 1983, accepté.
- (715) CAUDAL G., ALCAYDE D., de la BEAUJARDIERE O., LEJEUNE G., Simultaneous measurement of the electrodynamic parameter of the auroral ionosphere by the EISCAT and Chatanika radars, Annales Geophysicae, 1983, soumis.
- (716) CAUDAL G., BLANC M., The spatial distribution of magnetospheric convection electric fields at ionospheric altitudes : A review. 1. Observations, Ann. Geophys., 1983, soumis.
- (717) CHANTEUR G., ADAM J.C., PELLAT R., VOLOKHITIN A.S., On the formation of ion-acoustic double-layers, Phys. of Fluids, 1983, accepté.
- (718) CHONG M., TESTUD J., Three-dimensional wind field analysis from dual Doppler radar data. Part III- The boundary condition : an optimum determination based on a variational concept, J. Appl. Meteor., 1983, accepté.

- (719) CHONG M., TESTUD J., ROUX F., Three-dimensional wind field analysis from dual Doppler radar data. Part II- Minimizing the error due to temporal variation, J. Appl. Meteor., 1983, accepté.
- (720) DUBOIN M.L., KAMIDE Y., Latitudinal variations of Joule heating due to the auroral electrojets, J. Geophys. Res., 1983, soumis.
- (721) FELLOUS J.L., GEVOLANI G., KINGSLEY S.P., MULLER H.G., Atmospheric dynamics observed during the energy budget campaign, J. Atmos. Terr. Phys., 1983, soumis.
- (722) FERAUDY H. de, LEMBEGE B., Electrostatic radiation in a hot magnetoplasma : intrinsic diffraction or interference effects ? Phys. Fluids, 1982, soumis.
- (723) FONTAINE D., BLANC M., A theoretical approach to the morphology and dynamics of diffuse auroral zones, J. Geophys. Res., 1983, accepté.
- (724) FONTANARI J., ALCAYDE D., BAUER P., Etude par diffusion incohérente des variations à court et long termes de la température et de l'oxygène atomique dans la thermosphère, Annales Geophysicae, 1983, accepté.
- (725) GENDRIN R., Wave-particle interactions as an energy transfer mechanism between different particles species, Space Sci. Rev., 1983, accepté.
- (726) GENDRIN R., Effects of heavy ions on microscopic plasma physics in the magnetosphere, in "High Latitude Space Plasma Physics", HAGFORS T. and B. HULQVIST Eds., Plenum Publ. London, 1983.
- (727) GOLE P., MON J.P., Etude statistique de la dépolarisation anormale, Ann. Télécomm., 1983, accepté.
- (728) HANUISE C., MAZAUDIER C., VILA P., BLANC M., CROCHET M., Global dynamo simulation of ionospheric currents and their connection to the equatorial electrojet and counter electrojet : a case study, J. Geophys. Res., 1983, accepté.
- (729) HATFIELD J.L., VAUCLIN M., VIEIRA S.R., BERNARD R., Surface temperature variability patterns within irrigated fields, Agricultural Water Management, 1983, soumis.

- (730) 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., 1983, accepté.
- (731) HAUSER D., AMAYENC P., Raindrop size distributions and vertical air motions as inferred from zenith-pointing Doppler radar with the RONSARD system, Radio Sci., 1983, accepté.
- (732) HIGEL B., WU LEI, Electron density and plasmopause characteristics at $6.6 R_E$: a statistical study of the GEOS 2 relaxation sounder data, J. Geophys. Res., 1983, accepté.
- (733) HIROTA I., MAEKAWA Y., FUKAO S., FUKUYAMA K., SULZER M.P., FELLOUS J.L., KATO S., Fifteen-day observation of mesospheric and lower thermospheric motions with the aid of the Arecibo UHF radar, J. Geophys. Res., 1983, soumis.
- (734) HOLLMANN H., DUHAMEL P., Longer NTT's with 2 as a root of unity, Proceedings of the International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing Boston, Mass. USA, 14-16 avril 1983.
- (735) LEMBEGE B., Drift effect on cyclotron harmonic waves, Plasma Phys., 1983, soumis.
- (736) LEMBEGE B., DEBRIE R., Drift effect on electrostatic modes in an unmagnetized plasma. Part I : Parallel propagation, Phys. Fluids, 1983, soumis.
- (737) LEQUEAU D., PELLAT R., ROUX A., Direct generation of the auroral kilometric radiation by the Maser synchrotron instability, an analytical approach, Phys. Fluids, 1983, soumis.
- (738) LEQUEAU D., PELLAT R., ROUX A., Direct generation of the auroral kilometric radiation of the Maser synchrotron instability : A parametric study of the instability conditions, J. Geophys. Res., 1983, soumis.
- (739) MAZAUDIER C., Electric currents above St-Santin. 3- A preliminary study of disturbances. June 6 1978, March 22 1979, March 23 1979, J. Geophys. Res., 1983, soumis.

- (740) 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., 1983, accepté.
- (741) PERRAUT S., GENDRIN R., ROUX A., VILLEDARY de C., Ion cyclotron waves direct comparison between ground-based measurements and observations in the source region, Geophys. Res. Lett., 1983, accepté.
- (742) POTTELETTE R., ILLIANO J.M., BAUER O., TREUMAN R., High frequency turbulence induced by an ion beam, J. Geophys. Res., 1983, soumis.
- (743) 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., 1983, soumis.
- (744) ROORYCK M., Modélisation de la propagation en période de trajets multiples. Application à un modèle à deux rayons, Onde Elec., 1983, accepté.
- (745) ROUX F., TESTUD J., Pressure and temperature fields from dual-Doppler radar measurements, J. Atmos. Sci., 1983, soumis.
- (746) SENIOR C., BLANC M., On the control of magnetospheric convection by the spatial distribution of ionospheric conductivities, J. Geophys. Res., 1983, soumis.
- (747) SPANJAARD N., LAVERGNAT J., La diffusion multiple par les hydrométéores : une simulation numérique dans "Propagation Aspects of Frequency Sharing, Interference and System Diversity", AGARD Conference Proceedings N° 332, 1983.
- (748) TACONET O., WEILL A., Convective plumes in the atmospheric boundary layer as observed with an acoustic Doppler sodar, Boundary Layer Meteo., 1983, accepté.
- (749) TESTUD J., Three-dimensional wind field analysis from radar data, in "NATO/ASI on Mesoscale Meteorology, Observations, Theories and Models", D. REIDEL, 1983.

- (750) TESTUD J., CHONG M., Three-dimensional wind field analysis from dual Doppler radar data. Part I: Filtering, interpolating, and differentiating the new data, J. Appl. Meteo., 1983, accepté.
- (751) WEILL A., VIDAL-MADJAR D., LOUIS J.F., Dissipation length in stable layers, Boundary Layer Meteo., 1983, accepté.
- (752) WU LEI, GENDRIN R., HIGEL B., Behaviour of the interplanetary and magnetospheric electric field during very intense storms, Ann. Géophys., Tome 6, 1982, accepté.

DIFFUSION NOTE TECHNIQUE CRPE/128 - RAPPORT D'ACTIVITE CRPE - 1982

CNET

M.	le Directeur	DIR
M.	le Directeur Adjoint	DIR
M.	COLONNA	DIR
M.	VINCENT-CARREFOUR	DIR
M.	DESLANDES	SG
MM.	BLOCH	DICET
	THUE	DICET
	LEMEZEC	DICET
Mmes	HENAFF	DICET
	PILLET	DICET
M.	DUQUESNE	DIGAT
MM.	CHADUC	PAA
	PEYRADE	PAA
	ZIMMERMANN	PAA
MM.	DUBOS	PAB
	BOITHIAS	PAB
	EYMARD	PAB
	LAURETTE	PAB
	LOMBARD	PAB
	NOBLANC	PAB
	BAES	PAB
M.	MEREUR	LAA
MM.	JERPHAGNON	LAB
	DUPUIS	LAB
	HANBABA	LAB
	JOINDOT	LAB
	LASSUDRIE	LAB
	PAPET-LEPINE	LAB
	VASSALO	LAB
M.	CAMUS	GRENOBLE
MM.	SCHWARTZ	RENNES CCETT
	PONCIN	RENNES CCETT
M.	GUEGUEN	ENST
	Bibliothèques	SDI (2) - EDB
M.	REVAH	PAB/RPE
M.	BAUER	PAB/RPE
	Chefs de départ.	PAB/RPE (09)
	Chefs de groupes	PAB/RPE (14)
	Labos	PAB/RPE (08)
	Bibliothèque	PAB/RPE (08)
	Comité de Direction	CRPE (21)

DAII

MM. BUSTARRET
ROZEMARYN

DTRN

M. le Directeur

CNRS

M. le Directeur
Général Paris
Bibliothèque Paris

Département TOAE

MM. PETIT Paris
AUBRY Paris

Département SPI

M. COMBARNOUS Paris

Administrations Délégées

5è Circonscription Meudon
3è Circonscription Rungis

CEPHAG

M. LACOUME Grenoble

CERGA

M. le Directeur Grasse

CESR

M. le Directeur Toulouse

CNES

M. le Directeur
Général Paris

MM. SACOTTE Paris

BRACHET Paris

PELLAT Paris

M. le Directeur
du Centre Spatial Toulouse
Bibliothèque Toulouse

CNRM

M. ANDRE (5) Toulouse

CRG

M. le Directeur Garchy

DRET

MM. BONGRAIN Paris

LOUVET Paris

Mme SPITZLEI Paris

EERM

MM. PASTRE Boulogne

ROCHAS Boulogne

WALDTEUFEL Boulogne

ESA

Documentation Paris

GRGS

M. le Directeur Toulouse

INAG

MM. PETIT Paris

AUBERT Paris

LAMP

MM. SOULAGE Aubière

ISAKA Aubière

ROSSET Aubière

LMD

MM. BERROIR Palaiseau

SADOURNY Palaiseau

LOAA

Mme LENOBLE Lille

LPAEA

MM. FONTAN Toulouse

GUEDALIA Toulouse

LPCE

MM. BEGHIN Orléans

FEIX Orléans

Bibliothèque (2) Orléans

LPSP

M. le Directeur Verrières

LSEET

M. CROCHET Toulon

MIR-MST

MM. DE LAMARE Paris

CRUETTE Paris

Observatoire de Paris

M. le Président Paris

S.A.

M. le Directeur Verrières