HAL open science

# Rapport d'activité CRPE années 1989-1990

- 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 années 1989-1990. 1991. hal-02192661

**HAL Id: hal-02192661**

**https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02192661**

Submitted on 24 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.

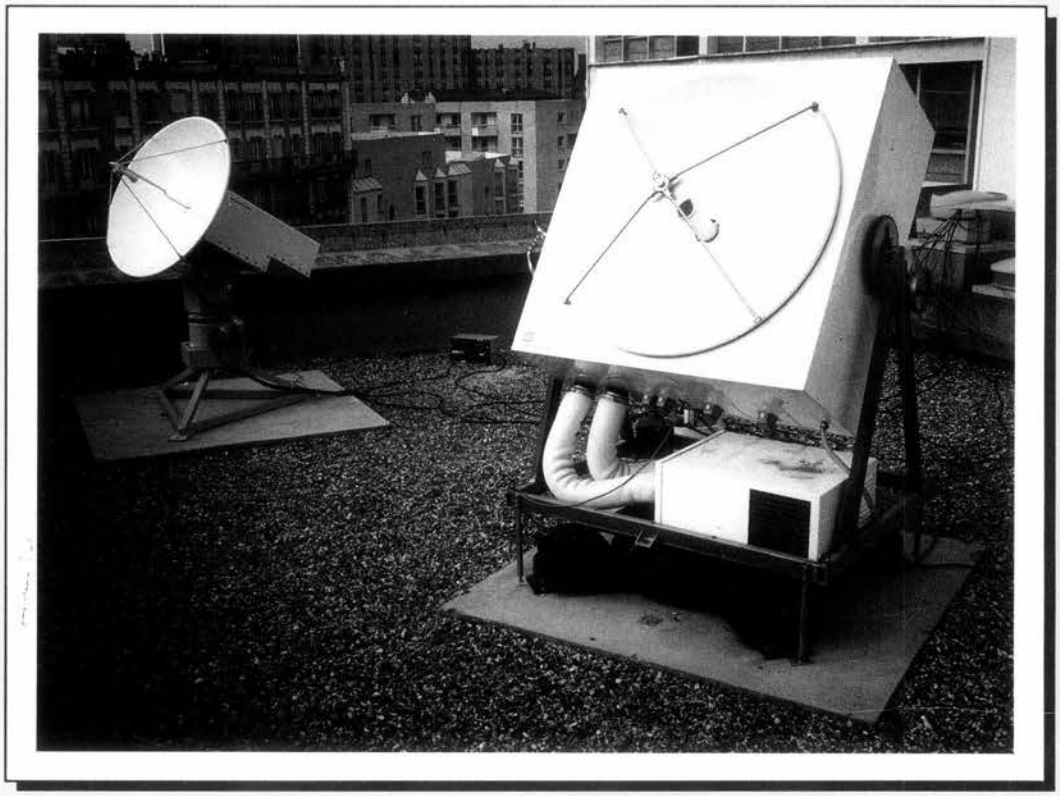
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RP11415

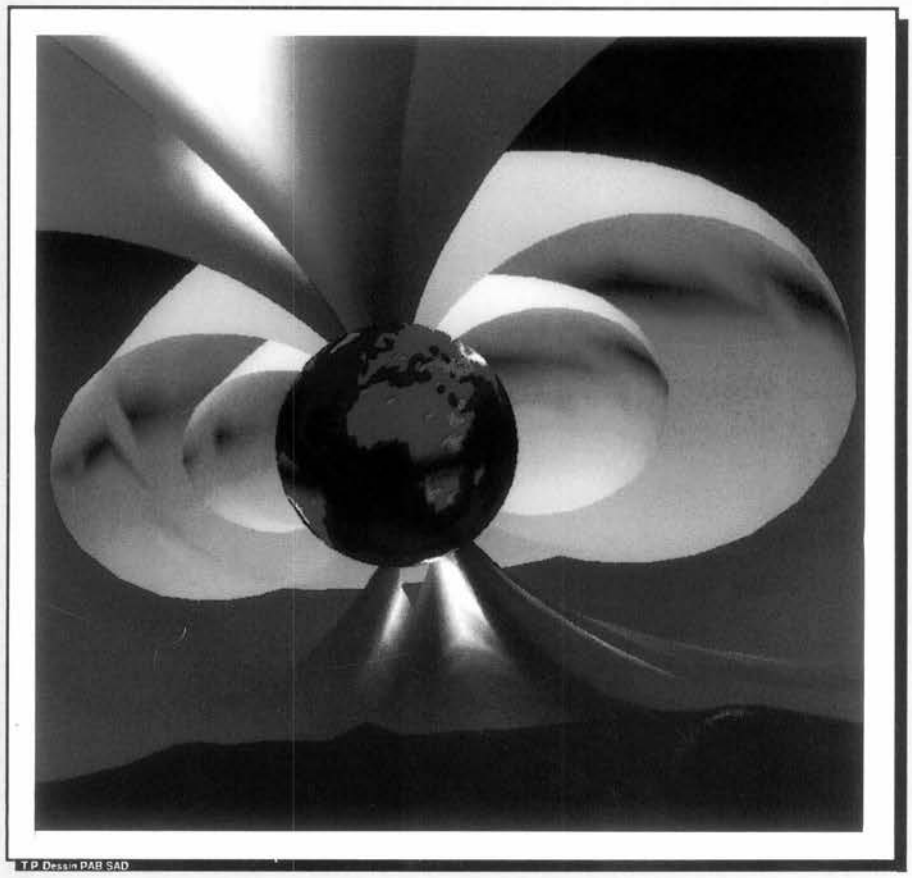
CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

CENTRE NATIONAL
D'ETUDES DES TELECOMMUNICATIONS

# RAPPORT D'ACTIVITE



FRANCE TELECOM




# 1989

# 1990

## CENTRE DE RECHERCHES EN PHYSIQUE DE L'ENVIRONNEMENT

G86073

CENTRE NATIONAL D'ETUDES
DES TELECOMMUNICATIONS
Centre Paris B

CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Département TOAE

**CENTRE DE RECHERCHES EN PHYSIQUE DE
L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE ET PLANETAIRE
Unité Mixte CNET/CNRS**

# RAPPORT D'ACTIVITE CRPE

# ANNEES 1989 - 1990

1749
NA 1551

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

Le Directeur

G. SOMMERIA

Le Directeur Adjoint

J.J. BERTHELIER

Juillet 1991

G 86073

*A la mémoire de notre collègue René BERNARD, décédé en pleine activité le 5 février 1990, et qui a dédié aux succès du CRPE beaucoup de son énergie et de son inspiration.*

*Ce rapport a été rédigé avec le concours du Directeur, du Directeur Adjoint, des Chefs de Département et des Chefs de Groupe du CRPE.*
*La frappe et la composition ont été assurées respectivement par les secrétaires de département et par Melle Catherine JEGU et Mme Catherine ROBIN.*
*L'imprimerie du CNET et le service de dessin du Centre Paris-B en ont réalisé l'iconographie et l'impression.*

# PLAN


1. INTRODUCTION 1

1.1 Les missions du CRPE et sa structure 1

1.2 Activités, résultats, développements et évolution 2

1.2.1 Physique de l'atmosphère neutre 2

1.2.2 Sciences pour l'observation de la Terre 2

1.2.3 Physique de l'environnement ionisé 3

1.2.4 Sciences pour les Télécommunications 4

1.3 Intégration dans la communauté scientifique, formation et valorisation 6

1.3.1 Intégration dans la communauté scientifique 6

1.3.2 Enseignement et formation 6

1.3.3 Valorisation 7

1.4 Problèmes et conclusion 7

2. PHYSIQUE DE L'ATMOSPHERE NEUTRE 27

Introduction 27

A. Résultats 28

2.1 Radar PROUST 28

2.1.1 Un radar pour étudier l'interface haute troposhère - basse stratosphère 28

2.1.2 Etat d'achevement technique en 1991 28

2.1.3 Participation de PROUST à l'expérience TOASTE 28

2.1.4 Utilisation des radars ST dans le cadre des études liées à la sécurité aérienne 29

2.2 Radar aéroporté ASTRAIA 29

2.3 Le programme BEST - La mesure des précipitations depuis l'espace 33

2.3.1 Radar "Pluie" du projet BEST 33

2.3.2 Stéréoradar Spatial 35

**2.4 Exploitation Scientifique de FRONTS 87** 36

2.4.1 Etude de la bande étroite de FRONT Froid de la POI 8 36

2.4.2 Etude des mécanismes dynamiques à l'origine de l'organisation en bande larges de moyenne échelle (~ 100 km) des précipitations 36

2.4.3 Caractérisation des oscillations de vent associées à un passage frontal (POI 8) 37

2.4.4 Intéraction d'échelles 37

2.4.5 Rôle du Jet de basse couche et des mécanismes dynamiques associés, sur la dynamisque interne de la BEFF et sur la structure horizontale et verticale de la surface frontale 45

2.4.6 Microphysique dans une bande large 45

2.4.7 Les ondes associées aux passages frontaux 45

2.4.8 Les circulations agéostrophiques déduites des données du réseau de radars ST 45

**B. Perspectives** 45

**2.5 PROUST** 45

**2.6 ASTRAIA : Campagnes futures** 46

**2.7 BEST et le stéréoradar Spatial** 46

**2.8 Exploitation des campagnes passées** 46

**3. SCIENCES POUR L'OBSERVATION DE LA TERRE** 49

**Introduction** 49

**A. Résultats** 49

**3.1 Physique de l'atmosphère et couche limite planétaire** 49

3.1.1 Ecoulements à moyenne échelle 49

3.1.2 Expertises en sondage acoustique 50

3.1.3 Mesures des précipitations par sondages hyperfréquence 50

**3.2 Bilan énergétique à l'interface océan/atmosphère** 51

3.2.1 Mesures de l'évaporation par observations spatiales 51

3.2.2 Physique des vagues 51

**3.3 Bilan énergétique à l'interface continentale et hydrologie spatiale** 52

3.3.1 Mobilisation du fonctionnement sol/plante 52

3.3.2 Hydrologie spatiale 52

**3.4 Développement instrumental** 53

3.4.1 Sondage hyperfréquence ATSR/M 53

3.4.2 Observation par radars aéroportés 53

3.4.3 Imagerie par Radar à Ouverture Synthétique 58

3.4.4 Sondages acoustiques 58

**B. Perspectives** 59

**3.5 Physique de l'atmosphère et couche limite planétaire** 59

**3.6 Bilan énergétique à l'interface Océan/Semaphore** 59

3.6.1 Les campagnes Sofia/Semaphore 59

**3.7 Bilan énergétique à l'interface continentale et hydrologie spatiale** 60

**3.8 Développement instrumental** 60

**4. ENVIRONNEMENTS IONISES TERRESTRE ET PLANETAIRES** 61

**Introduction** 61

**A. Résultats** 61

**4.1 Convection et dynamique à grande échelle** 61

4.1.1 Etude expérimentale de la convection à grande échelle 62

4.1.2 Vents neutres 63

4.1.3 Modélisation de la convection à grande échelle 63

4.1.4 Etude instantanée de la convection 63

4.1.5 Echappement ionosphèrique 67

4.1.6 Etudes globales à l'échelle planétaire 68

**4.2 Structures à petite echelle et sous-orages magnétosphérique** 68

4.2.1 Turbulence électrostatique 68

4.2.2 Turbulence magnétique et structures de courants 69

4.2.3 Accélération parallèle des électrons 69

4.2.4 Effects ionosphèrique des précipitations : observation conjuguées EISCAT - VIKING 73

4.2.5 Structures d'arcs 73

4.2.6 Déclenchement des sous orages magnétosphèriques 73

**4.3 Etude des frontières magnétosphèrique** 73

4.3.1 Ondes dans le préchoc électronique 74

4.3.2 Onde de choc en amont de la Terre 74

4.3.3 Instabilité de Kelvin - Helmholtz 74

4.3.4 Role des fluctuations à petite échelle, dans le transfert de masse à travers la magnétopause 75

**4.4 Intéractions ondes-particules** 75

4.4.1 Intéraction entre les électrons énergétiques et le mode sifflement 75

4.4.2 Chauffage des ions ionosphèriques 76

4.4.3 Rayonnement non thermique 76

**4.5 Système solaire** 77

4.5.1 Bruit thermique dans les chocs interplanétaire 77

4.5.2 L'expérience ondes à bord de la sonde ULYSSE 77

4.5.3 L'intéraction vent solaire - atmosphère cométaire 77

4.5.4 La sonde GALILEO 77

4.5.5 Pression du plasma dans la magnétosphère de JUPITER 81

**4.6 Activité de service : le service international des indices géomagnétiques** 81

**4.7 Préparation du programme CLUSTER** 81

**B. Conclusions et Perspectives** 85

**5. ELECTROMAGNETISME, THEORIE DES COMMUNICATIONS ET PROPAGATION** 87

**Introduction** 87

**A. Résultats** 87

**5.1 Propagation** 87

5.1.1 Propagation en ondes centimétrique 87

5.1.2 Effets des hydro-météores 88

5.1.3 Propagation pour les radiocommunications personnelles cellulaires et microcellulaires 93

**5.2 Traitement du signal** 95

5.2.1 Algorithmes rapides 95

5.2.2 Analyse spectrale haute résolution et traitement d'antennes 96

**5.3 Valorisations et collaborations** 96

**B. Perspectives** 97

**5.4 Propagation** 97

5.4.1 Trajets multiples 97

5.4.2 Effets des hydro-météores 97

5.4.3 Propagation pour les radiocommunications personnelles 97

**5.5 Traitement du signal** 97

5.5.1 Algorithmes rapides 97

5.5.2 Analyse spectrale haute résolution et traitement d'antennes 98

**6. DEVELOPPEMENTS INSTRUMENTAUX** 99

**6.1 Radars et sodars** 100

6.1.1 Radars strato-troposphériques (PROUST et INSU/METEO) 100

6.1.2 Le radar météorologique RONSARD 100

6.1.3 Les radars d'observation de la terre (RESSAC et RENE) 100

6.1.4 Le système OCARINA 105

6.1.5 Le radar embarqué ASTRAIA/ELDORA 105

**6.2 Liaisons hertziennes et instruments associés** 105

6.2.1 Sondeur de canal de liaison avec les mobiles à 2 GHz 110

6.2.2 Diffusiomètre 110

6.2.3 Les instruments de meusre impliqués dans l'expérience OLYMPUS 110

**6.3 Les expériences embarquées sur satellites** 113

6.3.1 Radiomètre ATSR/M 113

6.3.2 Mesure du champ magnétique terrestre (expériences embarquées sur satellite) 113

6.3.3 Coordination CLUSTER/WEC 114

6.3.4 INTERBALL - HYPEROBLOID 115

**7. MOYENS INFORMATIQUES** 117

**7.1 Rôle, mission et sturcture du département informatique** 117

**7.2 L'évolution des moyens informatiques** 117

**7.3 Les quatre mondes informatiques du laboratoire** 117

**7.4 Les faits principaux depuis deux ans** 125

7.4.1 Mise en oeuvre de systèmes informatiques 125

7.4.2 Etude de l'information du site de Vélizy 125

7.4.3 Dépouillement scientifique 125

7.4.4 Temps réel 125

7.4.5 Evolution du personnel 126

**7.5 Perspectives à plus long terme** 126

**Annexe 1 BIBLIOGRAPHIE** 127

**Annexe 2 LISTE DU PERSONNEL** 171

# 1. INTRODUCTION

Ce rapport d'activité est un rapport à deux ans, l'Unité Mixte CNET-CNRS C0118 (CRPE) ayant été renouvelée pour quatre ans à compter du 1er janvier 1990. Il contient un compte-rendu de l'activité du laboratoire couvrant la période 1989-1990, avec extension sur la première moitié de 1991, à l'intention du Comité National du CNRS, et pour examen par le Comité Scientifique et le Conseil d'Administration du CRPE.

Le corps du rapport est divisé en six parties, couvrant respectivement les domaines suivants:
- Physique de l'atmosphère neutre
- Sciences pour l'observation de la Terre
- Physique de l'environnement ionisé
- Sciences pour les télécommunications

et décrivant les réalisations marquantes concernant :
- les développements instrumentaux,
- les moyens informatiques.

Chaque partie est elle-même divisée en deux sections: dans la première sont présentés les résultats obtenus tandis qu'on s'attache à décrire, dans la seconde les perspectives de développement pour les années à venir.

Les annexes concernent la liste des publications, conférences et brevets et la liste du personnel du laboratoire.

Un rapport administratif et financier séparé permettra aux organismes de tutelle de contrôler a posteriori l'utilisation faite des moyens attribués au laboratoire.

Dans la présente introduction, sont brièvement rappelées les missions et structures du laboratoire, les réalisations et des résultats saillant sont mentionnés avec projection vers l'avenir, et les actions de formation et de valorisation sont mises en évidence. Les principaux problèmes que le laboratoire rencontre dans l'exécution de ses missions sont également exposés.

## 1.1. LES MISSIONS DU CRPE ET SA STRUCTURE

Les principes de fonctionnement et les missions du CRPE ont été précisés dans un protocole d'accord passé le 8 août 1988 entre le CNET et le CNRS.

Les études du CRPE s'organisent selon trois axes :

- Etude de l'atmosphère terrestre et des échanges sol-atmosphère et océan-atmosphère,

- Etude de l'environnement ionisé de la Terre et des planètes et du vent solaire,

- Etudes fondamentales en télécommunications (propagation électromagnétique, traitement du signal).

Les deux premiers axes concernent des recherches sur les processus physiques qui interviennent dans la constitution et la dynamique de l'environnement terrestre et planétaire ainsi que sur les moyens de quantifier ces processus et éventuellement d'en prévoir l'évolution à l'aide de nouveaux équipements de mesure, situés au sol ou embarqués à bord de véhicules aériens ou spatiaux. Ils relèvent principalement de la recherche fondamentale sur l'environnement et à ce titre font l'objet d'une attention particulière de la part du CNRS (département TOAE et INSU). Ils reçoivent également le soutien d'organismes extérieurs (DMN, CNES, ESA, DRET,...). Le CNET y est intéressé dans la mesure où ces études permettent de mieux connaître le milieu de propagation et ses perturbations, ou bien s'appuient sur des techniques de pointe (techniques spatiales, hyperfréquences,...).

Le troisième axe concerne l'étude des mécanismes liés à l'environnement, naturel ou artificiel (urbain) qui ont une influence sur la qualité des transmissions radioélectriques en espace libre et l'élaboration de nouveaux algorithmes de traitement du signal permettant d'améliorer les techniques de transmission de l'information. Il est soutenu essentiellement par le CNET avec un intérêt du CNRS (département SPI) pour l'aspect traitement du signal.

Au titre des missions générales du laboratoire, il convient de mentionner particulièrement la formation aux techniques de la recherche de jeunes diplômés d'Université ou d'Ecoles d'Ingénieurs et la valorisation en vue d'applications industrielles des résultats de recherche.

Le laboratoire est divisé en cinq départements scientifiques et trois départements techniques (voir organigramme, tableau 1) :

- Atmosphère Basse et Moyenne (ABM): 20 agents
- OBservation de la Terre (OBT): 21 agents
- Electrodynamique des Milieux Ionisés (EMI): 21 agents
- Ondes dans les Plasmas Naturels (OPN): 18 agents
- Electromagnétisme, Théorie de la Communication et Propagation (ETP): 23 agents
- Instrumentation Terrestre et Spatiale (ITS): 35 agents
- Traitement Informatique des Données (TID): 22 agents
- Moyens Généraux et Comptabilité (MGC): 18 agents

La liste des personnels affectés à chaque département est donnée en annexe.

Ce personnel est réparti sur deux sites géographiques: le Centre National d'Etudes des Télécommunications à Issy-les-Moulineaux (92) et le campus de l'Observatoire de Saint-Maur-des-Fossés (94). Le CRPE est également responsable d'un site d'expérimentation à Saint-Santin-de-Maurs (15) pour les expériences atmosphériques mettant en jeu des émissions radioélectriques à forte puissance et d'une station d'étalonnage d'antennes magnétiques sur les terrains de l'Observatoire de Chambon-la-Forêt (45).

## 1.2. ACTIVITES, RESULTATS, DEVELOPPEMENTS ET EVOLUTION

### 1.2.1. Physique de l'atmosphère neutre

En parallèle avec trois grands programmes de développement instrumental, des progrès notables ont été enregistrés dans la compréhension des processus météorologiques à moyenne échelle, en air clair et au sein de systèmes nuageux.

La période considérée couvre la partie essentielle du dépouillement scientifique de l'expérience franco-anglaise *"FRONTS 87"*, avec le développement d'une expertise reconnue au niveau international en dynamique frontale. On note en particulier l'obtention de résultats nouveaux sur l'interaction microphysique-dynamique-thermodynamique dans la bande étroite de front froid et sur les mécanismes d'organisation en bandes des précipitations. Elle est également marquée par la participation à trois campagnes de mesure: l'une associe un radar S.T. (V.H.F.) et un radar *RONSARD* pour l'étude des effets de cisaillement de vent sur les basses couches, la seconde, l'expérience *PYREX*, est destinée à observer l'effet de la barrière pyrénéenne sur l'écoulement météorologique de méso-échelle. La troisième concerne la participation de l'équipe ST au programme européen TOASTE d'étude des interactions troposphère-stratosphère

Les programmes de développement instrumental sont de trois types:

- le radar S.T. à haute résolution *"PROUST"* qui a permis d'atteindre fin 1990 une résolution verticale de 30 mètres et dont la puissance et les spécifications techniques, en cours d'amélioration, en font un outil de pointe pour l'observation de la troposphère et de la stratosphère en air clair

- le programme de radar doppler aéroporté bi-faisceau qui représente une percée technologique reconnue au niveau mondial et qui devrait devenir un outil de choix pour l'étude de la dynamique des nuages. Un accord CRPE-NOAA a permis de développer et d'installer en juillet 1991 une première antenne bi-faisceau sur l'avion P3 américain, qui sera testée en août 1991 dans une expérience d'étude des cyclones tropicaux. Le programme *ASTRAIA*, entrepris conjointement par le CRPE (financement CNES-CNET-INSU-METEO) et le NCAR, doit aboutir en 1992 à l'installation d'un radar bi-faisceau performant sur l'avion de recherche *ELECTRA*. Ceci a été l'occasion de la signature d'un contrat entre le CNET, le CNRS et l'UCAR (University Corporation for Atmospheric Research). Ce contrat prévoit un programme de recherche coordonné franco-américain étalé sur une dizaine d'années, avec comme première étape, une participation à l'expérience internationale *TOGA-COARE* fin 1992 pour l'étude de la dynamique des systèmes convectifs au-dessus des océans tropicaux.

- les études de faisabilité de la mesure des précipitations depuis l'espace. A ce titre le CRPE est responsable de l'étude du radar pluie du projet *BEST* qui arrive en fin de phase A au CNES et, avec le soutien de l'ESA/ESTEC, a envisagé d'étendre à des mesures depuis l'espace le concept de stéréo-radar développé au départ pour des observations aéroportées.

Le programme "atmosphère neutre" du CRPE met en évidence la complémentarité de compétence des équipes techniques bénéficiant d'un fort soutien CNET et des équipes scientifiques mondialement reconnues sur les plans théoriques et de physique de la mesure. L'organisation à Paris, en juin 1991, de la Conférence Internationale pour la Météorologie Radar, où 13 communications ont été présentées par le laboratoire, illustre la prééminence scientifique du CRPE dans ce domaine.

### 1.2.2. Sciences pour l'observation de la Terre

Le département Observation de la Terre (OBT) qui date de 1988 a poursuivi une expansion rapide dans l'application des techniques de télédétection à l'étude des ressources continentales renouvelables et des échanges entre

l'océan et l'atmosphère. Comme précédemment, l'activité s'équilibre entre des développements instrumentaux de pointe, la physique de la mesure et la physique des processus. La physique des échanges aux interfaces (eau-atmosphère et sol-biosphère-atmosphère) est complétée de façon naturelle par des recherches sur la dynamique de la couche limite planétaire.

Au cours des deux dernières années, les instruments radar du CRPE ont connu une évolution remarquable. Le radar *ERASME* en version bi-fréquence et bi-polarisation a fait ses premières sorties sur le bassin de l'Orgeval en 1989 et permet maintenant de donner des informations sur la biomasse (surfaces cultivées) et sa structure verticale (forêts), la rugosité et l'humidité du sol. Le radar à vagues *RESSAC* a été construit et testé en Mer de Norvège (début 1990), et a participé début 1991 à la campagne *SWADE* d'étude des vagues et de l'interaction océan-atmosphère sur l'Atlantique Nord. Une méthode originale de détermination du spectre des vagues a été développée et validée. Un troisième radar aéroporté, en version polarimètre, baptisé *RENE*, en mémoire de René BERNARD, éminent chercheur du laboratoire tragiquement disparu au début de l'année 1990, a été testé au printemps 91. Il est destiné à améliorer les méthodes de restitution des propriétés des sols et de la biomasse. Mis à part les développements radar, de nouveaux instruments de mesure rapprochée ont été mis au point en vue des prochaines campagnes océanographiques, un sondeur acoustique Doppler baptisé *OCARINA* stabilisé par gyroscope et un hydrophone pour la mesure des caractéristiques de surface de l'océan.

Une partie importante du travail scientifique consiste à développer des techniques expérimentales de mesure des paramètres physiques de l'environnement, qui sont testées et mises en oeuvre lors de campagnes coordonnées. Dans ce domaine, la théorie de la mesure est indissociable de la compréhension physique des phénomènes, et fait appel à des études complexes d'interaction entre ondes électromagnétiques et matière et de modélisation des processus dans lesquelles le CRPE a acquis une expertise largement reconnue dans la communauté internationale.

Au niveau des expériences et des résultats scientifiques marquant dans la période 1989, début 1991, on notera :

- l'exploitation scientifique des campagnes concernant la couche limite continentale à méso-échelle (*MESOGERS*, *HAPEX-MOBILHY*) et sur relief (participation à *PYREX*, automne 1990),

- le développement et la validation de méthodes d'estimation du contenu en vapeur d'eau et en eau liquide de l'atmosphère à partir de mesures hyperfréquence (données aéroportées et satellite),

- l'utilisation d'observations spatiales (essentiellement *SMMR* du satellite *NIMBUS 7* et *SMMI* du satellite *DMSP*) pour déterminer les termes du bilan énergétique à l'interface océan-atmosphère,

- l'exploitation scientifique de l'expérience *SWADE* pour l'étude du spectre directionnel des vagues en fonction du fetch et des conditions météorologiques,

- la modélisation du système sol-plante pour la détermination des flux aux interfaces sol-biosphère-atmosphère,

- l'application de mesures aériennes et spatiales à l'étude du bilan hydrique des sols.

Enfin un événement particulièrement marquant mérite d'être souligné, aboutissement d'un effort technique et scientifique de plusieurs années: le lancement en juillet 1991 du radiomètre *ATSR/M*, développé au CRPE, sur le satellite *ERS-1*, et la qualité des premières mesures que nous en avons reçues.

Le plan de charge des équipes OBT pour les prochaines années est particulièrement fourni grâce à l'arrivée à maturité des instruments développés jusqu'à maintenant.

Les études de couche limite planétaire sont maintenant orientées vers la couche limite marine, en coordination avec plusieurs autres laboratoires français. Il convient de citer la participation importante prévue à la campagne *SOFIA-ASTEX* au large des Açores (juin 92) et focalisée sur la mesure et l'intégration spatiale des flux verticaux. La seconde campagne, *SEMAPHORE*, prévue dans la même région en automne 93, associera la dynamique océanique et atmosphérique à méso-échelle.

En télédétection océanique proprement dite, un gros effort portera sur l'analyse des résultats d'*ERS-1* avec la participation aux campagnes de validation. Un projet d'utilisation de données spatiales est également prévu comme participation à l'expérience *TOGA-COARE*.

En télédétection au-dessus des continents, plusieurs campagnes, dont la première est prévue début 1992 sur la forêt tropicale (Guyane) permettront de développer l'expertise en observation radar aéroporté et en hydrologie spatiale. Elles seront menées en parallèle avec l'effort de modélisation des échanges biosphère-atmosphère.

Les développements instrumentaux vont se poursuivre dans le cadre des expériences prévues et en vue également d'acquérir une expertise en radar à ouverture synthétique. On notera également la participation du CRPE comme conseil lors de la fabrication du sondeur hyperfréquence construit par une société autrichienne pour *ERS-2*.

### 1.2.3. Physique de l'environnement ionisé

L'étude des environnements ionisés de la Terre, des corps du système solaire et du vent solaire reste un des thèmes principaux de recherche du CRPE, et dans lequel l'expertise des équipes de recherche est reconnue de longue date.

Les études portent principalement sur :

- la convection magnétosphérique et ionosphérique à grande échelle,
- la structure à petite échelle et les mécanismes d'accélération de particules et de génération d'ondes,
- la nature et la dynamique des zones frontières, magnétopause et choc d'étrave de la magnétosphère,
- la théorie et la modélisation des interactions ondes-particules dans les plasmas non collisionnels.

Ces études se rapportent en premier lieu à l'environnement terrestre grâce aux moyens sol, le radar incohérent *EISCAT* et, depuis le début 1990, le radar HF franco-américain *SHERPA* situé au Labrador (dont la maîtrise d'oeuvre est assurée par le Laboratoire de Sondages Electromagnétiques de l'Environnement Terrestre, LSEET, Toulon). Elles utilisent également les banques de données provenant des expériences spatiales passées (*GEOS*, *ISEE*, *AUREOL 3*) et *VIKING* dont le dépouillement a été poursuivi et grâce auquel a été mis en évidence un mécanisme de génération du rayonnement kilométrique auroral.

Cependant l'intérêt porté aux études non terrestres a crû avec la participation aux expériences spatiales *GIOTTO* (1986), *GALILEO* (lancée en octobre 1989) et *ULYSSE* (lancée en novembre 1990).

Les études cométaires, liées aux résultats originaux de *GIOTTO* ont amené à une phase de modélisation de l'interaction vent solaire-atmosphère cométaire. *GALILEO*, pour laquelle le CRPE a participé à l'expérience ondes dans les plasmas, a rapporté lors de son passage près de la Terre en décembre 1990, des informations sur des sifflements, provenant probablement de décharges électriques et de foyers orageux dans l'atmosphère de Vénus, et a produit une remarquable coupe radiale de la magnétosphère terrestre. *ULYSSE*, avec à son bord des magnétomètres alternatifs du CRPE, a déjà apporté des informations précieuses sur les ondes de choc dans le milieu interplanétaire.

En parallèle avec les études expérimentales et théoriques s'y rattachant, l'activité modélisation numérique s'est développée de façon notable dans les dernières années. Elle s'avère un complément précieux pour confirmer ou infirmer l'interprétation de résultats d'observation et pour planifier les expériences futures en mettant en avant les points critiques. L'obtention d'un contrat CEE en modélisation, et pour lequel le CRPE joue le rôle de coordinateur au niveau européen, démontre la reconnaissance internationale de l'équipe concernée.

La planification nécessaire des expériences spatiales assure au CRPE un plan de charge très honorable pour les années à venir. L'exploitation des résultats de *GALILEO* et *ULYSSE* sera dans une phase intense au cours des prochaines années. La préparation des instruments sur *INTERBAL*, lancement prévu fin 1992, est en bonne voie, avec un démarrage des autres projets d'étude de la haute atmosphère terrestre, *G.G.S.* (Global Geo Science) de la NASA et *CLUSTER* de l'ESA pour lequel le CRPE joue le rôle de coordinateur pour l'expérience *ONDES*. La préparation de l'instrumentation sur *MARS 94* (deux expériences CRPE) est également en bonne voie malgré certains aléas du projet du côté soviétique. Les expériences prévues ou en cours mettent en valeur la qualité des équipes techniques du laboratoire mais servent aussi de catalyseur aux efforts théoriques et de modélisation. Cette symbiose entre les recherches de modélisation et les développements instrumentaux est particulièrement bien illustrée par le projet *CLUSTER* (lancement fin 1995) qui donne lieu à des innovations sur le développement de techniques nouvelles, à des études préparatoires de simulation de la réponse des instruments et à des simulations d'ensemble des résultats scientifiques attendus. A plus long terme, les expériences plasmas du CRPE ont été retenues fin 1990 pour le projet NASA-ESA d'exploration du système saturnien *CASSINI* (lancement 1995, arrivée vers 2002) et sur le projet de rendez-vous cométaire *CRAF* (lancement également prévu actuellement en 96).

En parallèle avec le développement des projets spatiaux en orbite terrestre, les projets sols vont se développer dans les années à venir au niveau européen. Le CRPE est impliqué dans le projet de radar polaire européen au Spitzberg (*POLAR CAP*) qui fera suite à *EISCAT*, et dans l'installation d'un réseau de radars HF cohérents (projet *SUPER DARN*) dans la perspective ouverte par *SHERPA*.

### 1.2.4. Sciences pour les télécommunications

Les recherches en sciences pour les télécommunications recouvrent deux domaines : la propagation non guidée et ses perturbations par l'environnement naturel ou artificiel et le traitement du signal. Bien que se voulant des études amont, ces recherches sont motivées par le désir de répondre aux besoins des télécommunications.

L'objectif essentiel des études de propagation est de caractériser les processus physiques à même de perturber les ondes électromagnétiques et de déterminer les paramètres pertinents en vue de permettre le développement des méthodes de prévision de la qualité des liaisons radioélectriques.

Une bonne illustration de la démarche suivie est fournie par l'ensemble des expérimentations et des analyses qui ont été consacrées à l'effet des trajets multiples sur les liaisons hertziennes centimétriques au cours du programme *PACEM* (Programme en Air Clair et Météorologie) qui va se terminer cette année. L'analyse des mesures effectuées au cours de trois campagnes a permis de développer un modèle statistique du canal de propagation et de construire sur celui-ci une méthode de prévision de la qualité des liaisons. Les valeurs numé-

riques de certains coefficients de la méthode, obtenues empiriquement, ont pu être améliorées en utilisant des mesures très simples sur des liaisons du réseau opérationnel (expérience Achille menée d'avril 1989 à mars 1991). En même temps, un important travail théorique d'interprétation et de simulation par tracé de rayons a permis de justifier les modélisations choisies et d'interpréter l'influence de certaines caractéristiques physiques comme la hauteur des antennes ou la présence de gradients horizontaux de la réfractivité troposphérique. Ce travail est original et amplement reconnu au plan international

L'effort en propagation troposphérique porte maintenant sur des fréquences plus élevées qui serviront notamment aux futures liaisons par satellite. Le volet expérimental est constitué ici par la participation au projet européen *OLYMPUS*, satellite de l'ASE lancé en juillet 1989 embarquant des balises à 20 et 30 GHz, et par une liaison horizontale à 94 GHz. Dans cette gamme de fréquences c'est l'influence des hydrométéores qui est la source principale de perturbation. La participation au programme Olympus qui permettra de caractériser l'affaiblissement et la dépolarisation sur la liaison satellite-Terre est menée en étroite collaboration avec le groupement STS du CNET qui gère la station de Gometz-la-Ville. Le CRPE dispose d'une station de réception transportable plus petite et assume la responsabilité d'un radiomètre multifréquence et des moyens météorologiques destinés à la description fine de la pluie, radar 3 cm, spectropluviomètre. La liaison *DALEMBERT 94 GHz* a, elle été conçue pour permettre d'observer la diffusion latérale par la pluie grâce à un système d'antennes tournantes. Enfin, un dispositif original de détection et d'identification automatique des hydrométéores basé sur des techniques hyperfréquences fait l'objet d'une convention avec la Direction de la Météorologie. L'ensemble de ces expériences s'appuie sur des études théoriques, notamment sur la diffusion multiple par les hydrométéores.

L'activité en matière de propagation pour les radiocommunications avec les mobiles progresse rapidement, en collaboration avec les départements SHM et STS du CNET. Une première phase expérimentale a permis d'étudier la propagation à 900 MHz dans un contexte cellulaire (distance émetteur-récepteur de quelques kilomètres). Un dispositif de mesure original monté sur un véhicule léger comprenant notamment une antenne déplaçable a été développé à cette occasion. L'intérêt se porte maintenant sur une gamme de fréquences plus étendue (bande de 1 à 3 GHz) dans des environnements plus variés (réseaux microcellulaires, propagation à l'intérieur des bâtiments, communications entre véhicules dans le cadre du programme européen *PROMETHEUS-PROCOM*). A nouveau, les analyses statistiques des mesures sont complétées par une compréhension de la physique des phénomènes en effectuant des études de simulation par tracé de rayons (convention avec le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) et des études sur la théorie géométrique de la diffraction, avec des comparaisons entre les résultats théoriques et expérimentaux.

Il faut souligner les liens qui existent entre les études de propagation pour les télécommunications et les activités des autres départements du CRPE travaillant sur l'environnement neutre. Leurs compétences en radar-météorologie et en radiométrie ont facilité les développement des moyens expérimentaux pour le programme Olympus. En outre, et bien que les problématiques soient souvent différentes, les études de propagation menées de part et d'autre recouvrent des sujets d'intérêt commun, électromagnétisme, étude de la pluie, influence de la végétation.

L'autre volet du département ETP, qui concerne l'activité en Traitement du Signal, couvre des aspects d'une part très théoriques, d'autre part appliqués aux Télécommunications, et s'intègre particulièrement bien dans un laboratoire commun CNET/CNRS. Cette activité ressort cependant du secteur SPI, et peut-être serait-il souhaitable qu'elle soit examinée prioritairement par celui-ci.

La compétence de l'équipe est reconnue au niveau international dans les domaines des algorithmes rapides et de l'analyse spectrale appliquée à l'étude des trajets multiples. En plus de ces deux domaines, ses recherches portent maintenant sur le filtrage adaptatif (application en annulation d'écho et en égalisation) et les transformées en ondelettes (pour l'analyse des signaux et la compression d'images).

Des résultats récents ont été, au niveau théorique, l'établissement de bornes de complexité de calcul pour certaines transformées orthogonales (Fourier, Cosinus), de nouveaux algorithmes de traitement d'antennes, et d'estimation de "régularité" pour les ondelettes. Au niveau pratique, les algorithmes adaptatifs que nous avons élaborés ont été évalués dans le cadre de l'annulation d'échos acoustiques (animation d'un projet du GRECO TDSI sur l'identification de réponses impulsionnelles longues), et nous avons pu dériver des algorithmes efficaces de filtrage rapide plus simples à mettre en œuvre que ceux à base de FFT. Plusieurs brevets ont valorisé le travail de cette équipe, qui a fait une percée dans la communauté scientifique.

Dans l'avenir les études de propagation troposphérique continueront à se focaliser sur l'effet des hydrométéores avec les programmes *OLYMPUS* et *DALEMBERT 94 GHz*, où les importants développements expérimentaux de ces dernières années devraient porter leurs fruits sur le plan scientifique. Les études relatives aux radiocommunications avec les mobiles verront leur importance croître en particulier avec la participation à un projet CNET sur les nouveaux systèmes de "communications personnelles", participation qui fera appel à l'ensemble de l'expertise du département ETP en propagation et en traitement du signal. Un des aspects nouveaux consistera en la caractérisation de la propagation pour des liaisons mobiles par satellites géostationnaires ou défilants, avec la mise en œuvre de moyens expérimentaux dérivés de ceux utilisés pour les liaisons terrestres.

En traitement du signal proprement dit, la dualité travail théorique/applications sera maintenue, les travaux en filtrage adaptatif étant valorisés dans le domaine des mobiles, et ceux sur les ondelettes et les transformées orthogonales étant appliqués au codage d'image.

## 1.3. INTEGRATION DANS LA COMMUNAUTE SCIENTIFIQUE, FORMATION ET VALORISATION

Les grandes orientations scientifiques du CRPE ayant été précisées, il convient d'identifier certains aspects de son activité qui illustrent l'intégration du laboratoire dans la communauté scientifique, au niveau national et international, et son rôle dans la formation scientifique et dans la valorisation de ses résultats.

### 1.3.1. Intégration dans la communauté scientifique

La production scientifique proprement dite (Tableau 4 et Annexe 1) se maintient en moyenne à un niveau honorable malgré quelques modulations au niveau des départements. Il convient cependant de renforcer l'effort sur les publications malgré le plan de charge des équipes engagées dans les grands programmes expérimentaux.

En outre, il est intéressant de voir en quelle mesure les membres du laboratoire participent à la coordination ou à l'administration de la recherche au niveau national et international. Le tableau 2, qui présente l'implication des membres du laboratoire dans les comités nationaux et internationaux de coordination de la recherche et leur rôle dans l'administration de la recherche au sens large, en donne une bonne idée. On notera un engagement croissant dans les instances internationales en particulier dans les projets européens. Cette tendance devra être encouragée dans les années à venir.

L'importance de la coopération avec d'autres organismes nationaux ou étrangers peut être appréhendée grâce au tableau 3 qui résume les principales relations contractuelles et collaborations avec d'autres organismes à l'exclusion du CNRS, du CNET et du CNES. Dans la majorité des cas, ces relations s'établissent dans le cadre de projets finalisés. Il est sans doute souhaitable d'étendre de telles coopérations par des échanges de personnel scientifique ou de savoir faire.

Un autre aspect des relations du laboratoire avec l'extérieur concerne les séjours de visiteurs étrangers (tableau 7). Cette liste ne prend pas en compte certaines visites de courte durée donnant lieu par exemple à un séminaire ou des discussions informelles avec les équipes ni les visites de chercheurs français. La liste des séminaires formels ou informels au laboratoire pour le premier semestre 1991 est donnée dans l'annexe 1.I. Le tableau 8 donne une liste, des principaux congrès ou conférences organisés par des membres du CRPE.

### 1.3.2. Enseignement et formation

L'activité "formation" du laboratoire se traduit d'abord par une participation importante dans les enseignements universitaires, en premier lieu le DEA *Méthodes Physiques en Télédétection* pour lequel le CRPE joue le rôle de laboratoire pilote (organisation, enseignement sous forme de cours magistraux ou de travaux pratiques). De plus les chercheurs du CRPE assument la direction de nombreux stages et thèses dans cette discipline. Le CRPE joue également un rôle croissant dans les DEA *Physique des Gaz et Plasmas* (P.G.P.) et d'*Astrophysique* pour lesquels il est laboratoire d'appui (avec co-responsabilité officielle en ce qui concerne P.G.P.). Les tableaux 5a et 5b résument l'activité enseignement des membres du CRPE. On notera en particulier également l'implication de plusieurs personnes dans l'enseignement "*Télécommunications*" à l'ENST et Paris XIII. Il est prévu de renforcer considérablement la participation du CRPE à l'enseignement dans le cadre de la convention d'association avec l'Université de Versailles Saint-Quentin, ceci dans les domaines de l'environnement neutre et ionisé, de la télédétection et des télécommunications.

L'activité formation par la recherche reste bien entendu une des missions principales du laboratoire, en incluant les stages de DEA, les stages grandes écoles ou maîtrise et les thèses; l'ouverture vers la recherche doit pouvoir se faire avant l'université et le laboratoire a par exemple participé en 1991 au programme "*ouverture du lycée sur la recherche*" lancé par le rectorat de l'Académie de Créteil au titre duquel quatre professeurs de lycée ont effectué un stage d'une semaine sous la direction de chercheurs ou ingénieurs du CRPE. La liste des thésards du laboratoire pour la période considérée est donnée dans le tableau 6 et le nombre des thèses soutenues dans le tableau 4. Il est à remarquer que le recrutement de jeunes chercheurs surtout de nationalité française est de plus en plus difficile. Mise à part la barrière que représente la faiblesse du recrutement au CNRS, il apparaît que les jeunes sont attirés de plus en plus après le DEA et après la thèse vers des carrières nettement plus rémunératrices. Une modulation est à apporter en fonction des domaines scientifiques, mais il est clair que les carrières de recherche n'attirent pas nécessairement les meilleurs candidats.

Le laboratoire se préoccupe également d'assurer et d'améliorer la formation de ses chercheurs grâce à l'assistance aux divers congrès et écoles ainsi que celle des ITA en leur procurant le plus grand nombre possible de stages organisés par le CNRS et le CNET, voire, le cas échéant, par des sociétés privées.

Le personnel suit un nombre raisonnable de stages de formation, organisés par le CNET et le CNRS ou, pour certaines techniques de pointe, par exemple en informatique, on est amené à faire appel à des formations payantes privées.

### 1.3.3. Valorisation

L'aspect valorisation de la recherche est systématiquement encouragé au CRPE dans les domaines où celle-ci est possible. Ceci est surtout le cas en ce qui concerne les recherches en télécommunication où des dépôts de brevet ont lieu pratiquement chaque année (cf. Annexe 1.H). On remarque en particulier le thème "*traitement du signal*" dont l'activité quoique théorique, conduit à de applications industrielles. La technique d'identification des hydro-météores a donné lieu à brevet et contrat de développement ultérieur avec la Météorologie Nationale. On notera également que deux brevets ont été déposés par le département OPN en relation avec les développements techniques en recherche spatiale. Le contrat mentionné plus haut avec le Service Technique de la Navigation Aérienne est également un exemple de valorisation du plus grand intérêt.

Dans l'optique valorisation, on peut également souligner que la vocation de l'ensemble du département ETP est une recherche finalisée vers des objectifs mis en avant par le CNET. On mentionnera en particulier l'application des recherches en vue du développement des techniques de communication à très haute fréquence, de communication terre-satellite, des communications avec les mobiles, des techniques de réduction de bruit et d'optimisation en codage d'image. Il convient également de mentionner de manière générale que la pression exercée par les différents projets sur le personnel ITA est certainement un frein à une meilleure valorisation des résultats et des succès techniques.

## 1.4. Problèmes et conclusion

Le présent rapport atteste, nous l'espérons, de la qualité de la production scientifique du CRPE et de l'importance de son implication dans les grands projets nationaux et internationaux. Ceci est rendu possible grâce au soutien financier et en personnel de ses deux organismes de tutelle, le CNET et le CNRS, et à celui qu'il reçoit du CNES pour les projets à vocation spatiale.

Il convient cependant de mentionner certains problèmes qui peuvent compromettre, à terme, l'efficacité de l'activité du laboratoire. Ces problèmes concernent essentiellement le recrutement et la carrière du personnel:

- le manque d'ingénieurs et de techniciens, en particulier dans le domaine de l'électronique et de l'informatique, en regard aux engagements pris dans les différents programmes et par rapport aux effectifs de chercheurs confirmés, ceci malgré un effort récent du CNRS dans le remplacement des départs. Du côté CNET, on notera la difficulté de remplacer certains départs par du personnel de compétence suffisante et une certaine lenteur du système de recrutement. Du côté CNRS, une politique trop stricte des salaires à l'embauche et d'avancement du personnel nuit à la qualité du recrutement; ceci est particulièrement sérieux dans le cas du recrutement d'informaticiens.

- les difficultés de renouveler le potentiel de recherche par le recrutement de jeunes chercheurs entraînent progressivement un vieillissement des équipes. Ceci est lié autant à la pénurie de postes de chercheurs qu'au problème des carrières dans les organismes de recherche, qui ne sont pas assez attractives pour attirer ou retenir certains des meilleurs éléments. Il convient de citer ici également l'absence réitérée de soutien du département SPI, dont le désintérêt pour un laboratoire dont une partie notable des activités sont de son ressort, apparaît d'année en année plus incompréhensible.

La pénurie sévère des locaux à Issy-les-Moulineaux et le besoin et l'intérêt ressentis par les équipes du laboratoire de s'associer plus étroitement avec l'Université ont conduit à négocier une convention de coopération entre le CRPE et l'Université Nouvelle de Versailles/Saint-Quentin. Selon cette convention qui est encore en discussion à l'écriture de ce rapport, le CRPE sera associé au développement des enseignements de l'Université et coopérera avec celle-ci dans un certain nombre de domaines de recherche liés à l'environnement et à la propagation hertzienne. Cette coopération sera accompagnée d'un redéploiement partiel des équipes du CRPE sur un site de l'Université, Vélizy dans un premier temps. A terme, il est attendu de cette association une amélioration de l'enseignement, du recrutement et des débouchés dans les disciplines de pointe couvertes par le CRPE.

Tableau 1

**ORGANIGRAMME DU CENTRE DE RECHERCHES EN PHYSIQUE DE L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE ET PLANETAIRE (CRPE)**
**(Laboratoire commun au CNRS (CO 1180) et au CNET (PAB/RPE)) (183 agents)**

Juillet 1991

Directeur G. SOMMERIA (DR1)
Directeur Adjoint J.J. BERTHELIER (IGIIIC)

Conseiller du Directeur R. GENDRIN (DRE)

Chargé de mission pour les Télécommunications J. LAVERGNAT (Pr)

Département
**A.B.M.**
J. TESTUD (DR1)
Adjoint P. AMAYENC (DR2)

*Physique des écoulements à moyenne échelle*
M. PETITDIDIER (DR2)
*Physique de la mesure et développement instrumental*
F. BERTIN (IGIIIB)

20 agents

Département
**O.B.T.**
D. VIDAL-MADJAR (DR2)
Adjoint A. WEILL (DR2)

***Physique des interfaces océans et continents/atmosphère***
A. WEILL (DR2)
***Instrumentation***
G. CAUDAL (IGC)

21 agents

Département
**E.M.I.**
J.C. CERISIER (Pr)
Adjoint C. TAIEB (DR2)

***Grande Echelle***
D. FONTAINE (CR1)
***Petite Echelle***
R. POTTELETTE (DR2)

21 agents

Département
**O.P.N.**
A. ROUX (DR1)
Adjoint D. LEQUEAU (DR1)

***Vent solaire et planètes***
N. CORNILLEAU (DR2)
***Magnétosphère et phénomènes auroraux***
S. PERRAUT (DR2)

18 agents

Département
**E.T.P.**
J.C. BIC (IGIIIB)
Chargé d'Etudes en Propagation
J.P. MON (Pr)
Responsable des Expérimentations
J.Y. DELAHAYE (IR1)
***Propagation***
M. SYLVAIN (IR1)
***Théorie des communications***
P. DUHAMEL (IGIIIA)
***Canal radio mobiles***
A. LEVY (IGIIIA)
23 agents

Département
**I.T.S.**
F. BAUDIN (IGIIIC)
Chef de Projets Spatiaux B. de la PORTE (IR0)

*Expérimentation Terrestre*
Radars ST — R. NEY (IR1)
Hyperfréquences — A. Le CORNEC (IGII)
Systèmes sol — F. BAUDIN (IGIIIC)

*Expérimentation Spatiale*
Satellites géophysiques — A. MEYER (IR1), G. GOGLY (IR1)

*Logistique* — J. FEVRE (Tint)

35 agents

Département
**T.I.D.**
P. ROBERT (IR1)
Adjoint R. RIGUET (IR2)

***Centres de Calcul Issy***
P. ROBERT (IR1)
***Centre de Calcul St-Maur***
J. PARIS (IE1)
***Temps réel***
R. RIGUET (IR2)
***Dépouillement scientifique***
P. ROBERT (IR1)

22 agents

Département
**M.G.C.**
M. HASSON (AARP)

18 agents

***Explication des sigles***

**A.B.M.** "Atmosphère Basse et Moyenne"
**O.B.T.** "Observation de la Terre"
**E.M.I.** "Electrodynamique des Milieux Ionisés"
**O.P.N.** "Ondes dans les Plasmas Naturels"
**E.T.P.** "Electromagnétisme, Théorie des communications et Propagation"
**I.T.S.** "Instrumentation Terrestre et Spatiale"
**T.I.D.** "Traitement Informatique des Données"
**M.G.C.** "Moyens Généraux et Comptabilité"

## *Tableau 2*

## *Participation aux comités scientifiques et instances internationales et nationales*

Au niveau international :

- *Action COST 231* (Radiocommunications avec les mobiles)
- *AIGA* (Association Internationale de Géophysique et d'Astronomie) : présidence
- *CCIR* (Comité Consultatif International pour les Radiocommunications)
- *Co-responsabilité du Service International des Indices Géomagnétiques*
- *Comité d'Administration d'EISCAT*
- *Comité français du SCOSTEP* (Interaction Soleil-Terre): présidence
- *Comité GEWEX* (Global Energy and Water Experiment) de l'O.M.M.
- *Conseil du COSPAR*
- *Conseil Scientifique d'EISCAT*
- *ETSI* (European Telecom Standard Industry)
- *European Association of Remote Sensing Laboratories*
- *Groupe d'experts M.I.N.R. de l'A.S.E.* (radiométrie hyperfréquence):
- *Société Européenne de Géophysique*: Vice-présidence

Au niveau national :

- *C.N.F.G.G.*: plusieurs membres dont le secrétariat de la section IV et le secrétariat général
- *Comité d'Evaluation des chercheurs* (Météo Nationale)
- *Comité d'Evaluation du Programme National de Télédétection Spatiale*
- *Comité d'Evaluation du Programme Atmosphère Météorologique et Océan Superficiel (PAMOS) de l'INSU*
- *Comité de la Terminologie* (vocabulaire scientifique)
- *Comité des "Sages" pour la prospective INSU en astronomie (1991)*
- *Comité National du CNRS*: membres dans la section 14
- *Comité National Français de Radioélectricité Scientifique* (CNFRS): secrétariat général
- *Comité Scientifique pour le projet BEST* (Bilan Energétique du Système Tropical) du CNES
- *Commission des spécialistes d'Etablissements* (30ème section): présidence
- *Conseil d'Administration de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection*
- *Conseil Scientifique de la Météorologie*
- *Coordination du projet "SEMAPHORE"*
- *G.D.R. Plasmae*: présidence et trois membres
- *G.D.R. Traitement du signal*
- *Ministère de l'Education Nationale, de la Jeunesse et des Sports*: un chargé de mission
- *Ministère de la Recherche et de la Technologie*: un chargé de mission
- *Participation aux groupes ad hoc (Terre-Océan-Atmosphère et Système Solaire) et Comité des Programmes scientifiques du CNES*
- *Programme National de Planétologie*

## *Tableau 3*
## *Collaboration avec organismes extérieurs*

Collaborations contractuelles (hors CNES et programmes INSU)

- *Direction de la Météorologie Nationale :*
  - programme ASTRAIA
  - diffusiomètre
- *Direction des Recherches et Etudes Techniques:*
  - couplage océan-atmosphère
- *Communauté Economique Européenne*
  - simulation numérique des phénomènes magnétosphériques
  - programme TOASTE
  - MATRA/PROMETHEUS
- *Agence Spatiale Européenne:*
  - stéréoradar spatial
- *Commissariat à l'Energie Atomique:*
  - simulation numérique en physique des plasmas
- *Service Technique de la Navigation Aérienne:*
  - étude des cisaillements de vent en approche d'aéroport
- *National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA, USA)*
  - programme antenne bi-faisceau
- *National Center for Atmospheric Research (NCAR, USA)*
  - programme ASTRAIA

Collaboration avec organismes de recherche et universités

- *Université de Western Ontario :*
  - convention d'échanges de stagiaires
- *Université de Leeds:*
  - collaboration dans le cadre du programme franco-anglais "ALLIANCE"
- *DESPA (Meudon): Département de recherche spatiale*
  - expériences ULYSSE, CRAF, CASSINI
- *LPCE (Orléans): Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement*
  - expériences ondes sur CLUSTER et MARS 94
- *Université d'Iowa*
  - expérience ondes sur GALILEO et CLUSTER
- *Université de Berkeley:*
  - expérience ondes sur GALILEO et CLUSTER
- *Université de Sheffield et de Sussex:*
  - expérience ondes sur GALILEO et CLUSTER

- *Danish Space Science Institute et Swedish Institute for Space Science:*
  - expérience ondes sur GALILEO et CLUSTER
- *Royal Institute for Technology (Suède)*
- *MSSL (Grande-Bretagne) : Mullard Space Science Laboratory*
  - expérience plasma PEACE/CLUSTER
- *MSFC (USA) : Marshall Space Flight Center*
  - expérience plasma TIDE/GGS
  - expérience plasma CRIMS/CRAF
- *SWRI (USA): South West Research Institut*
  - expérience plasma CAPS/CASSINI
- *LANL (USA) : Los Alamos National Laboratory*
  - expérience plasma CAPS/CASSINI
- *LSEET (Toulon): Laboratoire de Sondages Electromagnétiques de l'Environnement Terrestre*
  - radars S.T.
  - programme SHERPA
- *Chinese Research Institute on Radiowave Propagation*
- *Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications (ENST, Paris)*
  - traitement du signal
- *CEPHAG (Grenoble): Centre d'Etude des Phénomènes Aléatoires et Géophysiques*
  - sondeur EISCAT
- *DASOP (Meudon): Département d'Astronomie Solaire et Planétaire*
- *Centre Européen de Prévision Météorologique à Moyen Terme*

## Participation aux programmes européens

- *Action COST 231 : Radiocommunications avec les mobiles*
- *CLUSTER :*
  - intégration de l'ensemble des expériences "ondes"
  - coordination du programme de simulation numérique
- *ERS1 : Satellite Européen deTélédétection*
- *OLYMPUS : Programme européen de recherche sur les télécommunications*
- *PROMETHEUS : Programme de recherche sur les communications entre véhicules*
- *ULYSSE : Satellite d'observation du soleil hors de l'écliptique*
- *TOASTE : Interaction troposphère-stratosphère*

# ANALYSE DES PUBLICATIONS PAR DEPARTEMENT

Tableau 4

***ARTICLES PUBLIES DANS LES REVUES A COMITE DE LECTURE***

| | OPN | EMI | ABM | OBT | ETP | CRPE [*] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1987 | 12 | 12 | 5 | 4 | 6 | 39 |
| 1988 | 9 | 11 | 7 | 10 | 7 | 42 |
| 1989 | 8 | 5 | 4 | 5 | 5 | 27 |
| 1990 | 4 | 15 | 9 | 4 | 6 | 38 |

***ACTES DE CONGRES ET OUVRAGES COLLECTIFS***

| | OPN | EMI | ABM | OBT | ETP | CRPE [*] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1987 | 4 | 9 | 4 | 4 | 13 | 34 |
| 1988 | 7 | 3 | 5 | 8 | 16 | 39 |
| 1989 | 8 | 5 | 9 | 3 | 12 | 37 |
| 1990 | 7 | 3 | 6 | 16 | 14 | 47 |

***THESES***

| | OPN | EMI | ABM | OBT | ETP | CRPE [*] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1987 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | 9 |
| 1988 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 5 |
| 1989 | 1 | 1 | 3 | 2 | 4 | 11 |
| 1990 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 7 |

***ARTICLES DE VULGARISATION - FILMS***

| | OPN | EMI | ABM | OBT | ETP | CRPE [*] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1987 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5 |
| 1988 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 5 |
| 1989 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 6 |
| 1990 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

***NOTES TECHNIQUES ET DOCUMENTS INTERNES***

| | OPN | EMI | ABM | OBT | ETP | CRPE [*] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1987 | 3 | 1 | 3 | 2 | 6 | 16 |
| 1988 | 7 | 4 | 4 | 3 | 7 | 28 |
| 1989 | 6 | 4 | 4 | 6 | 5 | 25 |
| 1990 | 3 | 1 | 4 | 3 | 8 | 20 |

***BREVETS***

| | OPN | EMI | ABM | OBT | ETP | CRPE [*] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1987 | 0 | 0 | 0 | | 3 | 3 |
| 1988 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 1989 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1990 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 |

***COMMUNICATIONS A DES CONFERENCES INTERNATIONALES [**]***

| | OPN | EMI | ABM | OBT | ETP | CRPE [*] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1987 | 17 | 15 | 7 | 6 | 1 | 46 |
| 1988 | 7 | 16 | 9 | 9 | 2 | 43 |
| 1989 | 25 | 21 | 8 | 10 | 0 | 63 |
| 1990 | 26 | 15 | 6 | 10 | 1 | 58 |

Départements OPN +EMI = Environnement Ionisé [section 18]
Département ABM = Environnement Neutre [section 19]
Département ETP = Electromagnétisme et propagation [sections 8 & 9]

[*] Tous départements confondus, y compris les départements techniques
Les articles rédigés par des chercheurs appartenant à plusieurs départements ne sont comptés qu'une fois
[**] Seules sont comptées les communications n'ayant pas donné lieu à publication

Tableau 5a

# PARTICIPATION A L'ENSEIGNEMENT ET A LA FORMATION PROFESSIONNELLE
## PERSONNEL UNIVERSITAIRE

| PARTICIPANTS | ORGANISMES | ACTIVITES | DUREE | DATES |
|---|---|---|---|---|
| CERISIER Jean-Jacques | Paris VI | Prof. 1er et 2ème cycle, DEA Physique des Gaz et Plasmas | Mi-temps | Année |
| CREMIEU Annette | Paris VII | Maître de Conférence, PCEM | " | " |
| DUBOIN Marie-Louise | Paris VII | Maître de Conférence, DEUG B | " | " |
| DE FERAUDY Hervé | Paris VII | Maître de Conférence, DEUG, Maîtrise, DEA Télédétection | " | " |
| KLAPISZ Claude | Paris VII | Professeur, Formation des Maîtres et DEA Télédétection | " | " |
| LAVERGNAT Jacques | Paris VII | DEA Méthodes Physiques en Télédétection | | |
| LAVERGNAT Jacques | Paris XIII | Formation d'Ingénieurs Télécommunications | | |
| LOUARN Philippe | Paris VI | Assistant Normalien. 1er cycle | " | " |
| MALINGRE Michel | Paris VI | Maître de Conférence. DEUG-SMM | " | " |
| MON Jean-Pierre | Paris XIII | Professeur, Formation Ingénieurs Télécommunications | " | " |
| REZEAU Laurence | ENS | Agrégée préparatrice, Agrégation | " | " |
| SOLOMON Jacques | Paris XI | Maître de Conférence, DEA Physique des Gaz et des Plasmas | " | |

Tableau 5b

# PARTICIPATION A L'ENSEIGNEMENT ET A LA FORMATION PROFESSIONNELLE
## PERSONNEL NON UNIVERSITAIRE

| PARTICIPANTS | ORGANISMES | ACTIVITES | DUREE |
|---|---|---|---|
| BIC Jean-Claude | ENST 2 | Communications Numériques | 24 h |
| BIC Jean-Claude | ISEP 3 | Introduction au codage | 10 h |
| BIC Jean-Claude | ESE 2 | Signal et probabilités | 21 h |
| BIC Jean-Claude | ENST Brest | Codage | 3 h |
| CHANTEUR Gérard | Lycée Fénelon | Physique-Chimie en Mat. Sup. | 120 h |
| CIARLETTI Valérie | Paris VII | Physique DEUG | 80 h |
| EYMARD Laurence | CNES | Séminaire au DEA de Télédétection | 1 h 30 |
| FONTAINE Dominique | Paris VII | Physique de la Magnétosphère, DEA Astrophysique, 3ème cycle | 12 h |
| GOLE Peter | Paris VII | Informatique Télédétection | 60 h |
| LE QUEAU Dominique | Uni. Sabatier, Toulouse | DEA Astrophysique et Techniques Spatiales | 15 h |
| LE QUEAU Dominique | Paris VII | DEA Astrophysique | 15 h |
| LE QUEAU Dominique | ENS | Oraux du concours d'entrée a l'ENS | 45 h |
| LEVY Armand | FSIT | Communications | 12 h |
| LEVY Armand | ENST 2 | Communications Numériques | 9 h |
| LEVY Armand | ENST Brest | Mobiles | 4 h |
| MALLET Cécile | Paris VII | Informatique pour Physique Appliquée | 30 h |
| SYLVAIN Michel | ENST | Electromagnétique | 30 h |
| TACONET Odile | Paris VII | DEA Méthodes Physiques de Télédétection | 20 h |

Tableau 6a

Stagiaires Etudiants

| Nom & Prénom | Nationalité | Date Début | Date Fin | Institution d'enseignement |
|---|---|---|---|---|
| AMARI Malik | Française | Avril-91 | Juillet-91 | Université Paris 6 |
| ANDREEWSKY Marc | Française | Avril-91 | Juin-91 | ENSAE - Toulouse |
| BENICHOU Hervé | Française | Juin-91 | Août-91 | Université Paris 6 |
| BRIAND Carine | Française | Avril-91 | Juin-91 | Université Paris 6 |
| BURY Thérèse | Française | Mars-91 | Juin-91 | Université Paris 7 |
| CHENNOUKH Samir | Algérienne | Avril-90 | Juillet-90 | Université Paris 11 - Orsay |
| DABILLY Christophe | Française | Mai-90 | Juillet-90 | I.U.T. - Ville d'Avray |
| FIALAIX Ludovic | Française | Mai-90 | Juillet-90 | I.U.T. - Ville d'Avray |
| FILIBERTI Marie-Ange | Française | Mars-90 | Juin-90 | Université Paris 7 |
| GIRARDOT Philippe | Française | Mars-91 | Juin-91 | Ecole Centrale - Paris |
| GRAND Noël | Française | Juin-91 | Septembre-91 | Université Paris 7 |
| GUILLET Valérie | Française | Août-91 | Décembre-92 | ENST - Paris |
| GUILLOU Catherine | Française | Mars-91 | Juillet-91 | Université Paris 7 |
| HELLUIN Aude | Française | Mars-91 | Juillet-91 | Institut Supérieur Elect. - Paris |
| HIENARD Bruno | Française | Juin-91 | Juillet-91 | Université Paris 6 |
| JAULIN Luc | Française | Janvier-90 | Juillet-90 | Université Paris-Sud |
| JULY Carine | Française | Janvier-90 | Juin-90 | Ecole Nouvelle Supérieure Technique |
| KNOLL Laurent | Française | Mai-90 | Septembre-90 | Université Pierre et Marie Curie |
| LI Shenguen | Chinoise | Juin-91 | Septembre | Université Paris 11 |
| LODYGENSKY Oleg | Française | Avril-90 | Juillet-90 | I.U.T. - Villetaneuse |
| LODYGENSKY Oleg | Française | Mai-91 | Juillet-91 | Université Paris 6 |
| MARGERIE Hélène | Française | Juin-91 | Septembre-91 | Institut National Techn. Docum. |
| OUAIDRARI Hassan | Marocaine | Avril-91 | Juillet-91 | Université Paris 7 |
| PLAGNAUD Jean-Luc | Française | Novembre-89 | Février-90 | Ecole Nouvelle Supérieure des Télécom |
| ROBLIN Florent | Française | Avril-91 | Juin-91 | I.U.T. - Ville d'Avray |
| ROJEWSKI Christine | Française | Mars-91 | Juin-91 | Université Paris 7 |
| SAVOYE Sébastien | Française | Juin-91 | Août-91 | Université Paris 6 |
| SMAOUI Mohamed | Tunisienne | Avril-90 | Juillet-90 | Université Paris 6 |
| TORTEROTOT Alain | Française | Avril-91 | Juin-91 | I.U.T. - Créteil |
| VEZARD David | Française | Avril-91 | Juin-91 | Université Paris 11 |

Tableau 6b

**ACTIVITE DE FORMATION DU CRPE**
**LISTE DES THESARDS ET POST. DOC.**

| Nom | Nationalité | Origine | Arrivée le | Nature de la bourse | Sujet | Thèse soutenue en | Situation après thèse |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BEN MEHREZ (F) | Maroc | Paris-7 | oct. 1987 | G+C | Télédétection (images) | 1990 | Post-Doc. CNES |
| BENESTY | Maroc | Paris-11 | oct. 1988 | MRT | Traitement du signal | 1991 | Industrie (banque) |
| CIARLETTI (F) | France | Ecole Centrale | oct. 1986 | CNET | Télécommunications (PACEM) | 1989 | Maître de Conférence |
| DOU | Chine | Paris-7 | oct. 1990 | CIES | Atmosphère | | |
| DUBOULOZ | France | Ecole Polytechnique | oct. 1988 | | Magnétosphère (VIKING) | 1991 | Stage à l'Etranger |
| DUPUIS (F) | France | Paris-7 | oct. 1990 | MRT | Océanographie | | |
| FILIBERTI (F) | France | Paris-7 | oct. 1990 | MRT | Télédétection | | |
| FORGET | France | Paris-6 | oct. 1989 | MRT | Ionosphère (ARCAD 3) | | |
| GONDEAU (F) | France | FIST Paris-13 | oct. 1987 | BDI | Atmosphère (BEST) | 1990 | Industrie |
| GHAHREMANI (F) | Iran | Paris-7 | fév. 1987 | CNET | Télécommunications (PACEM) | 1989 | Industrie |
| HILAL (F) | Syrie | CNST | oct. 1990 | G | Télécom | | |
| HILGERS | France | ENS (Ulm) | oct. 1988 | ENS | Magnétosphère (VIKING) | | |
| JUNG (F) | France | Paris-7 | nov. 1987 | CIFRE | Télédétection (radars) | 1990 | Industrie |
| KABECHE | Algerie | Paris-11 | nov.1990 | G | Atmosphère (ASTRIAI) | | |
| KOTRONI | Grèce | Un. Clermont-Ferrand | déc. 1990 | MRT | Atmosphère (FRONTS 87) | | |
| LAGOUVARDOS | Grèce | Paris-6 | déc. 1989 | MRT | Atmosphère (FRONTS 87) | | |
| LE LOCH (F) | France | Paris-7 | oct.1989 | CNES | Télédétection | | |
| LI | Chine | CRIRP | nov. 1987 | CNET | Télécommunications (PACEM) | 1990 | Retour en Chine |
| LOJOU | France | Paris-7 | jan. 1988 | CNES | Océanographie | 1990 | Activité dans le privé |
| LOUARN | France | ENS (Ulm) | sept. 1985 | ENS | Magnétosphère (VIKING) | 1989 | CR - CNRS |
| MALLET (F) | France | FIST Paris-13 | oct. 1988 | CNET | Télécommunications (OLYMPUS) | 1991 | Post. Doc. CNET |
| MARECAL (F) | France | Paris-7 | oct. 1989 | MRT | Atmosphère | - | |
| MARZOUG | Tunisie | X/ENST | oct. 1986 | CNES | Atmosphère (BEST) | 1989 | Ingénieur - CNET |
| MOTTEZ | France | Sup. Elec. | oct. 1987 | CNET | Magnétos. (simulation numérique) | 1991 | Bourse ESA |
| MOU | Chine | Paris-11 | nov. 1986 | G+C | Traitement du signal | 1989 | ENST |
| MOUNIR | Maroc | Paris-6 | nov. 1987 | G+C | Magnétosphère (ARCAD) | 1989 | Ingénieur - CNET |
| NASSR | France | Ecole Centrale | oct. 1987 | CIFRE | Télédétection (radars) | 1989 | Aérospatial |
| NIANGORIAN | Côte d'Ivoire | Bordeaux I | jan. 1989 | MECI | Atmosphère (FRONTS 87) | | |
| PEYMIRAT | France | Paris-7 | oct. 1988 | MRT | Ionosphère (EISCAT) | 1991 | |
| RANA | France | Paris-7 | fév. 1991 | CNET-CANADA | Télécom | | |
| ROBINEAU (F) | France | Paris-6 | oct. 1989 | ENS | Ionosphère (ARCAD) | | |
| ROUCHETTE | France | Paris-6 | nov. 1988 | CNES | Magnétosphère (GGS) | | |
| SAND (F) | France | Paris-7 | déc. 1989 | MRT | Télédétection | | |
| SAVOINI | France | Paris-6 | oct. 1988 | MRT | Magnétos. (simulation numérique) | | |
| SUN (F) | Chine | Paris-7 | nov. 1986 | G+C | Atmosphère (FRONTS) | 1989 | départ aux USA |
| VERMEULEN | France | Paris-11 | sept. 1989 | MRT | Planétologie (GIOTTO) | | |
| WU | Chine | CRIRP | oct. 1987 | CNET | Ionosphère (EISCAT) | 1990 | Retour en Chine |
| YOUSSEF | Liban | Sup. Elec. | sept. 1988 | CIFRE | Magnétosphère (CLUSTER) | | |
| ZHANG (F) | Chine | ENST | nov. 1986 | CNET | Traitement du signal | 1989 | Ingénieur - CNET |
| ZHONG | Chine | Paris-6 | juin. 1986 | G+C | Télédétection (HAPEX/MESOGERS) | 1989 | Retour en Chine |

F : sexe féminin
G : bourse du gouvernement étranger
C : complément fourni par le CNET

auxquels il convient d'ajouter 17 stagiaires d'IUT ou d'Ecoles d'Ingénieurs pour des stages variant entre 2 et 6 mois

Tableau 7

# VISITEURS ETRANGERS

| NOM | PAYS D'ORIGINE | DATE ET DUREE DE LA VISITE |
|---|---|---|
| BEYRICH Franck | Allemagne | 11/04/91 - 8 mois 1/2 |
| CHMYREV Vitaly | URSS | 10/09/90 - 1 mois |
| COLE Keith | Australie | 10/09/90 - 3 jours |
| DONG Kuingsheng | Chine | 03/12/90 - 3 mois |
| EMERY William | Etats-Unis | 06/09/90 - 3 jours |
| HOLMGREN Gunnar | Suède | 20/06/91 - 6 mois |
| KATSAROS Kristina | Suède | 02/05/90 - 3 jours |
| KLEIMEINOVA Natalia | URSS | 15/10/90 - 15 jours |
| KRASTENA Eléna | URSS | 22/10/90 - 3 mois |
| ODGES Ralph | Etats-Unis | 25/2/91 - 1 mois |
| PETTY Grant | Etats-Unis | 10/09/90 - 3 jours |
| POKHOTELOV Oleg | URSS | 15/10/90 - 15 jours |
| PRIKNER Karel | Tchécoslovaquie | 04/12/90 - 10 jours |
| RICHMOND Arthus | Etats-Unis | 03/07/89 - 1 an |
| RIJCKENBERG Gert | Hollande | 01/10/88 - 3 ans 1 mois |
| SCHREIBER Roman | Pologne | 24/09/90 - 1 mois |
| TREUMANN Rudolf | Allemagne | 25/02/90 - 7 semaines |
| WEBSTER Alan R. | Angleterre | 01/01/89 - 6 mois |
| ZININ Léonid | URSS | 22/10/90 - 3 mois |

Tableau 8

# *ORGANISATION DE CONGRES*

## *[ 1989 - 1991 ]*

| ORGANISATEUR(S) | INTITULE | LIEU & DATE |
|---|---|---|
| PETITDIDIER M. (CRPE/ABM), GILET M. & PILON J. (SETIM) | *First European Wind Profiler Workshop, COST 74* | Versailles, France, 6-8 mars, 1989 |
| MON J.P. (CRPE/ETP) | *URSI Symposium (Commission F)* | La Londe-les-Maures, France 11-15 septembre, 1989 |
| WEILL A. (CRPE/OBT) | *Journées d'Etude et de Prospective 1989 du "Programme Atmosphère Météorologique" [PAM} de l'I.N.S.U.* | CNET/CNRS/CRPE, Issy-les-Moulineaux, France, 3-4 octobre, 1989 |
| SOMMERIA G. (CRPE) | *XVth European Geophysical Society General Assembly [E.G.S.]* | Copenhague, Danemark, 23-27 avril, 1990 |
| EYMARD L. (CRPE/OBT), KLEIN P. (IFREMER) | *Atelier "Echanges Océan-Atmosphère à Moyenne Echelle* | Meudon, France, 28-29 juin, 1990 |
| LEMBEGE B. (CRPE/OPN), OSSAKOW S. L. (NRL, Washington,USA) | *XXIIIrd General Assembly of U.R.S.I., Session JS3 on "Theory and Computer Experiments of Plasma Processes"* | Prague, Tchécoslovaquie, 25 août - 5 septembre, 1990 |
| LE QUEAU D. (CRPE/OPN), BEGHIN C. (LPCE), LECACHEUX A. (DASOP) | *Séminaire GdR Plasmae "EtudeComparative des Environnements Ionisés"* | Ronce-les-Bains, France, 25-27 septembre, 1990 |
| LEMBEGE B. (CRPE/OPN) | *European Workshop on "Collisionless Shocks"* | CNET/CNRS/CRPE, Issy-les-Moulineaux, France, 11-13 mars, 1991 |
| BERTHELIER J.J. (CRPE/EMI), | *Réunion des Utilisateurs Européens des Bibliothèques IMSL* | Paris, France, 17-19 avril, 1991 |
| SOMMERIA G. (CRPE) | *XVIth European Geophysical Society General Assembly [E.G.S.]* | Wiesbaden, R.F.A., 22-26 avril, 1991 |
| ROUX A. & LE QUEAU D. (CRPE/OPN), GRESILLON D. (EP/PMI) | *International Workshop on "CollectiveAccelerationsi n Collisionless Plasma"* | Cargèse, Corse, France, 9-15 juin, 1991 |

| ORGANISATEUR(S) | INTITULE | LIEU & DATE |
|---|---|---|
| TESTUD J. & PETITDIDIER M. (CRPE/ABM) | *A.M.S. 25th Conference on "Radar Meteorology"* | Paris, France, 24-28 juin, 1991 |
| LE QUEAU D. & SOLOMON J. (CRPE/OPN) | *Congrès de la Société Française de Physique. Colloque de Spécialité "Les Plasmas Naturels : de l'Ionosphère Terrestre au Jets Galactiques"* | Caen, France, 2-6 septembre, 1991 |
| GENDRIN R. (CRPE) | *"Developing Countries and the Space Programs in the 1990's"* | Trieste, Italie, novembre 1991 |

# *SEMINAIRES GENERAUX C R P E [1991]*

FONTAINE B. (Centre de Recherche de Climatologie, Dijon, France)
Climatologie diagnostique des moussons pluvieuses
*Issy-les-Moulineaux, 13 janvier 1991*

BUCUR I. (Laboratoire de géomagnétisme, Saint Maur, France)
Variation séculaire du champ magnétique terrestre et datation archéomagnétique
*Saint Maur, France, 12 février 1991*

BOUGEAULT P. (EERM/CNRM, Toulouse, France)
Interaction expérience-modèle : expérience PYREX
*Issy-les-Moulineaux, France, 12 mars 1991*

CAZENAVE A. (Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale, Toulouse, France)
Contribution de la géodésie spatiale à l'étude de la terre solide
*Saint Maur, France, 16 avril 1991*

MASSON P. (Laboratoire de Géologie Dynamique Interne, Orsay, France)
Géologie des planètes Mars et Vénus
*Issy-les-Moulineaux, France, 21 mai 1991*

TANGUY J.C. (UPMC/CNRS, Saint Maur, France)
Introduction à la volcanologie
*Saint Maur, France, 18 juin 1991*

# *SEMINAIRES C R P E [1990-1991]*

## *"ATMOSPHERE NEUTRE & TELEDETECTION"*

REEDER M.J. (Institut de Météorologie de l'Université de Munich, RFA)
La frontogénèse d'altitude
*Issy-les-Moulineaux, France, 8 février 1990*

TRESSENS S. (CRPE)
Compression d'images et application possible à la télédétection
*Issy-les-Moulineaux, France, 9 avril 1990*

DUPUIS H. (CRPE)
Les premiers résultats des hydrophones
*Issy-les-Moulineaux, France, 11 mai 1990*

JULY C. (CRPE)
Les cyclones tropicaux vus par le SSM/I
*Issy-les-Moulineaux, France, 11 mai et 11 juin 1990*

DECHAMBRE M. (CRPE)
Premiers résultats d'AGRISCATT
*Issy-les-Moulineaux, France, 11 juin 1990*

TESTUD J. (CRPE)
L'écho de sol comme moyen de correctionet de vérification des données de navigation d'un radar météorologique Doppler
*Issy-les-Moulineaux, France, 12 septembre 1990*

JAULIN L. (CRPE)
Restitution de l'atténuation d'une cellule de pluie par une technique variationnelle
*Issy-les-Moulineaux, France, 4 octobre 1990*

MASTRANTONIO G. (Institut de Physique de l'Atmosphère de Frascatie, Italie)
Le sondage acoustique à l'Institut de l'Atmosphère : Applications aux couches limites antarctiques
*Issy-les-Moulineaux, France, 11 octobre 1990*

OTTLE C. (CRPE)
La 'Split-Window' appliquée aux continents
*Issy-les-Moulineaux, France, 8 octobre 1990*

VIDAL-MADJAR D. (CRPE)
Campagnes ERASME/RESSAC/RENE pour l'année 1991
*Issy-les-Moulineaux, France, 5 novembre 1990*

LAGOUVARDOS K. (CRPE)
Circulations agéostrophiques prévues par l'équation de Sawyer-Eliasen - Applications aux données réelles de FRONTS 87
*Saint Maur des Fossés, France, 13 décembre 1990*

FONTAINE B. (Centre de Recherche de Climatologie, Dijon, France)
Climatologie diagnostique des moussons pluvieuses
*Issy-les-Moulineaux, France, 8 janvier 1991*

NIANGORAN C. (CRPE)
Mise en évidence d'ondes de gravité liées à un passage frontal à partir des données du radar S.T. lors de FRONTS 87
*Saint Maur des Fossés, France, 15 février 1991*

BOUGEAULT P. (EERM/CNRM ou Centre National en Recherche Météorologique, Toulouse, France)
Interface modèle/expérience avec application à l'expérience PYREX : Influence dynamique des pyrénées sur l'atmosphère
*Issy-les-Moulineaux, France, 12 mars 1991*

KOTRONI V. (CRPE)
Analyse des données du radar S.T. et des données sodar durant l'expérience FRONTS 87. Vitesse de friction et jet de basse couche
*Saint Maur des Fossés, France, 18 avril 1991*

PLATKIN (Moscou)
Les lentilles d'eau méditerranéennes
*Issy les Moulineaux, France, mai 1991*

ROUX F. (CRPE)
Les cyclones vus par un radar aéroporté
*Issy-les-Moulineaux, France, 27 mai 1991*

DOU X.K. (CRPE)
Restitution tridimensionnelle du vent utilisant la méthodologie MANDOP à partir de mesures par radar Doppler aéroporté
*Saint Maur des Fossés, France, 17 juin 1991*

WISMANN (Université de Hambourg)
Télédétection hyperfréquences de l'Océan
*Issy les Moulineaux, France, juin 1991*

MENEGHINI R. (NASA/GSFC, Greenbelt, U.S.A.)
Revue des expériences aéroportées sur la pluie effectuées par la NASA/CRL et de leurs liens avec la mission spatiale TRMM
*Issy-les-Moulineaux, France, 1er juillet 1991*

# *SEMINAIRES C R P E [1990-1991]*

## *"INFORMATIQUE"*

JEZEQUEL F. (CRPE)
La sécurité sur PC et MacIntosh
*Séminaire 'Sécurité et Accès aux Ressources Informatiques'*
*Issy-les-Moulineaux, France, 28 mars 1990*

PAWELA E. (CRPE)
La Sécurité sur VAX
*Séminaire 'Sécurité et Accès aux Ressources Informatiques'*
*Issy-les-Moulineaux, France, 28 mars 1990*

PORTENEUVE E. (CRPE)
Les services offerts par les réseaux de la recherche
*Séminaire 'Sécurité et Accès aux Ressources Informatiques'*
*Issy-les-Moulineaux, France, 28 mars 1990*

ROBERT P. (CRPE)
*Séminaire 'Politique Informatique 90-91 - Opérations engagées et projets'*
*Issy-les-Moulineaux, France, 6 juin 1990*

*Séminaires communs PAB/RPE/TID & PAA/TIM/RVD : 'Présentation DEC Athena'*
*Issy-les-Moulineaux, France, 10 septembre 1991*

# *SEMINAIRES C R P E [1990-1991]*

## *"MILIEUX IONISES"*

ROBERT P. (CRPE)
Estimation J avec CLUSTER
*Issy-les-Moulineaux, France, 4 janvier 1990*

GALOPEAU (DASOP)
Anomalie magnétique de Saturne
*Issy-les-Moulineaux, France, 18 janvier 1990*

HILGERS A. (CRPE)
TKR avec VIKING
*Issy-les-Moulineaux, France, 1er février 1990*

DELCOURT D. (ESTEC)
Dynamique des ions pendant les sous-orages
*Saint Maur des Fossés, France, 5 février 1990*

PLAGNAUD J.L. (ENST)
Ondelettes
*Saint Maur des Fossés, France, 8 février 1990*

RICHMOND A. (CRPE)
Estimation E ionophérique par technique d'inversion
*Issy-les-Moulineaux, France, 15 février 1990*

DUBOULOZ N. (CRPE)
Structures fines de BEN
*Issy-les-Moulineaux, France, 15 mars 1990*

TREUMANN R. (MPI, Garching)
Reconstruction attracteurs dans les chaos
*Issy-les-Moulineaux, France, 15 mars 1990*

ROUX A. et al. (CRPE)
Préparation CLUSTER
*Issy-les-Moulineaux, France, 30 mars 1990*

BERTHELIER A., FORGET B. (CRPE)
Turbulence magnétique dans l'ionosphère
*Saint Maur des Fossés, France, 3 mai 1990*

ALY J.J. (CEN)
Evolution d'un champ magnétique sans force : application aux éruptions solaires
*Issy-les-Moulineaux, France, 17 mai 1990*

SAVOINI P. (CRPE)
Chocs non collisionnels
*Issy-les-Moulineaux, France, 8 juin 1990*

ROWE E. (Sydney)
Radio emissions from pulsars
*Issy-les-Moulineaux, France, 15 juin 1990*

GREENWALD R. (APL, Baltimore)
HF radar studies
*Saint Maur des Fossés, France, 25 juin 1990*

COLE K. (NASA)
Electric currents in planetary ionospheres
*Saint Maur des Fossés, France, 12 juillet 1990*

JASPERSE J. (AFGL)
Theories of energetic particle transport in the terrestrial ionosphere
*Saint Maur des Fossés, France, 26 juillet 1990*

PFAFF R. (NASA-GSFC, Greenbelt, U.S.A.)
Observations de fusées d'ondes électrostatiques par interférométrie
*Saint Maur des Fossés, France, 10 septembre 1990*

Revue des Posters de l'Eté
*Saint Maur des Fossés, France, 20 septembre 1990*

SCHREIBER R. (CAC, Torun)
Tracé de rayon TKR
*Issy-les-Moulineaux, France, 9 octobre 1990*

BERTRAND P. (Nancy)
Codes Euleriens de Vlasov
*Issy-les-Moulineaux, France, 18 octobre 1990*

CHMYREV (Izmiran)
Alfven vortices in the auroral plasma
*Issy-les-Moulineaux, France, 15 novembre 1990*

BERTHELIER A. (CRPE)
Revue sur les frontières magnétosphériques
*Saint Maur des Fosses, France, 29 novembre 1990*

MENVIELLE M. (IPGP))
Optimism (mars 94)
*Saint Maur des Fossés, France, 7 décembre 1990*

DOVEIL F. (Turbulence/Plasma, Marseille)
Localisation d'Anderson en plasma
*Saint Maur des Fossés, France, 21 décembre 1990*

COHEN Y. (IPGP) & MAZAUDIER C. (CRPE)
L'année internationale de l'electrojet équatorial
*Saint Maur des Fossés, France, 1er février 1991*

BERTHELIER J. J. (CRPE)
Réunion des Expérimentateurs 'Plasma' de la Mission CASSINI
*Saint Maur des Fossés, France, avril 1991*

VERMEULEN G. (CRPE)
Diffusion des ions nouvellement créés au voisinage de la comète HALLEY
*Saint Maur des Fossés, France, 17 mai 1991*

BERTHELIER J. J. (CRPE), KRANKOWSKY D. & DORFLINGER D. (MPIK, Heidelberg, Allemagne) HODGES R.R. (UTD, Dallas, USA), VAISBERG O. & SMIRNOV V. (IKI, Moscou, URSS)
Réunion des participants à l'expérience DYMIO de la Mission MARS 94
*Saint Maur des Fossés, France, juin 1991*

MIURA A. (Univ., Tokyo)
2D simulation of the Kelvin-Helmholtz instability in the magnetopause
*Issy-les-Moulineaux, 10 septembre 1991*

# *SEMINAIRES C R P E [1990-1991]*

## *"TELECOMMUNICATIONS"*

RIOUL O. (CRPE)
Transformée en ondelettes
*Issy-les-Moulineaux, France, 16 janvier 1990*

ROSSI J.P. (CRPE)
Théorie géométrique de la diffraction
*Issy-les-Moulineaux, France, 16 janvier 1990*

AIDI M. (CRPE)
Résolution numérique de problèmes de diffraction. Application à la propagation en milieu urbain
*Issy-les-Moulineaux, France, 26 juillet 1990*

BIC J.C. (CRPE)
Introduction aux codes correcteurs d'erreurs
*Issy-les-Moulineaux, France, 16 novembre 1990*

BARBOT J.P. (CRPE)
Propagation radioélectrique à l'intérieur des bâtiments pour les communications personnelles
*Issy-les-Moulineaux, France, 31 janvier 1991*

HILAL K. (CRPE)
Algorithmes accélérés d'égalisation aveugle
*Issy-les-Moulineaux, France, 31 janvier 1991*

CERISIER J.C. & WEILL A. (CRPE), FLANDRIN (ENS Lyon), GIBIAT (ESPCI/LOA), MACCHI O. & UHL C. (LSS), SCHERTZER (MN)
Chaos-Fractals-Ondelettes
*Issy-les-Moulineaux, France, 26 mars 1991*

MACCHI O., UHL C. (LSS) (Laboratoire des Signaux et Systèmes - CNRS/ESE)
Chaos dans les systèmes de transmission MIC différentiels
*Issy-les-Moulineaux, France, 15 avril 1991*

GOULAM F. (CRPE)
Prometheus
*Issy-les-Moulineaux, France, octobre 1991*

# 2 - PHYSIQUE DE L'ATMOSPHERE NEUTRE

## INTRODUCTION

L'activité en Physique de l'Atmosphère neutre (département ABM) est centrée sur l'utilisation de techniques radar pour mesurer des paramètres atmosphériques : vent, précipitations, turbulence. Dans ce domaine, la stratégie de recherche du laboratoire peut s'énoncer de la manière suivante. Un premier aspect concerne le développement de nouvelles techniques instrumentales utilisables du sol, ou depuis une plateforme aéroportée ou spatiale, activité conjointe ABM-ITS. Le deuxième aspect concerne la gestion des instruments dont dispose le laboratoire (radar Ronsard, radar ST), et leur mise en oeuvre dans des campagnes de mesures lourdes en coopération nationale et internationale. Enfin, le troisième aspect est lié à l'exploitation scientifique des données de ces campagnes pour faire progresser la compréhension de la physique des écoulements atmosphériques.

Concernant le développement instrumental, les chercheurs d'ABM travaillent sur 3 programmes d'échéance et d'ampleur très différentes : le radar PROUST, le radar aéroporté ASTRAIA, et le radar à pluie de la plateforme spatiale BEST.

- PROUST est un radar "air clair" fonctionnant à 962 MHz et qui a l'ambition, grâce à un système de codage en phase autorisant une résolution radiale de 30 mètres, d'observer la turbulence de petite échelle dans les différentes couches de la troposphère et de la basse stratosphère. Ce système est parvenu à un certain état d'achèvement en 90. Des tests variés et des perfectionnement (en particulier, augmentation de la puissance d'émission) seront conduits en 91. Par ailleurs, dans le cadre d'un programme national de développement d'un réseau de radars "air clair " financé par l'INSU et la Météo Nationale, le CRPE réalise un nouveau radar VHF profileur de vent.

- ASTRAIA est un projet de radar météorologique Doppler aéroporté opérant à 3 cm de longueur d'onde, qui doit permettre, grâce à son aérien bi-faisceau, d'échantillonner les vitesses radiales et les réflectivités à l'intérieur d'un orage sous deux directions de visée. Une telle "vision" stéréoscopique permettra à la fois de restituer le champ de vitesse tridimensionnel dans la zone orageuse, et, par une technique apparentée à la tomographie, le champ d'atténuation micro-onde dans les pluies intenses. Le radar ASTRAIA devrait être, au cours de la prochaine décennie, le grand instrument d'étude de la convection profonde de la communauté de recherche atmosphérique. Il devrait également trouver des applications importantes en radiométéorologie (statistique de taille et d'intensité des cellules de pluie intenses, et atténuation micro-onde correspondante) et en tant que banc d'essai de techniques radar envisagées depuis l'espace par le CNES, l'ESA, la NASA. ASTRAIA est en cours de développement dans le cadre d'une coopération franco-américaine avec le NCAR. Nous fournissons dans ce projet l'aérien bi-faisceau (avec son radome et sa motorisation), et les récepteurs Fréquence Intermédiaire. Parallèlement nous développons une station informatique de traitement des données. Le système sera réalisé d'ici 1992 avec un financement, pour la partie française, du CNET, du CNRS, du CNES et de la Météorologie Nationale.

- La plateforme spatiale BEST vise à doter la communauté atmosphérique d'un moyen de surveillance du bilan énergétique de l'atmosphère tropicale (permettant ainsi de contrôler l'évolution climatique). L'un des défis expérimentaux du programme BEST est la mesure de la hauteur d'eau (en moyenne mensuelle) sur l'ensemble de la ceinture tropicale. La hauteur d'eau traduit en effet l'énergie effectivement libérée par le processus de condensation, et transférée à l'atmosphère tropicale. Dans le programme BEST, le département ABM est responsable de l'étude du radar destiné à la mesure des précipitations. Plus précisément, sa tâche est d'une part, de déterminer la technique expérimentale optimale et l'algorithmie correspondante de traitement du signal pluie, d'autre part, de définir les spécifications techniques du système proposé. Dans ce cadre, ABM participe au suivi des études radar de la plateforme BEST sous-traitées par le CNES dans l'industrie.

Concernant l'exploitation scientifique des données de campagnes passées, le département ABM s'est surtout focalisé dans les trois dernières années sur la campagne franco-britannique FRONTS 87 qui a fourni, sur deux mois d'expérience, 8 observations frontales. Un jeu de données extrêmement complet a pu être ainsi obtenu,

permettant d'appréhender une vaste gamme d'échelle, depuis l'échelle synoptique grâce au réseau de radiosondage, jusqu'à la micro-échelle fournie par les données aéroportées in situ. Les efforts des chercheurs d'ABM vont progressivement se ré-orienter vers PYREX (expérience organisée par la Météorologie Nationale), et vers les expériences de radar aéroporté bi-faisceau utilisant le P3 de la NOAA. A plus long terme, la grande campagne TOGA (Tropical Océan - Global Atmosphere) programmée en 92-93 dans le Pacifique ouest fixe l'échéance de réalisation du projet de radar aéroporté franco-américain.

## A. RESULTATS

## 2.1 RADAR PROUST

### 2.1.1 UN RADAR POUR ETUDIER L'INTERFACE HAUTE TROPOSPHERE - BASSE STRATOSPHERE

Les échanges entre la troposphère et la stratosphère résultent de processus dynamiques qui, tout en étant connus à l'échelle synoptique, ne sont pas encore assez bien compris pour permettre une évaluation suffisamment précise des flux correspondants. En fait la détermination de ces flux ne peut être atteinte que par une connaissance de la structure à petite et moyenne échelle de l'atmosphère.

S'agissant des tranferts de la stratosphère vers la troposphère, il apparaît nécessaire d'améliorer la description des phénomènes frontogénétiques dans la haute troposphère et de leur couplage avec la frontogénèse de basse couche.

Dans le sens des transferts troposphère vers stratosphère, on a besoin d'estimer quantitativement le bilan de l'énergie et du flux de masse véhiculés vers la stratosphère. Une paramétrisation de ces transports validée à partir de modèles à méso-échelle permettrait leur prise en compte dans des modèles globaux incluant les processus photochimiques.

### 2.1.2 ETAT D'ACHEVEMENT TECHNIQUE EN 1991

Pour pouvoir aborder ces problèmes, le CRPE, avec la collaboration de l'INSU sur le plan technique, a entrepris le développement d'un radar à haute résolution (radar PROUST) dont l'objectif était de fournir des mesures dynamiques à l'interface troposphère-stratosphère, avec une résolution de 30m en altitude.

De nombreuses difficultés techniques sont apparues et ont dû être résolues lors de la mise au point de ce radar, ce qui a retardé son utilisation opérationnelle. Après une phase d'essai dans une version où la résolution avait été limitée à 600m, la mise en oeuvre du radar dans sa version nominale avec la résolution visée de 30m est intervenue en juin 1990 (C/acc04).

Il faut remarquer que ce radar est le seul à l'heure actuelle avec celui d'Arecibo à avoir cette performance. Deux campagnes de mesures ont été réalisées depuis cette date. L'une d'entre elles était coordonnée avec l'expérience Européenne TOASTE (Transfert of Ozone And Stratospheric Tropospheric Exchanges), et l'autre concernait l' utilisation des radars ST dans le cadre des études liées à la sécurité aérienne.

### 2.1.3 PARTICIPATION DE PROUST A L'EXPERIENCE TOASTE

Les oscillations du front polaire induisent souvent des descentes d'air polaire vers les basses latitudes (circulation méridienne liées à un thalweg d'altitude). Lorsque la circulation redevient zonale, des masses d'air polaires peuvent se trouver isolées de cette circulation et former une Goutte Froide (G.F.) entre 6 et 10km d'altitude dont le diamètre peut atteindre 1500 à 2000km. Cet air d'origine stratosphérique a conservé un tourbillon potentiel élevé qui provoque généralement une frontogénèse d'altitude. Les processus de fermeture (cut off) de la G.F., d'érosion de celle ci et d'élimination du surcroît d'énergie qu'elle contient sont très peu connus de même que les échanges troposphère-stratosphère qui y sont associés.

Pendant les deux campagnes de mesures, deux situations de "Gouttes Froides" ont été observés par le radar PROUST: un cas en fin d'érosion et un cas de début de formation, le radar se trouvant alors dans la zone de fermeture. Dans le premier cas, une forte interaction ondes-turbulence a été observée avec un coefficient de diffusion turbulente élevé (1<KH<5m2s-1) qui semble correspondre à un processus d'élimination de l'énergie résiduelle de la Goutte Froide en fin de vie . Dans le deuxième cas, le processus de fermeture de la goutte froide s'accompagne d'une intense activité convective. Des vitesses verticales de +/- 1.5m/s sont observées dans la Goutte Froide entre 8000m et 10000m d'altitude. Une collaboration avec une équipe de modélisation méso-échelle du CNRM (Centre National de Recherche Météorologique) est prévue afin d'analyser ces situations et d'éventuellement valider le modèle.

Depuis Juin 1990, l'équipe radar ST du CRPE participe à l'expérience TOASTE qui regroupe neuf Laboratoires Européens dont trois Francais (CRPE, LAMP/OPGC, SA). L'objectif scientifique consiste à étudier à l'échelle synoptique les Gouttes Froides et foliations de tropopause, phénomène considérés comme étant la principale source d'échanges tropo-stratosphérique en latitude moyenne. Quatre campagnes de mesures sont prévues entre Juin 1990 et Juillet 1991. Un radar Francais au moins participe à chaque campagne (généralement celui du LAMP/OPGC), mais le radar PROUST a participé à l'une de ces campagnes (Juin 1990). L'analyse des données et leur interprétation scientifique est en cours et réalisée en coopération entre les laboratoires Français impliqués et leurs collègues Européens.

### 2.1.4 UTILISATION DES RADARS ST DANS LE CADRE DES ETUDES LIEES A LA SECURITE AERIENNE.

Le Service technique de la Navigation Aérienne s'intéresse actuellement, dans le cadre des études visant à améliorer la sécurité des transports d'avions, à deux phénomènes, les cisaillements de vent qui mettent en danger les avions lors des phases de décollage ou d'atterrissage et la turbulence de sillage qui impose une distance de sécurité entre les avions dans les mêmes phases. Dans le premier cas le STNA était intéressé à évaluer les performances des radars ST pour la detection des cisaillements de vent en zone aéroportuaire, dans le second, il s'agissait de déterminer quantitativement le niveau de turbulence et sa durée de vie dans le sillage d'un avion en utilisant également des mesures par radar.

Les travaux se sont déroulés sur 3 ans (1987- 1990) et concernaient le radar PROUST dans sa version 600m de résolution. Des simulations numériques sur des modèles de vent et des micro- rafales ayant montré les capacités de détection en air clair de ce type de radar, des mesures en vraie grandeur ont été faites en milieu aéroportuaire (G/89.01, G/89.02, G/89.05,G/89.06, G/89.07). La direction de visée était quasi horizontale afin de détecter les phénomènes le long des lignes d'atterrisage et d'envol des avions.

Les principaux problèmes à résoudre ont été l'élimination des échos parasites (échos de sol et aéronefs) et la mise au point d'une méthode de traitement permettant le déclenchement d'une procédure d'alerte. Un cas de cisaillement associé à un front de rafale a été entièrement décrit et analysé en terme de procédure d'alerte.

Une comparaison des performances des radars air clair et des radars pluie pour la détection des cisaillements de vents se déroulent actuellement sur l'aéroport de Coulommiers. Les travaux se déroulent sur deux ans (1989 - 1991) et concernent les radars PROUST et RONSARD du CRPE. A la demande du STNA le contrat a débuté par une amélioration des performances du radar RONSARD qui lui permet de détecter maintenant des échos air clair dans la couche limite. Pendant la durée du contrat, des mesures sur la turbulence de sillage des avions et sur la durée de vie des rouleaux turbulents seront faites après mise au point des procédures d'observation et de traitement des spectres obtenus (séparation des échos avions et des échos atmosphériques). L'amélioration de la connaissance sur la durée de vie de la turbulence de sillage en fonction des paramètres météorologiques pourrait permettre d'envisager une diminution de l'intervalle de temps entre deux atterrissages, ce qui améliorerait le trafic sur les aéroports saturés.

## 2.2 RADAR AEROPORTE ASTRAIA

Dans le programme franco-américain Astraia/Eldora, nous fournissons le rotodome (système intégral tournant de deux antennes montées dos à dos et de leur radome) voir la fig. 2.1 et les récepteurs en fréquence intermédiaire. Le suivi technique de ces systèmes, réalisés dans l'industrie, est assuré par le département ITS avec la collaboration du département ABM.(A/acc08, B/90.03).

Mais c'est surtout à un effort de préparation du traitement des données que s'est livré ABM dans le cadre de ce programme. Nous projetons en effet de développer une station informatique mobile capable d'effectuer au sol tous les traitements de données nécessaires pour aboutir, au cours d'une campagne expérimentale, à une description du champs de vitesse tridimensionnel et du champ de précipitation, en un délai de quelques jours. Les différentes étapes du traitement sont presentées dans la Fig. 2.2. Elles correspondent à des développements de logiciel dont certains réclament essentiellement une compétence d'informaticien, d'autres une compétence de numéricien.

Dans le cadre du développement de cette station informatique, les actions spécifiques qui ont été menées à bien au cours de la période 89-91 sont :

- développement d'un logiciel de visualisation rapide des données, testé à partir des données du radar de queue de l'avion P3 de la NOAA.
- développement d'un logiciel de correction des erreurs de navigation de l'avion, fondé sur l'exploitation systématique de l'écho de sol (C/acc34).
- récupération de logiciels d'édition des données, et de correction du repliement spectral, auprès du Hurricane Research Division de la NOAA à Miami.
- développement d'un logiciel vectorisé de filtrage/interpolation tri-dimensionnel fondé sur l'analyse de Cressmann.

Par ailleurs, l'adaptation des logiciels de restitution du champ de vitesse tridimensionnel à la stratégie d'échantillonnage d'Eldora/Astraia, et le développement du logiciel de restitution du champ d'atténuation ont été engagés :

- l'adaptation du logiciel "Coplan", visant à restituer le champs de vitesse tri-dimmensionnelle dans la convection intense, est traitée au CNRM,
- l'adaptation du logiciel "MANDOP"(A/9029, F/90.08) plus spécialement dévolu à la convection étendue, est l' objet d'un travail de thèse (C/acc05),
- le développement d'un logiciel de restitution du champ d'atténuation (logiciel stéréoradar) adapté au traitement de données réelles, fait également l'objet d'un travail de thèse (A/89.26).

Il convient de placer également dans la perspective d'Eldora/Astraia, la coopération que nous avons engagée avec la NOAA. Cette coopération s'est concrétisée tout d'abord par le séjour d'un an d'un chercheur d'ABM au Hurricane Research Division de la NOAA à Miami, séjour qui a permis d'acquérir une expérience du traitement et de l'analyse scientifique des données de radar aéroporté sur leur avion P3 (C/acc09, C/acc29). D'autre

**Figure 2.1 :** *Antenne bi-faisceau dérivée de celle prévue pour le projet Astraia, et montée sur l'avion P3 de la NOAA.*

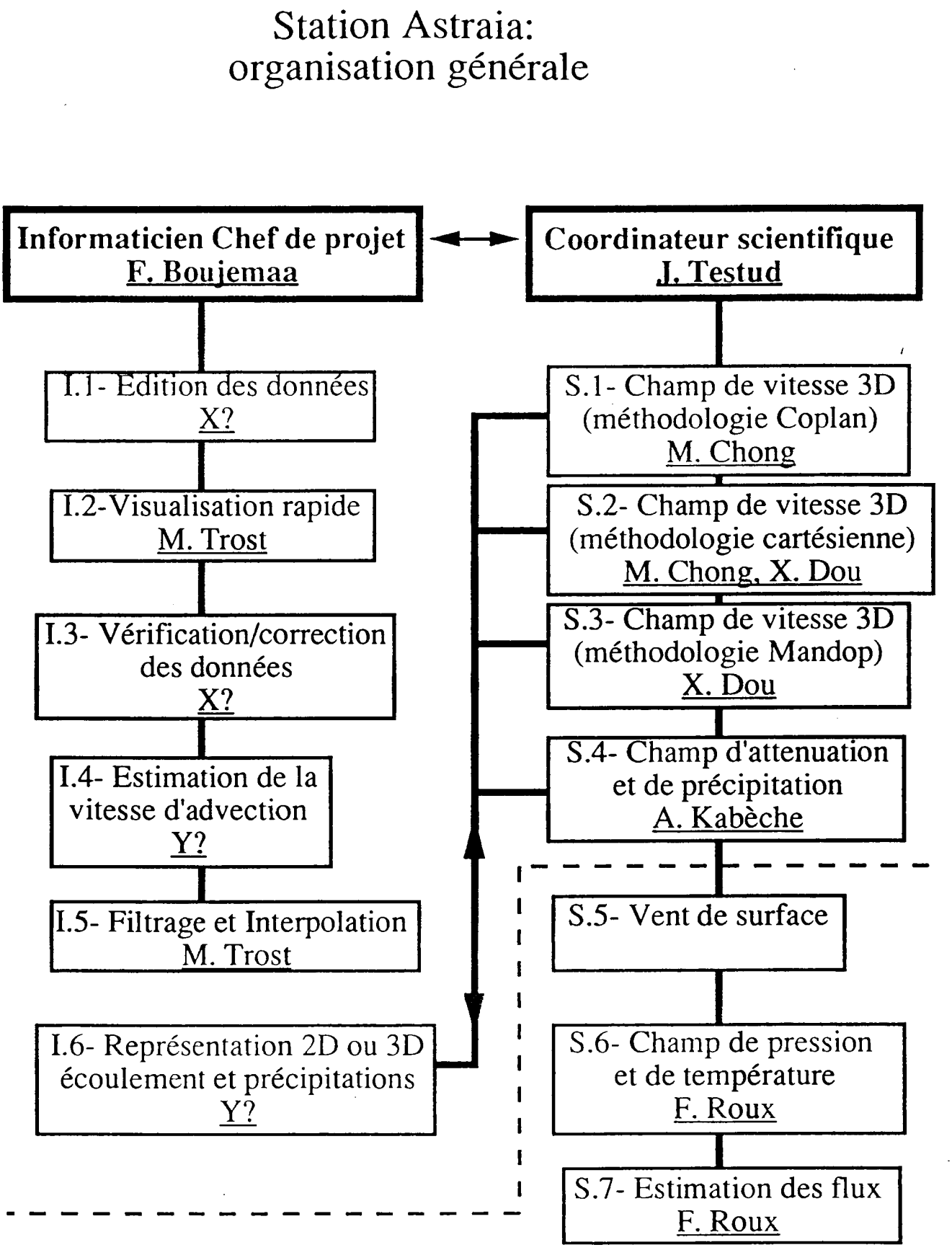



**Figure 2.2** : *Organisation du traitement des données d'Astraia.*

part, la signature d'un accord avec l'Aircraft Operation Center de la NOAA à Miami nous a permis d'installer au début juillet 91 (voir Fig. 2.1) sur leur P3 une antenne bi-faisceau dérivée de celle développée pour Astraia, en vue de tester la stratégie d'échantillonnage et les logiciels prévus pour ce projet.

Enfin ABM s'est investi dans la préparation de l'expérience TOGA/COARE (Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment) sous-programme de TOGA (Tropical Ocean and Global Atmosphere), première expérience scientifique à laquelle Astraia/Eldora va participer en hiver 92-93. Nos actions ont concerné la définition tant des objectifs scientifiques, que du dispositif expérimental de la composante atmosphérique de TOGA/COARE.

## 2.3 LE PROGRAMME BEST - LA MESURE DES PRECIPITATIONS DEPUIS L'ESPACE

le CRPE est impliqué dans un programme de mesure des précipitations par radar spatial, comportant deux aspects : i) l'étude du radar "pluie" du projet BEST (C/89.21), instrument de base de la charge utile dont il assure la responsabilité scientifique vis à vis du C.N.E.S. ; ii) l'étude d'un stéréoradar spatial, sollicitée par l'ESA/ ESTEC visant spécifiquement l'extension à l'espace, du nouveau concept instrumental de stéréoradar (double faisceau), proposé (A/89.26) pour le projet ASTRAIA.

### 2.3.1 RADAR "PLUIE" DU PROJET BEST

Les aspects fondamentaux abordés concernent les spécifications du radar et l'étude des algorithmes de restitution du taux précipitant pour l'exploitation des mesures. Après la phase de définition préliminaire, conclue par la thèse de M. Marzoug en 89 (B/89.05), les travaux de phase A ont démarré fin 1989 et devraient s'achever vers mi-1992.

*Etude de faisabilité*

L'étude industrielle de faisabilité du radar, réalisée par ALCATEL -ESPACE, est conduite sous la responsabilité technique du CNES/ Toulouse avec le "contrôle scientifique" du CRPE.

Dans l'étude de conception, le principe retenu était celui d'un radar à impulsions courtes avec une antenne à balayage électronique de grande dimension (diamètre ≈ 10 m) dont le faisceau (empreinte de 1.6 km au nadir) effectuerait une exploration transverse à la trace du satellite pour couvrir une fauchée adaptative minimale de 100 km de large (plate-forme à 500 km d'altitude). En version nominale, le radar opèrerait en bande Ku (13.75 GHz). En option, on envisageait soit un radar bi-fréquence (13.75 et 35 ou 24 GHz), soit un radar possédant une capacité additionnelle de fonctionnement en mode stéréoradar (bi-faisceau).

Une première phase de l'étude industrielle, conclue par une revue partielle en mars 1991, a permis d'aboutir à une définition réaliste du système (version nominale). Elle a conduit à réviser certaines spécifications sans remettre en cause le principe de base ni compromettre les capacités scientifiques de l'instrument. Les points clés sont maintenant : l'adoption de la technique de compression d'impulsions pour réduire la puissance crête d'émission en conservant une excellente précision de mesure, la proposition d'un aérien constitué d'un réseau linéaire de sources phasées illuminant un réflecteur cylindro-parabolique déployable de taille plus réduite (6.5 x 6.5 m autorisant une résolution transverse de l'ordre de 2 km) et l'étude d'une fauchée unique étendue à 200 km de large sans pointage adaptatif du faisceau. Les spécifications sévères requises sur le niveau des lobes secondaires pour éviter les effets de contamination par l'écho de surface ont fait l'objet d'une investigation particulière (F/90.01). Par ailleurs, l'option 1 (radar bi-fréquence) reste envisageable en liaison possible avec les objectifs d'une mission étendue aux latitudes extra - tropicales tandis que l'option 2 (mode additionnel stéréoradar) ne semble pas devoir être maintenue dans la mesure où elle requiert un instrument spécifique auquel s'intéresse par ailleurs l'ESA (voir § "stereoradar spatial"). Une deuxième phase de l'étude industrielle est engagée pour approfondir l'analyse des points durs (architecture de l'aérien, performances des techniques de compression d'impulsions) en simulant le fonctionnement de l'ensemble électronique du radar.

*Algorithmes de restitution du taux précipitant (données simulées)*

Les études menées à partir de mesures radar simulées numériquement ont permis d'élaborer un ensemble d'algorithmes de restitution du taux précipitant. L'accent a été mis sur ceux permettant la restitution de profils de pluie avec un radar monofréquence (cas du radar de BEST en version nominale ou du radar de TRMM). On dispose en particulier d'un algorithme (KZS) original aux performances supérieures (notamment en ce qui concerne la stabilité et la sensibilité aux diverses causes d'erreur) à celles des approches classiques (voir Fig. 2.3). Il permet de corriger les effets d'atténuation sur le trajet, inévitables aux fréquences considérées, au moyen d'un traitement interactif des échos de pluie et de l'écho sur la surface (océan ou terre), utilisé comme contrainte dans l'analyse pour estimer l'atténuation totale subie par l'onde sur le trajet. Le principe mathématique et l'étude des performances de l'algorithme ainsi que l'effet de biais dû à la résolution du faisceau d'antenne, ont fait l'objet de communications en Colloque et de la rédaction d'articles (C/89.01, C/90.01, C/90.25, C/acc.20,A/acc.18, A/sou 01).

L'étude d'algorithmie s'appuyant sur les éléments méthodologiques précédents a été étendue au cas "bi-fréquence" (option 1 de BEST)et sera poursuivie pour atteindre un développement comparable au cas "monofréquence".

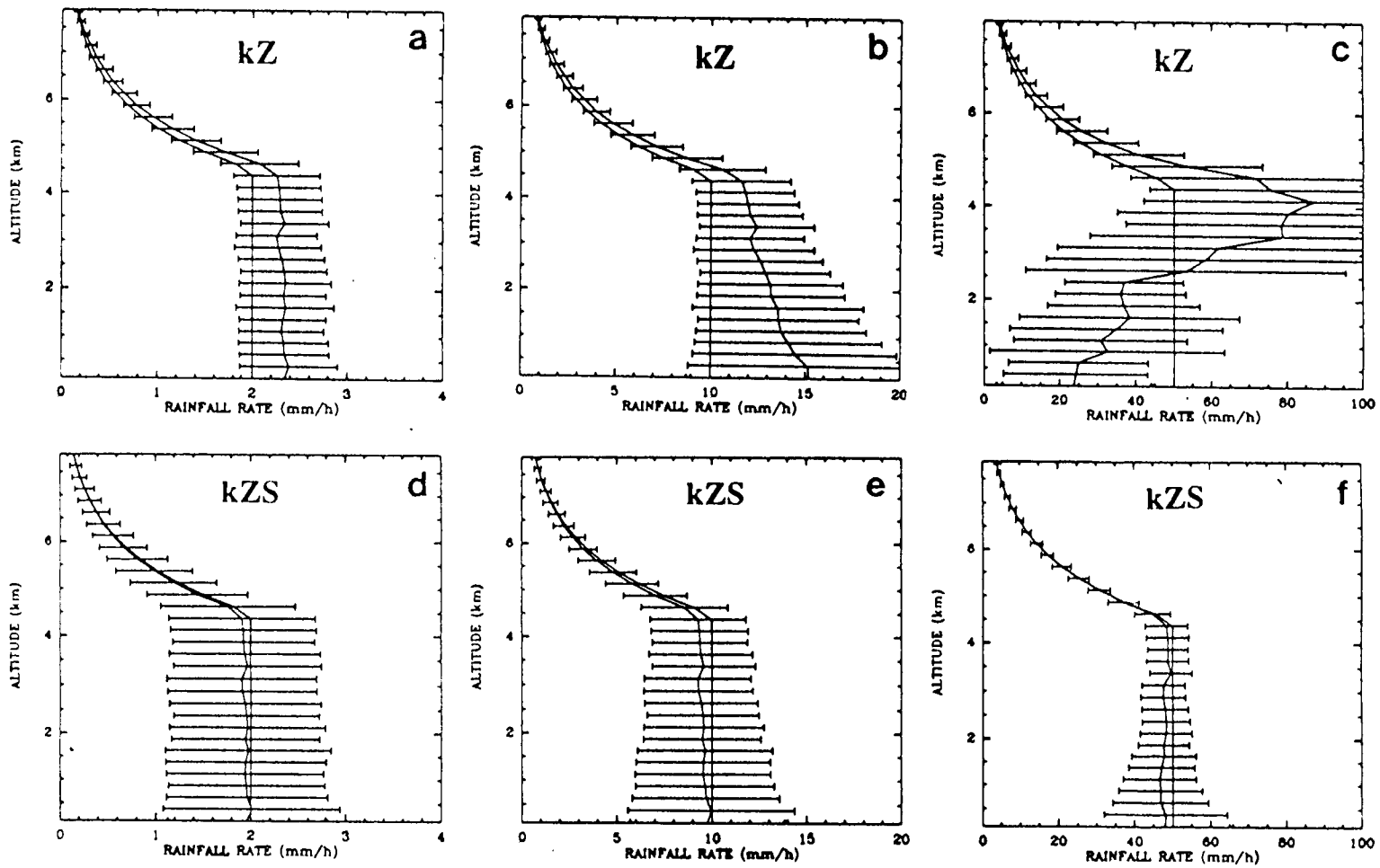



**Figure 2.3 :** *Exemple de reconstitution par simulation d'un profil de taux précipitant en fonction de l'altitude à partir d'un algorithme monofréquence sans contrainte sur l'atténuation totale (algorithme kZ- partie supérieure) et avec contrainte fournie par la mesure de l'écho de surface (algorithme kZS - partie inférieure). Le modèle de pluie est indiqué en trait plein et correspond à un taux précipitant maximum de 2 mm/h (cas a et d), 10 mm/h (cas b et e) et 50 mm/h (cas c et f). Dans chaque cas, le profil de pluie reconstitué est caractérisé par sa valeur moyenne et son écart type à partir de 100 réalisations statistiques. Les conditions de simulation utilisent les caractéristiques prévues pour le radar "pluie" de BEST à 13. 75 GHz (version nominale) avec visée au nadir, des variabilités statistiques de 50 % dans la distribution des gouttes et de 50% dans le coefficient de rétrodiffusion ainsi qu'une erreur d'étalonnage de 20% dans la constante radar. D'après Marzoug et Amayenc, 1991(Aacc18)*

Les simulations sont poursuivies pour étudier avec précision certaines limites et les moyens d'y remédier : comportement asymptotique aux faibles taux précipitants, incertitudes dues aux variations du coefficient de rétrodiffusion de la surface de l'océan sous l'effet du vent ou de l'impact des gouttes de pluie, etc...Elles permettront également de fixer définitivement les performances algorithmiques dans la configuration qui sera finalement adoptée pour le radar.

*Tests à partir de données aéroportées*

L'utilisation de données réelles constitue un préalable indispensable pour tester les performances des algorithmes de restitution des profils de pluie depuis l'espace. Une telle étude a été engagée depuis 1990 avec le soutien du PAMOS de l'INSU. Elle s'appuie sur des données (fournies par la NASA/ GSFC) acquises en 1985-86 près de Wallops Islands par un radar bi-fréquence aéroporté (avion P3 de la NASA) simulant une configuration spatiale. Elle bénéficie depuis peu de l'adjonction de nouvelles données acquises en 1989 dans une expérience renouvelée (avion T39 de la NASA).

Hormis la méthode par rétrodiffusion, qui constitue l'approche standard d'estimation de la pluie à partir de radars au sol sans correction de l'atténuation, nous avons developpé l'application de trois algorithmes corrigeant l'atténuation, utilisables dans la configuration "monofréquence" du radar de BEST (ou de TRMM). La redondance des résultats a été mise a profit pour élaborer une procédure de comparaisons croisées des estimations de pluie. Les différences de sensibilité aux mêmes causes d'erreur ont permis de définir une méthodologie originale de validation des profils de pluie obtenus. Les premiers résultats ont été communiqués en Colloque (C/acc.18). Ils ne concernent encore que des études de cas et nous prévoyons le développement de tests statistiques, incluant également le cas des algorithmes "bi-fréquence".

### 2.3.2 STEREORADAR SPATIAL

Une étude sur contrat avec l'ESA/ ESTEC a permis de démontrer l'intérêt scientifique et de définir les spécifications techniques d'un stéréoradar spatial dévolu à la mesure de la pluie à l'échelle globale.

Obtenus à partir de mesures simulées tenant compte des éléments spécifiques à une configuration spatiale (dynamique et précision des mesures, effet de remplissage inhomogène du lobe lié à la résolution spatiale, influence de la stabilité de la plate-forme, etc...), les résultats présentent une comparaison systématique des performances de l'algorithme stéréoradar (double faisceau) et des algorithmes plus conventionnels utilisant un radar simple faisceau (du type BEST) à une ou deux fréquences, dans la restitution des profils de pluie (voir Fig. 2.4). La supériorité de l'algorithme stéréoradar, seul capable d'opérer avec la même efficacité au dessus de l'océan et de la terre sans hypothèses sur la nature des hydrométéores, a été mise en évidence. Dans le cas de pluies faibles ou stratiforme, l'analyse stéréoradar devient inopérante mais peut aisément être prolongée par l'utilisation, d'un algorithme simple faisceau (cf: ci-dessus).

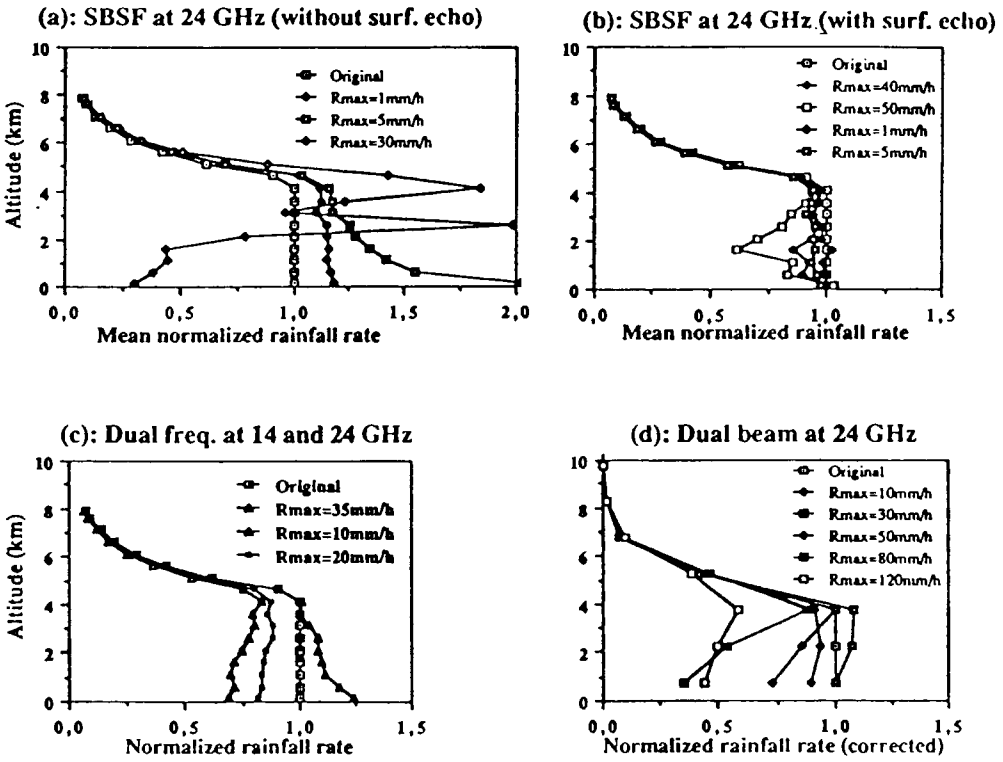



**Figure 2.4** : *Comparaison globale de quatre algorithmes : (a) SBSF à 24 GHz sans echo de surface : (b) SBSF à 24 GHz avec écho de surface, : (c) double fréquence à 24 GHz et 13.8 GHz : (d) stéréoradar à 24 GHz [G90.08]*

L'analyse de l'ensemble des contraintes technologiques d'un stéréoradar spatial a conduit à proposer un système optimal fonctionnant à 24 GHz avec deux faisceaux pointant respectivement vers l'avant et vers l'arrière à 20° du nadir. En outre, l'étude indique les caractéristiques requises pour munir le radar de la capacité additionnelle de réaliser des mesures Doppler, offrant la possibilité d'accéder non seulement au champ de précipitations mais également à des informations, d'un intérêt scientifique majeur, sur les mouvements de l'air dans les zones précipitantes observées.

La présention finale du rapport de fin d'étude (G/90.08) a eu lieu à l'ESTEC en juin 1990. Un premier ensemble de résultats a été présenté en Colloque (C/acc91.33) et soumis à publication (A/sou30).

## 2.4 EXPLOITATION SCIENTIFIQUE DE FRONTS 87

Rappelons que les travaux de recherche entamés au CRPE en 1988 dans le cadre de l'expérience FRONTS 87 portent sur l' étude des circulations frontales aux moyennes et petites échelles à partir des mesures acquises par les radars RONSARD, les radars ST (UHF/VHF) et les sodars . Ils font suite aux travaux effectués sur les expériences FRONTS 77, et FRONTS 84 (A/89.14, A/90.19, A/sou.13). Les cas étudiés couvrent les périodes d'observations intensives (POI) du 12-13 Janvier 1988 (POI n°8) et du 9 Janvier 1988 (POI n°7). Les travaux qui ont abouti cette année concernent l'interaction entre la microphysique, la thermodynamique et la dynamique de la bande étroite de front froid (BEFF) associée à la discontinuité frontale froide, et les mécanismes de moyenne échelle à l'origine de l'organisation en bandes des précipitations au sein de la bande large nuageuse de transport d'air chaud. Les études entreprises cette année concernent, d'une part, la caractérisation des oscillations de vent associées à un passage frontal et les processus dynamiques associés au jet de basse couche et, d'autre part, l'interaction d'échelles (synoptique/moyenne/convective) et le rôle des processus microphysiques dans la dynamique des bandes larges de précipitations. L'étude des ondes et des circulations agéostrophiques associées aux passages frontaux dans la troposphère et la stratosphère à l'aide des données du réseau de radars ST a également été entreprise en cette fin d'année.

Ces travaux ont pu progresser de façon relativement rapide grâce au nouvel outil, dont s'est doté le CRPE, qu'est la base de données "FRONTS 87" (F/89.18, F/90.19).

D'ores et déjà un bilan provisoire des acquis scientifiques de FRONTS 87 peut être dressé.

### 2.4.1 ETUDE DE LA BANDE ETROITE DE FRONT FROID DE LA POI 8

Cette étude a été réalisée à partir des observations effectuées par les radars RONSARD en mode COPLAN et à l'aide des méthodes de restitutions thermodynamique et microphysique développées au laboratoire (avec une meilleure représentation de la phase glace des hydrométéores) (C/89.04, F/89.24,C/89.29, C/90.24, C/acc19).

Elle avait bour but de répondre à l'un des objectifs de l'expérience FRONTS 87 concernant le rôle de la relaxation de chaleur latente dans la dynamique de la discontinuité frontale. Un résultat important concerne le rôle primordial de la fonte des graupels dans les échanges de chaleur latente à petite échelle. Ce processus microphysique permet de décrire à lui seul le refroidissement et donc le gradient de température au sol observé au passage de la discontinuité frontale. Cette étude a permis de montrer que la croissance des précipitations s'effectuait essentiellement par givrage, donc en phase glace (d'où la nécessité d'inclure la phase glace dans le modèle de restitution) et de mettre en évidence l'importance dans une situation frontale des interactions entre phase liquide et phase glace.

### 2.4.2 ETUDE DES MECANISMES DYNAMIQUES A L'ORIGINE DE L'ORGANISATION EN BANDES LARGES DE MOYENNE ECHELLE (~100 KM) DES PRECIPITATIONS.

L'objectif de cette étude était de diagnostiquer le ou les mécanismes dynamiques qui conduisent à l'organisation en bandes de moyenne échelle des précipitations frontales observées.

Cette étude repose non seulement sur l'analyse des observations effectuées par les radars RONSARD, mais également sur l'utilisation des données complémentaires obtenues par le réseau français de trois radiosondages, par le réseau de radars franco-britannique et par le satellite METEOSAT.

Cette étude, effectuée sur la POI 7 et entreprise sur la POI 8, comporte trois aspects :

*Une description du contexte synoptique dans lequel apparaissent ces bandes de pluie larges (effectuée pour les deux POIs).*

La structure thermodynamique et dynamique du front (pour le 9 janvier et le 12-13 Janvier) a pu être obtenue. En particulier des estimations du champ de vitesses verticales dans une coupe verticale tranverse au front (700 km horizontalement et 5 km verticalement) et de paramètres clef de la physique des fronts, tels que le forçage frontogénétique et les tourbillons potentiels sec et humide, ont pu être obtenues à partir des données du réseau de trois radiosondages. Ce travail a permis de décrire la circulation agéostrophique transverse au front due au forçage de grande échelle et d'extraire les caractéristiques des circulations de moyenne échelle associées au bandes de pluies observées (en particulier l'interprétation des fluctuations de vent horizontaux et verticaux en terme de rouleaux ayant une énergétique

caractéristique de l'Instabilité Symétrique Conditionnelle (ISC)). Il a permis de montrer l'existence d'une zone relativement large instable vis à vis de l'ISC sur le bord ouest de la ceinture de transport d'air chaud. L'origine de cette zone d'instabilité n'est pas encore bien expliquée et est l'objet de plusieurs hypothèses qui devront être confrontées aux observations. Il a permis de confirmer, comme le suggéraient certaines études effectuées précédemment, la nécessité du forçage frontogénétique pour maintenir ces structures en rouleaux de moyenne échelle.

Une étude comparative a également pu être entreprise entre la POI 7 , situation frontale classique avec un forçage géostrophique bien marqué impliquant les 4 premiers kilomètres de l'atmosphère et une zone de tourbillon potentiel négatif limité spatialement et la POI 8, situation frontale atypique avec un forçage géostrophique inexistant, un forçage agéostrophique relativement important mais n'impliquant que le premier kilomètre de l'atmosphère et une zone plus étendue de tourbillon potentiel négatif.

*le développement d'un outil diagnostique pour comprendre ce contexte synoptique*

Ce modèle numérique relativement simple repose sur la théorie semigéostrophique de formation des discontinuité frontales proposée par Hoskins en 1971.

Le premier objectif était de confronter cette théorie aux observations. Pour ce faire , contrairement aux travaux effectués par différents auteurs (Thorpe et Nash, 1984 ; Keyser et Pecnik,1985 ;...) dans le passé, les champs thermodynamique et dynamique réellement observés sont introduits dans le modèle. L'intérêt de cette approche est de pouvoir , à partir des caractéristiques réelles des zones baroclines observées, de diagnostiquer les circulations agéostrophiques théoriquement prévues et de les confronter aux observations correspondantes (par exemple la vitesse verticale déduite du réseau de trois RS et celle prévue). Cela permet également d'estimer l'importance relative des differents termes de forçage de grande échelle et le rôle sur la circulation ageostrophique observée de différents processus tel que la relaxation de chaleur latente dans l'ascension barocline , la convection droite au niveau de la discontinuité frontale froide, la friction au sol, l'instabilité symétrique conditionnelle. Dès maintenant des résultats prometteurs ont pu être obtenus pour la POI 7 (C/90.19, C/acc. 13). Ils montrent un bon accord entre la théorie et l'observation avec en particulier un rôle important de la friction dans la couche limite où se localise la majeure partie de la convergence agéostrophique. Un exemple de comparaison entre la vitesse verticale prévue par le théorie et celle observée au passage du front froid du 9 Janvier 1988 est donné figure 5.

*La circulation tridimensionnelle de l'air au sein de ces bandes larges de précipitations*

Ce travail, qui a abouti en milieu d'année pour la POI 7 débute seulement pour la POI 8.

Rappelons que l'objectif principal était de visualiser la circulation tridimensionnelle de l'air au sein des bandes de précipitations et de les confronter à celles prédites par la théorie ISC (F/89.19, A/sou 14, C/acc.14, C/acc 32). Un exemple de ce type de circulation au sein d'une bande préfrontale est donné figure 6. Cette comparaison montre que cette théorie peut en effet expliquer l'origine de l'organisation en bande des précipitations frontales. Cependant elle montre également la nécessité d'un forcage de grande échelle pour entretenir ces structures et un rôle non négligeable des processus microphysiques (en phase glace) dans la dynamique de ces bandes. Enfin l'importance de ces circulations en rouleaux sur la génération de zones instables inertiellement et convectivement a pu être montrée. Ces zones d'instabilité convective génèrent de la convection droite relativement peu développée au sommet des rouleaux, ce qui permet d'augmenter l'efficacité des précipitations.

### 2.4.3 CARACTERISATION DES OSCILLATIONS DE VENT ASSOCIEES A UN PASSAGE FRONTAL (POI 8)

Cette étude concerne les oscillations de vent associées au passage du front froid observé par le radar ST (UHF/961 MHz) de Brest les 12-13 Janvier 1988 pendant la POI 8. Un travail de comparaison entre ces observations et les théories concernant leur sources (ajustement de la zone frontale à un état équilibré, ...), leur entretien (par canalisation dans l'air froid entre le sol et la surface frontale, entretien par la relaxation de chaleur latente,...) et leurs caractéristiques (longueur d'onde, vitesse de phase,...) est en cours. Les premiers résultats montrent l'existence d'ondes de gravité piégées dans l'air froid postfrontal entre le sol et la surface frontale, en accord avec l'une des théories proposées pour expliquer l'origine de ces ondulations. Un exemple de ce type d'ondulation vue par le radar ST est donné figure 7.

### 2.4.4 INTERACTION D'ECHELLES

Cette étude a débuté en 1990 grâce en particulier au développement du nouvel outil diagnostique mentionné auparavant.

L'importance relative des différents processus (relaxation de chaleur latente, processus microphysiques,...) sur la circulation agéostrophique observée et l'interaction qui existe entre les différentes entités qui constituent le système frontal (jet de basse couche, bande étroite de front froid, bandes larges) est étudiée.

caractéristique de l'Instabilité Symétrique Conditionnelle (ISC)). Il a permis de montrer l'existence d'une zone relativement large instable vis à vis de l'ISC sur le bord ouest de la ceinture de transport d'air chaud. L'origine de cette zone d'instabilité n'est pas encore bien expliquée et est l'objet de plusieurs hypothèses qui devront être confrontées aux observations. Il a permis de confirmer, comme le suggéraient certaines études effectuées précédemment, la nécessité du forçage frontogénétique pour maintenir ces structures en rouleaux de moyenne échelle.

Une étude comparative a également pu être entreprise entre la POI 7 , situation frontale classique avec un forçage géostrophique bien marqué impliquant les 4 premiers kilomètres de l'atmosphère et une zone de tourbillon potentiel négatif limité spatialement et la POI 8, situation frontale atypique avec un forçage géostrophique inexistant, un forçage agéostrophique relativement important mais n'impliquant que le premier kilomètre de l'atmosphère et une zone plus étendue de tourbillon potentiel négatif.

*le développement d'un outil diagnostique pour comprendre ce contexte synoptique*

Ce modèle numérique relativement simple repose sur la théorie semigéostrophique de formation des discontinuité frontales proposée par Hoskins en 1971.

Le premier objectif était de confronter cette théorie aux observations. Pour ce faire , contrairement aux travaux effectués par différents auteurs (Thorpe et Nash, 1984 ; Keyser et Pecnik,1985 ;...) dans le passé, les champs thermodynamique et dynamique réellement observés sont introduits dans le modèle. L'intérêt de cette approche est de pouvoir , à partir des caractéristiques réelles des zones baroclines observées, de diagnostiquer les circulations agéostrophiques théoriquement prévues et de les confronter aux observations correspondantes (par exemple la vitesse verticale déduite du réseau de trois RS et celle prévue). Cela permet également d'estimer l'importance relative des differents termes de forçage de grande échelle et le rôle sur la circulation ageostrophique observée de différents processus tel que la relaxation de chaleur latente dans l'ascension barocline , la convection droite au niveau de la discontinuité frontale froide, la friction au sol, l'instabilité symétrique conditionnelle. Dès maintenant des résultats prometteurs ont pu être obtenus pour la POI 7 (C/90.19, C/acc. 13). Ils montrent un bon accord entre la théorie et l'observation avec en particulier un rôle important de la friction dans la couche limite où se localise la majeure partie de la convergence agéostrophique. Un exemple de comparaison entre la vitesse verticale prévue par le théorie et celle observée au passage du front froid du 9 Janvier 1988 est donné figure 2.5.

*La circulation tridimensionnelle de l'air au sein de ces bandes larges de précipitations*

Ce travail, qui a abouti en milieu d'année pour la POI 7 débute seulement pour la POI 8.

Rappelons que l'objectif principal était de visualiser la circulation tridimensionnelle de l'air au sein des bandes de précipitations et de les confronter à celles prédites par la théorie ISC (F/89.19, A/sou 14, C/acc.14, C/acc 32). Un exemple de ce type de circulation au sein d'une bande préfrontale est donné figure 2.6. Cette comparaison montre que cette théorie peut en effet expliquer l'origine de l'organisation en bande des précipitations frontales. Cependant elle montre également la nécessité d'un forcage de grande échelle pour entretenir ces structures et un rôle non négligeable des processus microphysiques (en phase glace) dans la dynamique de ces bandes. Enfin l'importance de ces circulations en rouleaux sur la génération de zones instables inertiellement et convectivement a pu être montrée. Ces zones d'instabilité convective génèrent de la convection droite relativement peu développée au sommet des rouleaux, ce qui permet d'augmenter l'efficacité des précipitations.

### 2.4.3 CARACTERISATION DES OSCILLATIONS DE VENT ASSOCIEES A UN PASSAGE FRONTAL (POI 8)

Cette étude concerne les oscillations de vent associées au passage du front froid observé par le radar ST (UHF/961 MHz) de Brest les 12-13 Janvier 1988 pendant la POI 8. Un travail de comparaison entre ces observations et les théories concernant leur sources (ajustement de la zone frontale à un état équilibré, ...), leur entretien (par canalisation dans l'air froid entre le sol et la surface frontale, entretien par la relaxation de chaleur latente,...) et leurs caractéristiques (longueur d'onde, vitesse de phase,...) est en cours. Les premiers résultats montrent l'existence d'ondes de gravité piégées dans l'air froid postfrontal entre le sol et la surface frontale, en accord avec l'une des théories proposées pour expliquer l'origine de ces ondulations. Un exemple de ce type d'ondulation vue par le radar ST est donné figure 2.7.

### 2.4.4 INTERACTION D'ECHELLES

Cette étude a débuté en 1990 grâce en particulier au développement du nouvel outil diagnostique mentionné auparavant.

L'importance relative des différents processus (relaxation de chaleur latente, processus microphysiques,...) sur la circulation agéostrophique observée et l'interaction qui existe entre les différentes entités qui constituent le système frontal (jet de basse couche, bande étroite de front froid, bandes larges) est étudiée.

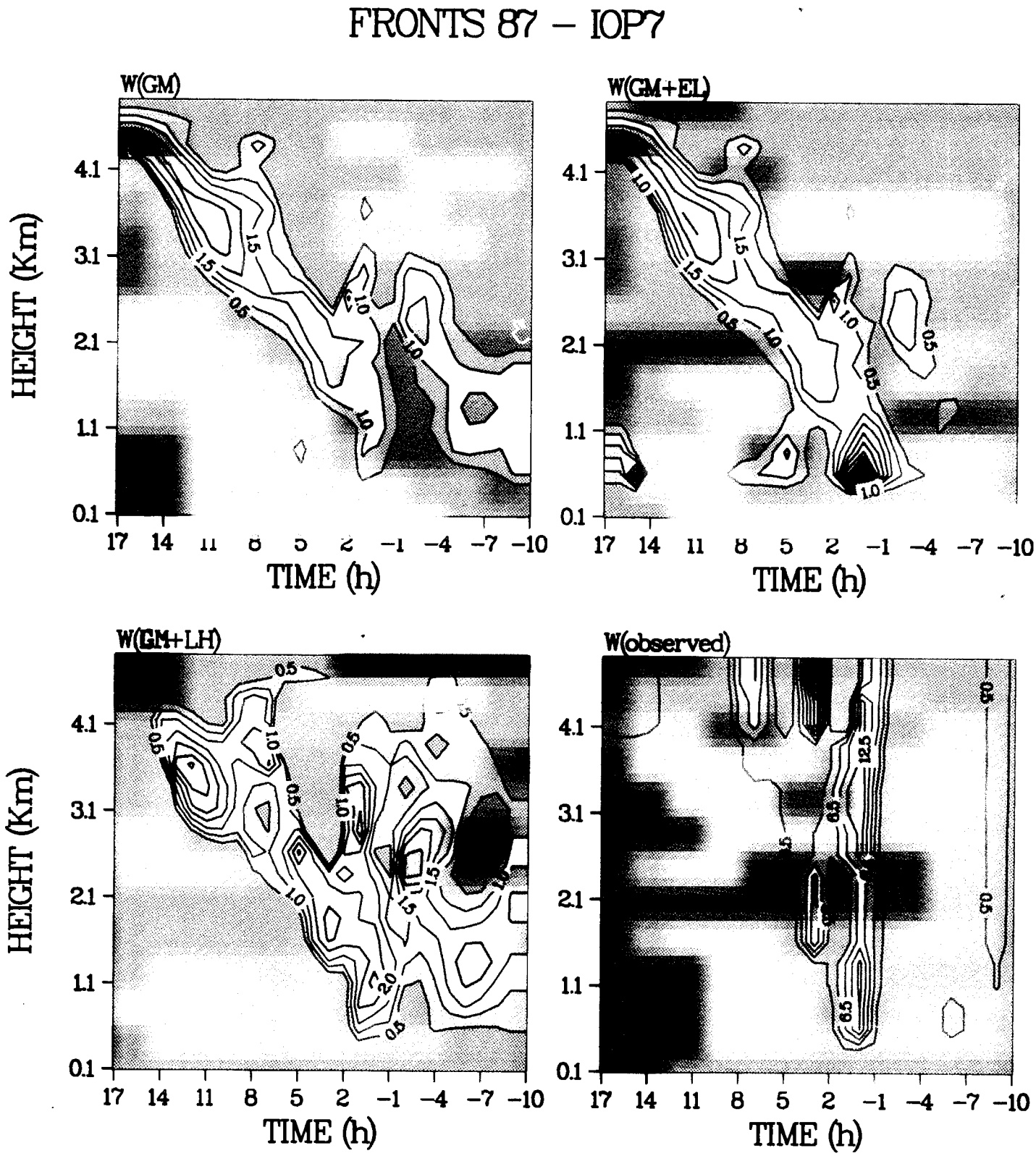



**Figure 2.5 :** *Isocontours de la vitesse verticale W (valeurs positives uniquement) prévue par le théorie (a) W(GM) sans prise en compte de la friction au sol et de la relaxation de chaleur latente, (b) W(GM+EL) avec la friction au sol, (c) W(GM+LH) avec relaxation de chaleur latente, et observée W(observed) dans une coupe verticale transverse au front froid observée le 9 Janvier 1988 (les 27 heures d'observations correspondent à 750km).*

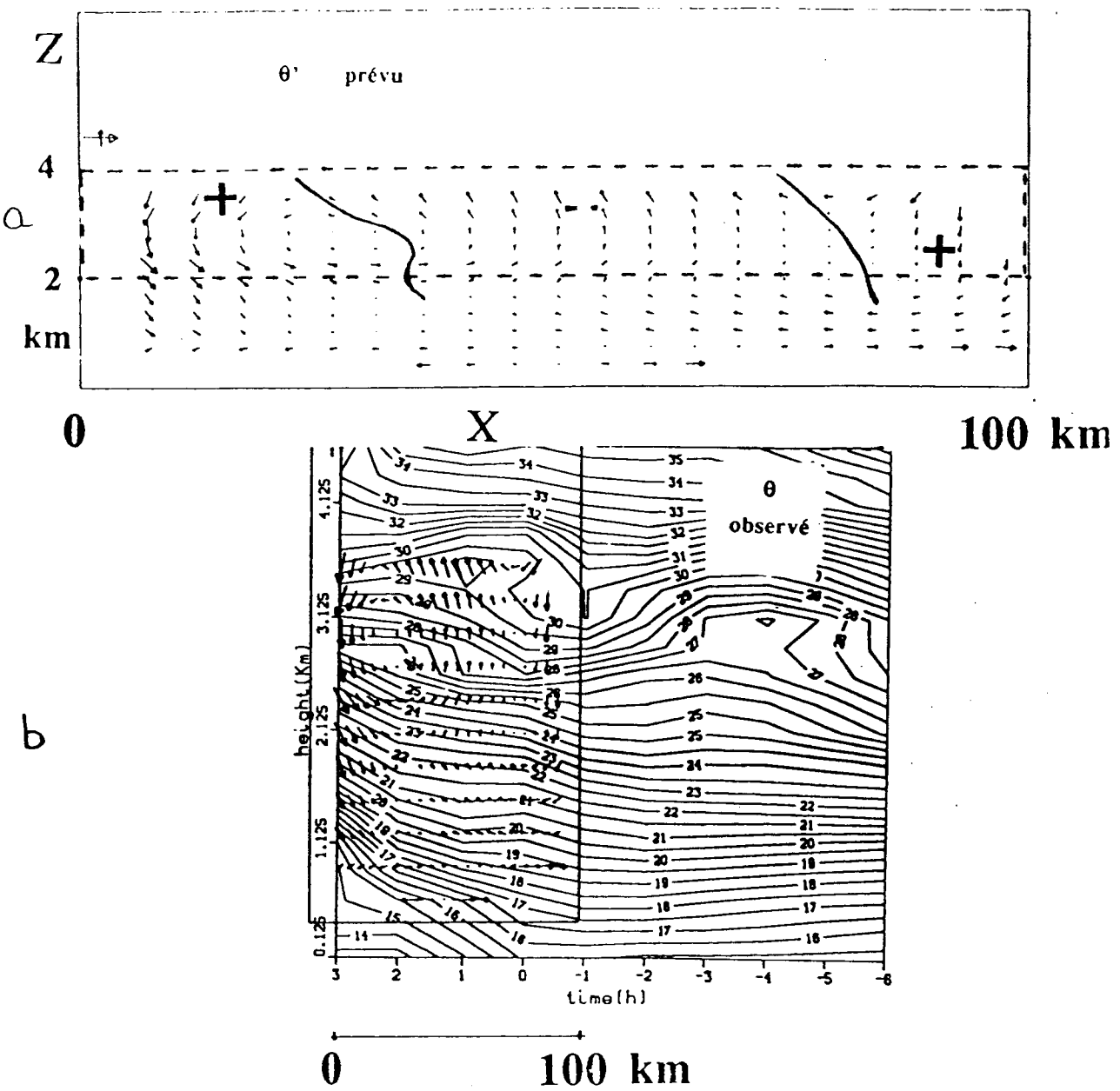



**Figure 2.6 :** *(a) Coupe verticale de la circulation trimensionnelle déduite des données des radars RONSARD au sein d'une bande de précipitation frontale. Les zones de refroidissement et de réchauffement (en température potentielle) prévues par la théorie ISC sont indiquées.*

*(b) Champ de température potentielle, observé dans une coupe perpendiculaire à la bande de précipitation frontale ( le champ de vitesse est superposé), qui montre que les zones de réchauffement et refoidissement prévues sont effectivement observées.*

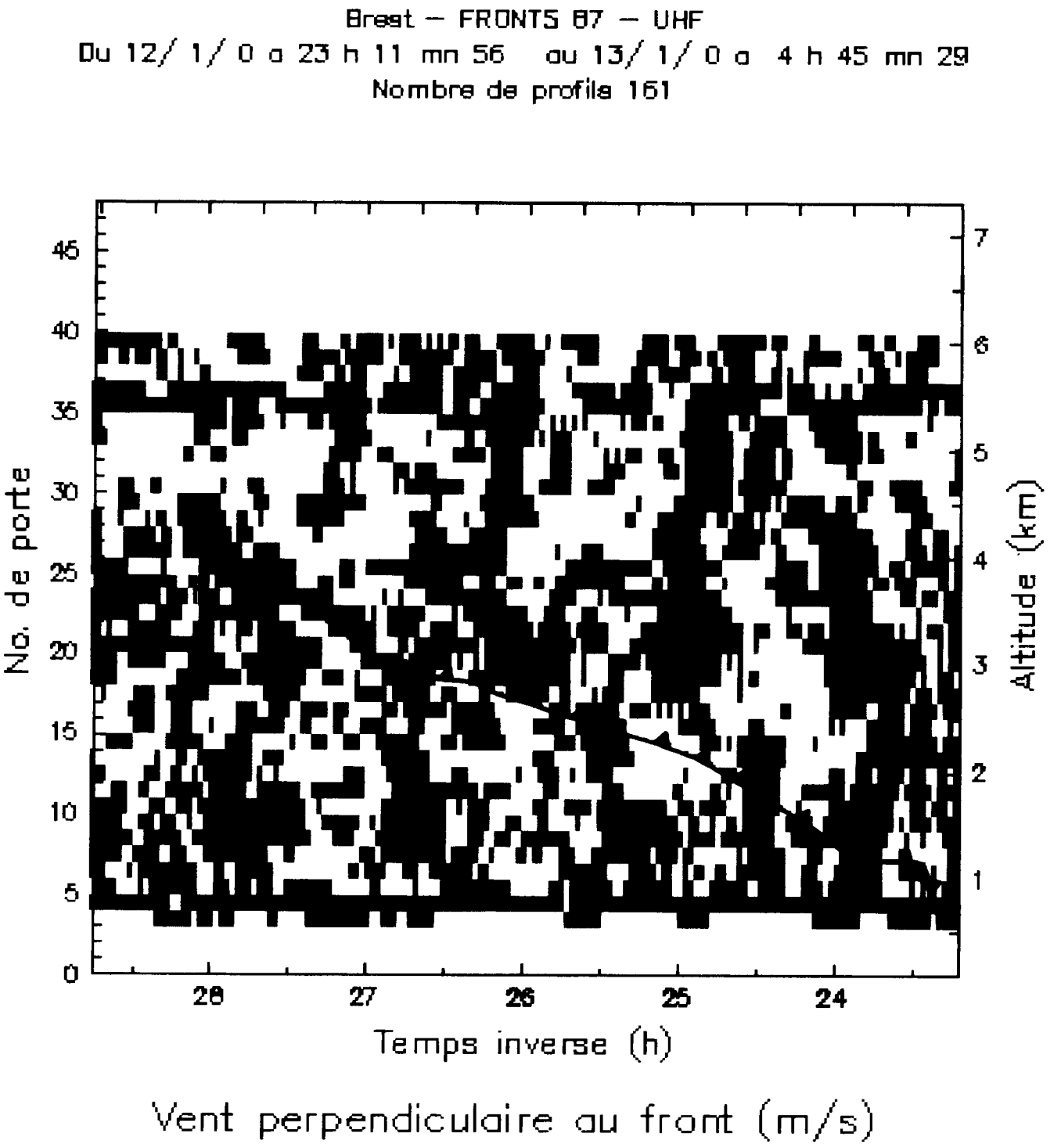



**Figure 2.7 :** *Exemple de signature des ondulations, dans une coupe verticale observées par le radar ST(UHF), sur la composante du vent perpendiculaire au front froid du 12-13 Janvier 1988. La localisation de la surface frontale est indiquée par la notation classique météo (triangles noires).*

D'autre part, l'étude de l'interaction entre la bande étroite de front froid et une bande large qui la surmonte sera poursuivie.

L'état actuel des travaux, en particulier l'aboutissement de certains d'entre eux, permet d'envisager le développement de collaborations avec d'autres équipes, en particulier avec la communauté "modélisation". Ces travaux pourront servir de base, en particulier, aux simulations des bandes de précipitations observées le 9 janvier 1988 (POI 7) (diagnostics énergétiques de l'ISC) et de la génération des zones de tourbillon potentiel négatif observées effectuées à l'aide d'une version bidimensionnelle du modèle PERIDOT et du modèle non-hydrostatique du CNRM. On pourra alors étudier plus précisement le rôle du forcage comme source externe de l'ISC et le comportement temporel de l'ISC ( cycle du type : génération de zone ISC par le forçage--->relaxation de ces zones instables par les rouleaux ISC qui neutralise l'atmosphère---> puis génération de nouveau d'ISC par le forçage).

### 2.4.5 ROLE DU JET DE BASSE COUCHE ET DES MECANISMES DYNAMIQUES ASSOCIES, SUR LA DYNAMIQUE INTERNE DE LA BEFF ET SUR LA STRUCTURE HORIZONTALE ET VERTICALE DE LA SURFACE FRONTALE

La nouvelle étude entreprise en cette fin d'année au laboratoire concerne le rôle du jet de basse couche sur la dynamique interne de la BEFF et de la discontinuité frontale, et son couplage avec les différentes couches atmosphériques. Dans cette étude seront donc décrits de façon détaillée la dynamique interne de ce jet et son lien avec le contexte synoptique. Ce travail sera basé principalement sur l'analyse des données du réseau ST et sodar de moyenne échelle mais également sur les données d'autres radars (RONSARD+ RABELAIS). Pour mener à bien ce travail une nouvelle filière d'analyse des données ST devra être développée pour pouvoir extraire des données combinées du réseau de radars ST, de stations de radiosondage et de sodars, les paramètres clefs de ces théories (tourbillon potentiel, friction au sol,..) et les grandeurs caractérisant la dynamique interne à mésoéchelle de ce jet (divergence, rotationnel...). Une utilisation intensive du nouvel outil diagnostique décrit auparavant sera faite afin de mieux appréhender le lien entre ce jet et le contexte synoptique.

### 2.4.6 MICROPHYSIQUE DANS UNE BANDE LARGE

Ce travail s'effectue dans deux voies, l'une expérimentale concernant l'utilisation du modèle de restitution dans le cas d'une bande large observée le 9 Janvier 1988 (POI 7) et l'autre plutôt théorique où l'on s'intéresse à l'influence des différents processus microphysiques sur la thermodynamique dans un cas d'école le plus proche possible de l'observation, simulant la dynamique d'un rouleau ISC. Cette étude théorique tente de tester l'idée (formulée par Clough et Franks 90) que les descentes de moyenne échelle dans les bandes larges s'éffectuent plutôt selon les adiabatiques saturées que selon les adiabatiques sèches (comme on l'observe sur la POI 7 ) grâce au processus d'évaporation de particules de glace.

### 2.4.7 LES ONDES ASSOCIEES AUX PASSAGES FRONTAUX

Cette étude , entreprise en 1990, a pour objectif d'étudier les mécanimes de déclenchement, d'entretien des ondes observées lors de fronts 87 et leur lien avec le contexte synoptique , et les phénomènes convectifs de petite et moyenne échelle.

Il essaye également d'évaluer l'efficacité relative des différentes sources et mécanismes d'entretien de ces ondes proposées dans la littérature .Cette étude entreprise sur la POI 8 sera également étendue aux autres POIs de l'expérience FRONTS 87.

### 2.4.8 LES CIRCULATIONS AGEOSTROPHIQUES DEDUITES DES DONNEES DU RESEAU DE RADARS ST

L'objectif de ce travail (C/acc 21) est d'effectuer des comparaisons systématiques entre les circulations agéostrophiques déduites des observations du réseau de radar ST et radiosondages et celles prédites par la théorie semi-géostrophique.Les différentes étapes de ce travail sont :

- l'analyse fine des mesures Doppler effectuées par les radars ST (en présence de pluie séparation des composantes pluie et air clair),
- la mise en évidence des circulations agéostrophiques et leur lien avec les différentes entités frontales (intrusion d'air stratosphérique, ceinture de transport d'air chaud, jet d'altitude, jet de basse couche),
- confrontation observation-théorie.

## B. PERSPECTIVES

## 2.5 PROUST

Diverses améliorations techniques sont en projet, en cours d'étude, ou en cours de réalisation :

- en cours de réalisation, développement d'un émetteur de 40 KW de puissance crête (la puissance d'émission est actuellement de 1 KW); l'amélioratiomn du rapport signal/bruit qui s'en suivra permettra d'élargir la gamme d'altitudes observables à l'interface troposhère - stratosphère,
- en cours d'étude, aménagement du processeur radar pour traiter 200 portes de distance simultanément (au lieu de 32 actuellement); il s'agit là encore d'une amélioration très substantielle, le mode de fonctionnement "haute résolution" étant actuellement sévèrement limité dans ses possibilités de couverture en altitude; cette couverture serait portée de 960 mètres à 6400 mètres,

- en projet, acquisition d'une antenne de 10 mètres transportable, faisant de PROUST un radar mobile, participant au réseau "recherche" de radars ST, et susceptible d'intervenir dans les expériences à mésoéchelle qui seront organisées ultérieurement par la communauté scientifique française.

## 2.6 ASTRAIA : CAMPAGNES FUTURES

Comme on l'a dit précédemment, c'est l'expérience TOGA/COARE qui fixe l'échéance de mise en sevice opérationnelle du radar aéroporté ASTRAIA. TOGA/COARE est une expérience qui cherche à observer le système couplé océan - atmosphère dans une région du globe particulièrement critique pour le climat de la planète: le réservoir d'eau chaude du Pacifique Ouest. Ce réservoir d' eau chaude stimule une convection profonde particulièrement active dans l'atmosphère terrestre. En retour l' énorme flux de précitations produit par la convection crée une couche d'eau douce superficielle qui altère la stucture de la couche de mélange océanique et influe sur sa dynamique. TOGA/COARE vise particulièrement à documenter les flux océaniques et atmosphérique en période perturbée (on sait en effet que ces flux sont mal paramétrés dans les modèles de circulation générale atmosphérique). Une vaste panoplie de moyens expérimentaux est mise en oeuvre: bateaux océanographiques, bouées fixes et dérivantes, réseau de radiosondages, avions instrumentés. Du point de vue atmosphérique, l'emphase est mise sur les moyens aéroportés, et en particulier sur les radars et les radiomètres micro-onde aéroportés. Dans ce contexte, les objectifs du CRPE relèvent de deux catégories :

- d'une part, on cherchera à étudier les flux de chaleur latente et sensible, de masse, et de quantité de mouvement induits dans l'atmosphère par la convection profonde, et à mettre en relation ces flux avec le champ atmosphérique de grande échelle,
- d'autre part, on profitera de la conjonction sur le même terrain d'expérimentation de différent types de radars aéroportés (simple fréquence, bi-fréquence, bi-faisceau), et de radiomètres multicanaux, pour procéder à des études d'algorithmie sur la restitution du champ d'atténuation micro-onde, et du champ de précipitations, avec application à la caractérisation du canal atmosphérique pour une liaison télécom.

Au delà de TOGA/COARE, un projet d'expérience sur les fronts de moyenne latitude est en gestation. Dans le contexte de ces futures expériences avec radar aéroporté, il est indispensable de disposer d'une réalité terrain assurée par un radar Doppler au sol. C'est pourquoi nous croyons à l'avenir d'au moins un des deux radar RONSARD, qu'il sera indispensable d'entretenir et de rénover dans les prochaines années.

## 2.7 BEST ET LE STEREORADAR SPATIAL

L'année 1992 devrait constituer un point tournant décisif dans l'évolution du projet BEST. Elle sera en effet marquée par la fin des travaux de phase A et la production du rapport associé. Elle verra également l'achèvement d'une étude (CNES-MATRA) d'accomodation de plate-forme visant à identifier des scénarios de mission possibles combinant tout ou partie des instruments prévus à l'origine. Ces éléments subiront la critique et l'appréciation du Comité Scientifique de l'expérience.

Compte tenu des contraintes de programmatique et des possibilités de coopération internationales, une nouvelle orientation de la mission n'est pas exclue. Les études techniques et scientifiques concernant chacun des instruments devront alors être utilisées, soit pour réactiver la mission BEST sous forme autonome, soit pour envisager une dissémination des instruments sur différentes plateformes avec, dans les deux cas, la nécessité d'opérer en coopération internationale. Le CNES organise, courant 1992, un Atelier international avec la NASA, la NASDA et l'ESA pour fixer l'interêt d'une future mission "à orbite peu inclinée" (type BEST) dédiée à GEWEX et pour susciter une coopération internationale au niveau de la réalisation d'éventuelles études instrumentales de phase B utilisant les développements existants. Ceci vaut bien entendu pour le radar "pluie" dont la conception actuelle laisse prévoir des performances supérieures à celles du radar de TRMM et qui pourrait alors apparaitre comme un instrument de "deuxième génération" à développer dans un contexte post-TRMM, pour la poursuite des mesures de précipitations à l'échelle globale.

Il faut noter que les travaux réalisés sur l'algorithmie d'exploitation des mesures du radar de BEST sont directement utilisables pour exploiter les données du radar de TRMM. Nous entendons contribuer également à ce dernier objectif en répondant aux futurs appels d'offres de la NASA et/ou du Japon.

Par ailleurs, les contacts maintenus avec l'ESA laissent espérer une suite de l'étude sur le radar double faisceau, dans une formulation à établir. Les perspectives d'implantation d'un stéréoradar sur une plate-forme spatiale, adaptée à l'emport d'expérences probatoires, restent à étudier. L'abandon probable de l'option stéréoradar pour le radar de BEST plaide en effet en faveur de la promotion d'un instrument spécifique (européen?), tel qu'il a été envisagé par l'ESA et avec son soutien. Dans ce contexte, le futur radar Doppler aéroporté ASTRAIA, ainsi que le radar "double faisceau" qui équipera l'avion P3/N.O.A.A., constitueront au préalable de puissants moyens expérimentaux pour valider la technique stéréoradar à partir de données réeelles.

## 2.8 EXPLOITATION DES CAMPAGNES DE MESURES

Le plus gros de l'exploitation scientifique de FRONTS 87 a été fait. Néanmoins cette expérience continuera à mobiliser les chercheurs d'ABM dans les deux années à venir. Les efforts devront se tourner vers les autres campagnes de mesures qui ont été, ou seront conduites en 90-91. Tout d'abord, la campagne associant

radar ST et radar RONSARD sur les cisaillements de vent les basses couches, financée par le Service Technique de la Navigation Aérienne. Ensuite, l'expérience PYREX, organisée par la Météorologie Nationale en automne 90-91, à laquelle nous avons participé avec un radar ST, et qui était destinée à observer la déformation de l'écoulement atmosphérique produit par la barrière pyrénéenne. Enfin, l'expérience CAPE (Floride, juillet-août 91) à laquelle nous participerons très vraisemblablement avec l'avion P3 de la NOAA équipé par nous d'une antenne bi-faisceau, copie conforme de celle prévue pour ASTRAIA. Cette dernière expérience qui rassemble sur le terrain les trois radar Doppler CP-2, CP-3, et CP-4 du NCAR (Le CP-2 disposant également de la diversité de fréquence et de la diversité de polarisation), constituera pour nous un excellent banc d'essai pour la stratégie d'échantillonnage à double faisceau, et pour les logiciels d'exploitation scientifique des données que nous préparons pour ASTRAIA.

SIGLES ET ACRONYMES UTILISES

ESA : European Space Agency
ASTRAIA : Analyse STeréoscopique par RAdar à Impulsions Aéroporté
BEST : Bilan Energétique du Système Tropical
CNES : Centre National d'Etudes Spatiales
ESTEC : European Space and Research Technology Center
GEWEX : Global Energy and Water cycle Experiment
GSFC : Goddard Space Flight Center
INSU : Institut National des Sciences de l'Univers (CNRS)
NASA : National Aeronautics and Space Administration (USA)
NASDA : National Space Development Agency (Japon)
NCAR : National Center for Atmospheric Research (USA)
NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration (USA)
OMM : Organisation Météorologique Mondiale
PAMOS : Programme Atmosphère Météoroklogique et Océan Superficiel
TRMM : ropical Rainfall Measurement Mission

# 3 - SCIENCES POUR L'OBSERVATION DE LA TERRE

## INTRODUCTION

Les deux dernières années (1989/1990) ont marqué pour le département "OBservation de la Terre" (OBT) une période de transition : une transition sur les plans thématiques avec un engagement affirmé sur la physique de l'interface océan/atmosphère, une transition également sur le plan technique avec l'achèvement du radiomètre micro-onde de ERS-1 et l'attente anxieuse du lancement. Mais le véritable tournant n'est pas venu de l'évolution normale des thèmes d'étude. Le bouleversement de nos habitudes a été bien plus tragique avec la disparition de René Bernard en février 1990. Une fois dépassé le choc des premiers jours, il a fallu reprendre ses activités et les mener à bien en tentant d'être aussi efficace qu'il l'aurait été. Ceci a été possible grâce à la mobilisation de tous les chercheurs du département et aux efforts des équipes techniques. Cela n'a pas été sans conséquence notamment sur le plan de valorisation de nos recherches sur l'application de l'observation de la Terre en terme de publications scientifiques.

Ce rapport est divisé en quatre sections se rapportant aux activités du département :

- Physique de l'atmosphère et couche limite,
- Bilan énergétique de la surface de l'océan,
- Bilan énergétique de la surface des continents,
- Développements instrumentaux.

## A. RESULTATS

## 3.1 PHYSIQUE DE L'ATMOSPHERE ET COUCHE LIMITE PLANETAIRE

### 3.1.1 ECOULEMENTS A MOYENNE ECHELLE

Les travaux concernant la dynamique de la couche limite à moyenne échelle ont été, durant ces dernières années, orientés vers l'étude des écoulements sur terrain complexe. Les sodars du CRPE ont été engagés dans des campagnes de mesures internationales portant sur des thèmes différents :

- *Mesogers 84* : écoulement sur terrain vallonné et à végétation diversifiée (bois, cultures),
- *Hapex-Mobilhy 86* : écoulement sur couvert forestier,
- *Pyrex 90* : écoulement près d'un relief important (les Pyrénées).

Pour chacune de ces campagnes, des bases de données ont été développées, permettant ainsi, bien après la fin des phases d'observations, de continuer les travaux scientifiques.

*Mesogers 84*

A partir des mesures de Mesogers 84, septembre et octobre 1984, des études sur la couche limite nuageuse et sur les nombreux systèmes frontaux observés ont été menées [A 90.35, A 91.05, A 90.37, B 90.08]. Les études à long terme, faites en collaboration avec le département des sciences atmosphériques de U.C.L.A. (University of California Los Angeles) se sont orientées vers l'analyse des modifications des propriétés de la couche limite lors du passage de perturbations météorologiques et l'étude des ondes de gravité associées aux fronts, Géra et Weill (1991) Ralph et al. (1991), ont montré que les observations du sodar permettent d'identifier la signature d'un front du type "Gust front". L'analyse des ondes de gravité associées à cet événement montre la présence d'ondes de Kelvin-Helmholtz.

*Hapex-Mobilhy 86*

Durant cette campagne, [B 89.12, F 89.29, A acc 20] les trois sodars du CRPE ont fonctionné pendant une période de 7 semaines. Un premier sodar et le minisodar sondaient sur un site forestier, le deuxième sodar sondant une clairière. L'analyse comparée des profils de vents mesurés par les deux sodars, a permis d'estimer pour la première fois la différence de tension de surface entre deux types de couverts : forêt et clairière (Mazaudier & Weill, 1989).

Une étude statistique des profils de vents dans la couche de surface (minisodar) a montré que quelles que soient les conditions de stabilité de l'atmosphère, le profil de vent peut être approché par une loi logarithmique simple valable pour des conditions de neutralité atmosphérique. L'étude comparée des vitesses de frottement (u*) déduites des données sodars ou estimées à partir des observations des autres instruments (radiosondages, hydra), a montré un bon accord entre toutes les observations et la faible sensibilité des

différentes estimations de u* au type de paramétrisation ou de méthode utilisée (*aérodynamique, profil*) par le calcul (Mazaudier et al., 1991). Actuellement les études sur la campagne Hapex-Mobilhy sont poursuivies en collaboration avec un chercheur de l'Université Humboldt de Berlin en utilisant la base de données développée au CRPE. Ces études portent essentiellement sur la modélisation du cycle diurne de la hauteur de la couche limite à partir des observations sodars.

*Pyrex 90*

Un sodar du CRPE a participé à cette campagne qui s'est déroulée en octobre et novembre 1990 dans les Pyrénées. Le dépouillement en cours d'achèvement montre une turbulence atmosphérique intense, plus forte que dans le cas des campagnes Hapex-Mobilhy et Mesogers.

Durant les deux années à venir les études vont porter sur l'analyse des résultats de la campagne Pyrex et sur l'étude de la variabilité de u* en fonction des conditions orographiques et des conditions météorologiques, en utilisant la base de données acquises durant les trois campagnes.

### 3.1.2 EXPERTISES EN SONDAGE ACOUSTIQUE

Cette activité utilise notre savoir faire en matière de sondage acoustique de la couche limite atmosphérique et de mesure de la turbulence de petite échelle. Nous avons participé, à des degrés plus ou moins importants, aux actions suivantes [F 90.05] :

- *Etude de la propagation acoustique* prestations scientifiques auprès d'ISL (Institut de S aint-Louis) et de THOMSON/SINTRA. Nous avons mis au point une méthode de mesure de la turbulence permettant un tirage au sort de fluctuations de vitesse et de température améliorant les programmes de tracer de rayons acoustiques mis au point à ISL. Cette technique devrait pouvoir être utilisée dans les problèmes de propagation à l'interface air/mer.
- *Prestations techniques.* Dans le cadre de l'expérience européenne d'étude de la pollution NUAC menée par METEO/FRANCE, nous avons prêté un sodar Doppler pour trois mois et nous aiderons à l'interprétation des données.

Les perspectives sont tout aussi fructueuses. En effet, les activités sur la propagation acoustique devraient se concrétiser par un contrat avec ISL en vue de faire le point sur toutes les méthodes pouvant permettre de mettre en œuvre un modèle de propagation réaliste sur le terrain à partir d'une formulation de paramétrisation de surface.

Nous avons également été sollicités par l'IPG de Paris afin de mettre au point une méthode de détermination des vitesses des gaz dans les volcans actifs. Ce projet est intéressant car il devrait permettre d'étudier des panaches très turbulents et fournir ainsi d'autres applications aux sondages acoustiques. Une première expérience de faisabilité est prévue au Stromboli en septembre dans le cadre d'un contrat IPG/INSU.

### 3.1.3 MESURES DES PRECIPITATIONS PAR SONDAGES HYPERFREQUENCE

Les données obtenues par les radiomètres hyperfréquences embarqués par avion ou sur satellite, sont particulièrement bien adaptées à l'étude des précipitations. En raison de la longueur d'onde du rayonnement capté, il y a interaction avec les particules d'eau liquide ou de glace, ce qui conduit à une augmentation ou à une diminution de la température de brillance. Au dessus de l'océan, on observe, lorsque le taux précipitant augmente, une augmentation de la température de brillance due à la réémission du rayonnement absorbé, par les gouttes d'eau liquide, dont l'émissivité est de l'ordre de 1, (l'émissivité de la surface de l'océan est de l'ordre de 0,4). La saturation intervient pour des taux précipitants d'autant plus faibles que la fréquence augmente. Ensuite, ce sont des phénomènes de diffusion qui deviennent importants et la température de brillance décroît quand le taux précipitant augmente. Les phénomènes de diffusion sont plus importants à haute fréquence.

Actuellement, le domaine qui correspond aux basses fréquences, jusqu'à 20 GHz environ, est relativement bien connu et l'on sait calculer les températures de brillance pour des taux précipitants donnés en utilisant un modèle de transfert radiatif. Il faut cependant introduire dans le modèle un certain nombre de paramètres géophysiques qu'on ne peut aujourd'hui atteindre depuis l'espace : profil de température, épaisseur et type des nuages, hauteur de la couche de pluie, vent de surface. D'autre part, il peut y avoir une ambiguïté entre l'effet de l'eau liquide non précipitante et celui des faibles précipitations (inférieures à 5mm/h). Pour ces raisons, on utilise simultanément les températures de brillance obtenues à plusieurs fréquences et la différence de température de brillance pour deux polarisations (horizontale et verticale), à une même fréquence. Cette grandeur, importante, en air clair, lorsque le signal provient de la surface de l'océan, décroît quand le taux précipitant augmente, car les gouttes émettent un rayonnement non polarisé.

Pour des fréquences plus élevées, 37 et 85 GHz par exemple, les phénomènes de diffusion par les grosses gouttes d'eau et les cristaux de glace deviennent importants. Ce problème beaucoup plus complexe n'a pas encore reçu de solution satisfaisante.

Nous avons utilisé des données de température de brillance du radiomètre SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager), pour étudier le développement de fronts de moyenne latitude. Nous avons bénéficié des données recueillies durant la campagne "FRONTS 87" : mesures de terrain, analyses de la Météorologie Nationale, données METEOSAT. Nous avons également

utilisé un modèle de transfert radiatif en hyperfréquences, développé au CRPE, au LMD (Laboratoire de Météorologie Dynamique) et au DERIM (DEpartement de Recherches et Instrumentations Microondes de l'Observation de Paris-Meudon).

Actuellement, il ne semble pas possible de proposer un algorithme fournissant le taux précipitant en fonction des températures de brillance, en raison du grand nombre de paramètres qui interviennent, comme cela a été indiqué dans le paragraphe précédent. Nous avons donc étudié successivement : les zones en air clair, les zones nuageuses d'abord sans, puis avec des précipitations. Nous pouvons alors par seuillage sur des combinaisons de températures de brillance donner des gammes de précipitations.

## 3.2 BILAN ENERGETIQUE A L'INTERFACE OCEAN/ATMOSPHERE

### 3.2.1 MESURES DE L'EVAPORATION PAR OBSERVATION SPATIALE

L'utilisation d'observations spatiales pour déterminer les termes du bilan d'énergie à la surface des océans est en cours d'étude depuis plusieurs années. Nous avons entrepris, depuis 1986, d'examiner l'apport des observations en radiométrie hyperfréquence pour améliorer les estimations opérationnelles actuelles des flux de chaleur de surface. Ayant testé une méthode statistique reliant l'humidité intégrée sur la colonne atmosphérique, paramètre mesuré depuis l'espace, à l'humidité près de la surface et donc au flux d'évaporation, nous avons mis en évidence ses défauts (liés à la non-connaissance de la répartition verticale de l'humidité). Nous avons choisi d'utiliser ces mesures d'eau précipitable pour contraindre le cycle hydrologique d'un modèle de prévision météorologique.

La première étape de cette étude a consisté en une comparaison entre observations spatiales et analyses (champs météorologiques constitués par l'ajustement d'une ébauche du modèle au moyen de toutes les observations disponibles, avant démarrage de la prévision à plusieurs jours). Cinq mois d'observations du radiomètre SMMR (satellite Nimbus-7) ont ainsi été confrontés aux analyses du modèle du CEPMMT (Centre Européen de Prévision Météorologique à Moyen Terme) pour vérifier l'intérêt de la mesure spatiale de l'eau précipitable, en mettant en évidence des erreurs locales importantes du modèle. C'est au moyen de ces analyses que nous avons testé la méthode statistique de calcul du flux d'évaporation, disposant d'un ensemble cohérent de champs (paramètres météorologiques et flux de surface). [A 89.10, A sou.06, C acc.08].

Le besoin de données de validation nous a conduits à utiliser les mesures du radiomètre SSM/I, en relation avec le modèle PERIDOT de Météo-France, sur la période de l'expérience franco-britannique FRONTS 87. Les analyses de ce modèle de prévision de moyenne échelle, archivées pour plusieurs situations de passage de fronts, ont été comparées aux observations du radiomètre aux heures de passage sur la zone proche atlantique. On a pu valider la restitution de l'eau précipitable à partir des mesures du SSM/I (algorithmes mis au point par J. -Y. Lojou au cours de sa thèse au CRPE), et établir les types d'erreurs du modèle. [B 90.06, C acc.08, C acc.17, A sou.15, F 90.09].

Le travail se poursuit actuellement par l'étude d'une méthode d'assimilation de l'eau précipitable dans le modèle. La difficulté de sa mise au point vient de la nature des observations (contenu intégré), alors que le modèle assimile normalement des observations d'humidité en profil vertical. Nous avons entrepris, dans un premier temps, de tester la méthode d'interpolation optimale utilisée de façon opérationnelle pour assimiler les observations, radiosondages aussi bien que radiances IR mesurées à partir de l'espace.

Les premiers résultats montrent une correction du profil d'humidité du champ initial, qui rapproche l'eau précipitable du modèle de celle mesurée. Le problème de cette méthode est que la répartition verticale de cette correction est fonction de la matrice de corrélation des erreurs du champ d'humidité dans le modèle, qui est très mal connue. De plus, le paramètre d'humidité pose le problème de ses limites, étant toujours positif, et au plus égal à la valeur à saturation. Malgré ces difficultés, nous examinons maintenant le comportement du modèle en prévision, pour tester sa sensibilité à une modification du champ d'humidité initial (travail de thèse M. -A. Filiberti). Le travail est mené en coopération avec, le CEPMMT et Météo-France [C 90.15].

### 3.2.2 PHYSIQUE DES VAGUES

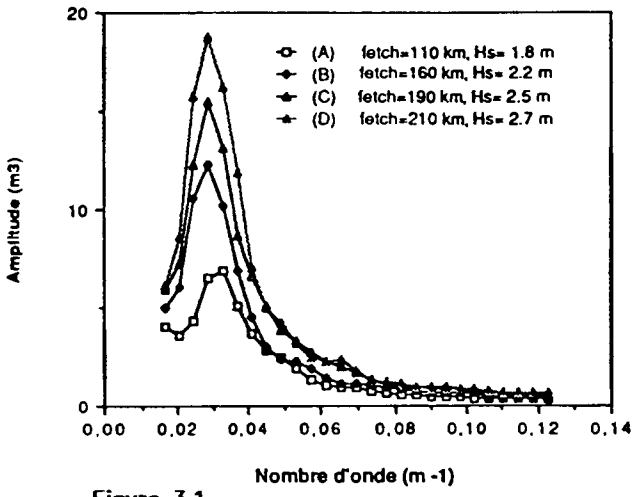



**Figure 3.1**
Résultat obtenu à partir des observations du radar RESSAC pendant la campagne SWADE. Cette figure présente le spectre des vagues (amplitude en fonction du nombre d'onde des vagues), pour des distances d'action du vent (fetchs) croissantes (courbes A à D). Il s'agit d'un cas (4 mars 91) où le vent soufflait perpendiculairement à la côte, située à environ 110 km de la 1ère observation (A). On observe une amplification du spectre en fonction du fetch, et corrélativement une augmentation de la hauteur significative des vagues $H_s$ (liée à l'énergie totale contenue dans le spectre).

L'un des aspects de l'étude du bilan énergétique à l'interface océan/atmosphère concerne l'étude des vagues et de leur influence sur les flux d'énergie.

Depuis fin 1989, le CRPE dispose d'un radar aéroportable, nommé RESSAC, et conçu pour la mesure du spectre directionnel des vagues (spectre des hauteurs des vagues en fonction de leur longueur d'onde et de leur direction de propagation). Ce radar a été développé avec le soutien du CNES et de l'ASE afin de disposer d'un système pour la mesure des vagues qui puisse être utilisé comme moyen de validation du satellite ERS-1 lorsque celui-ci opère avec le radar à ouverture synthétique en mode vague. Le système RESSAC, embarquable à l'heure actuelle soit sur le Merlin-IV de la DMN, soit sur le Dornier 228 du DLR, a été utilisé en 1990-1991 dans 2 campagnes de mesures et une campagne de tests. Pour ce qui concerne la physique des vagues, c'est principalement à partir de la deuxième campagne de mesures (participation à l'expérience américaine SWADE (Surface WAve Dynamics Experiment) en Février-Mars 1991) que des études ont été entreprises. Parmi les objectifs de l'expérience SWADE, on peut citer l'étude de l'évolution du spectre des vagues (forçage par le vent, dissipation) et l'étude de l'influence de l'état de mer sur les flux d'énergie à l'interface air/mer. Les tout premiers résultats obtenus ont montré que RESSAC fournit des informations cohérentes sur l'évolution du spectre des vagues en fonction du fetch, ainsi que sur la modification de ces spectres par les courants (Gulf-Stream). Ces résultats très récents doivent être comparés à ceux obtenus à partir des autres instruments déployés lors de l'expérience SWADE (mesures par bouées instrumentées, mesures à l'aide d'autres types de radars, ...), et interprétés en tenant compte des modélisations existantes.

Dans un proche avenir, les données de l'expérience SWADE pourront également être utilisées pour une première étude de l'influence de l'état de mer sur les flux à l'interface. En effet, les nombreuses mesures coordonnées de flux et d'état de mer qui ont été réalisées pendant SWADE permettront de s'intéresser, entre autres, à la paramétrisation des flux de quantité de mouvement en tenant compte de l'état de mer (présence de houle ou de mer du vent, effet de la longueur d'onde des vagues, effet de leur direction de propagation, ...). En effet, plusieurs auteurs ont montré récemment que les paramétrisations classiques des flux pouvaient être mises en défaut dans certains cas, notamment lorsqu'une houle non directement lié au vent local est présente, ou lorsque le vent présente des variations spatiales ou temporelles. Ces auteurs ont cependant tous noté le manque d'observations coordonnées permettant d'avancer dans ce domaine. L'expérience SWADE permettra d'apporter une première réponse.

## 3.3 BILAN ENERGETIQUE A L'INTERFACE CONTINENTALE ET HYDROLOGIE SPATIALE

### 3.3.1 MODELISATION DU FONCTIONNEMENT SOL/PLANTE

Un des programmes pluriannuels du département concerne la démonstration des potentialités de la télédétection infra-rouge thermique satellitale appuyant sur les données dans le visible (VIS), le proche infra-rouge (PIR) et les hyperfréquences (HF) pour l'observation climatique des surfaces continentales.

Une des applications reconnues de ces domaines de fréquences est l'estimation du bilan hydrique du sol et des flux énergétiques de surface, dont l'évaporation, dans le cas de surfaces nues ou entièrement recouvertes de végétation. Ces dernières années, la recherche a porté sur l'apport de la télédétection dans le cas des surfaces partiellement couvertes, où le sol et la végétation contribuent de façon comparable au bilan énergétique.

Dans ce contexte, on a développé un modèle de flux de surface qui décrit les transferts de masse et d'énergie entre le sol, la végétation et l'atmosphère et qui calcule les flux et la température de surface à partir de la connaissance du forçage atmosphérique et de paramètres sol et végétation. On a ainsi pu montrer que l'utilisation simultanée des mesures de télédétection dans les différents domaines de longueurs d'ondes (VIS, PIR, IRT, HF) comme variables d'entrée d'un modèle d'interface sol/végétation/atmosphère permet d'atteindre l'état hydrique moyen du premier mètre du sol et les flux d'évaporation sur tous les types de surface (sol nu, couverts denses et partiels).

Ce modèle a été validé, à l'échelle locale, sur les différents sites de l'expérience HAPEX-MOBILHY qui a eu lieu dans le Sud-Ouest de la France en 1985-86, correspondant à différents types de surfaces (sols nus, couverts partiels et denses) et à différents types de sol et de végétation. Dans cette étude, on a montré qu'on était capable d'évaluer les flux de surface en séparant la contribution du sol de celle de la végétation et d'estimer la résistance du couvert à l'évaporation quelque soit son stade phénologique (croissance ou maturité) [A/acc.19, B/90.01, A acc.01, A acc.02].

### 3.3.2 HYDROLOGIE SPATIALE

Depuis l'expérience HAPEX-MOBILHY, le département se préoccupe d'appliquer les mesures spatiales au suivi climatique des bilans hydriques continentaux.

Pour cela, nous avons entrepris de coupler notre modèle de flux à un modèle hydrologique capable d'intégrer les échanges hydriques à de grandes échelles spatiales et temporelles. Grâce à la base de données HAPEX-MOBILHY, nous avons pu montrer la faisabilité de ce suivi.

Le modèle hydrologique de l'Ecole des Mines de Paris (calé dans le cadre de Hapex-Mobilhy) a été modifié par une représentation plus physique de la couche de surface (1er mètre du sol), pour permettre l'assimilation de l'humidité superficielle déduite de l'imagerie thermique satellitale. Pour chacune des mailles du modèle, le calcul de l'évaporation totale se fait à présent à partir des contributions du sol et de la végétation et du taux de couverture déduit de l'indice de végétation normalisé (NDVI) calculé à partir de l'imagerie visible et proche infra-rouge [A 89.21, A 91.8].

Ces modifications ont déjà permis d'améliorer l'estimation du réservoir de surface pendant les mois d'été. Ensuite pour toutes les images satellitales utilisables des années 1985 et 1986 (NOAA9-AVHRR2), le modèle de surface a été étalonné sur chaque maille du modèle hydrologique pour permettre l'inversion de l'humidité superficielle. Son assimilation dans le modèle hydrologique sera la dernière étape.

A l'occasion de traitement d'archive d'images AVHRR, un important travail sur les corrections de l'effet de l'atmosphère a été mené. Il s'agissait d'examiner la possibilité de calculer l'absorption atmosphérique du rayonnement IR thermique en utilisant les capacités de sondage qui existent à bord des satellites polaires de la NOAA. Grâce à une simulation statistique à partir du modèle direct de transfert radiatif du LMD, on a pu établir divers algorithmes utilisant les mesures de ces sondeurs. Ce travail aura un prolongement dans l'analyse des mesures qui doivent bientôt être faites par l'instrument ATSR de ERS-1.

Le séjour dans le département d'un chercheur Finlandais a permis d'étendre cette démarche à d'autres cieux. Elle a été appliquée sur un bassin versant du Sud-Ouest Finlandais de 1225 km2. Les paramètres du modèle ont été étalonnés à l'aide de mesures sols et de mesures infra-rouges satellitales. Le modèle ainsi calé a permis de simuler les échanges pendant le mois de juillet 88. L'évaporation cumulée simulée a été comparée, avec un bon accord à celle déduite par la méthode des bilans hydriques [A/90.33, B/89.30].

Une méthode très voisine est en cours d'application sur le bassin versant de l'Orgeval en utilisant conjointement la thermographie infra-rouge et une mesure de l'humidité superficielle du sol en hyperfréquences actives (ERASME), en vue de l'utilisation de ERS-1 pour le suivi des bilans hydriques continentaux.

Cette étude se fait dans le cadre d'une thèse en préparation au CEMAGREF (Centre d'Etude de Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et Forêts). Le modèle hydrologique GR3 du CEMAGREF a déjà été adapté pour permettre l'assimilation des mesures infra-rouges et hyperfréquences.

## 3.4 DEVELOPPEMENT INSTRUMENTAL

### 3.4.1 SONDAGE HYPERFREQUENCE ATSR/M

Le radiomètre hyperfréquence ATSR-M a été développé sous la responsabilité du CRPE, et intégré sur le satellite ERS-1, lancé en juillet 1991. L'étalonnage au sol, en 1989, a permis de mettre au point la fonction de transfert du radiomètre. Le traitement des données radiométriques a été complété par la modélisation des antennes et la mise au point des algorithmes de calcul des paramètres géophysiques (contenus en vapeur d'eau atmosphérique et eau liquide nuageuse sous la trace du satellite) [G90.01, A 91.07, B90.06, G 91.09]. Les premières données transmises attestent le bon fonctionnement de l'instrument et la cohérence des mesures de température de brillance, comme le montre la figure (voir page suivante)

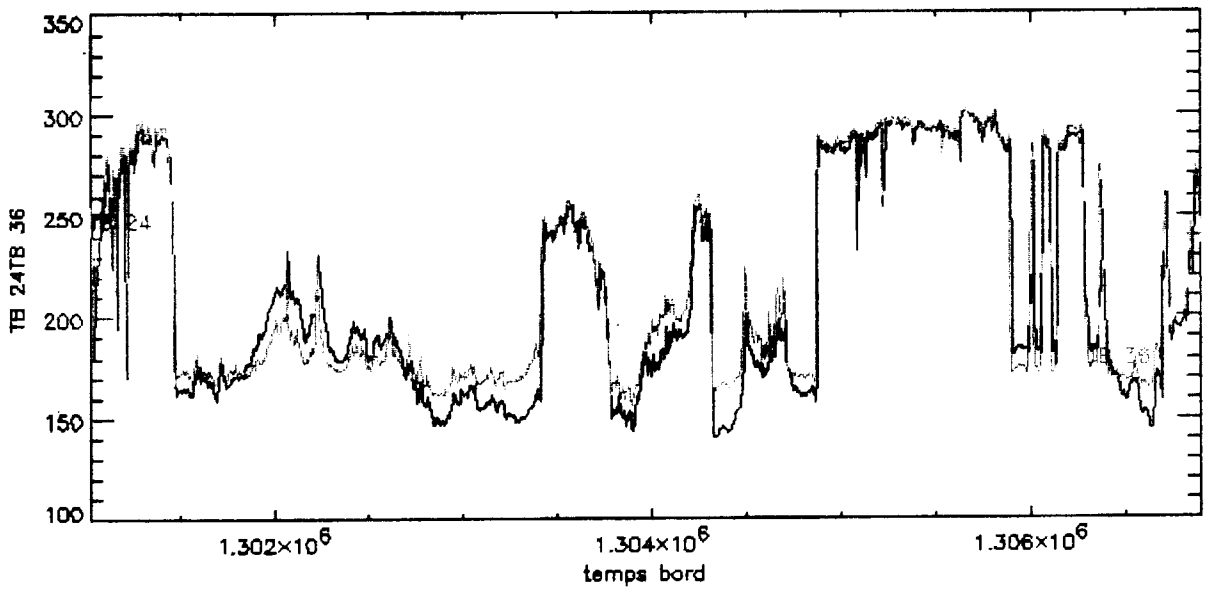
La validation des données sera principalement effectuée avec l'aide de METEO-FRANCE : une première étape consistera en une comparaison entre les températures de brillance mesurées et celles calculées, aux points coïncidants, à partir des champs météorologiques analysés au CEPMMT (Centre Européen de Prévision Météorologique à Moyen Terme) et d'un modèle de transfert radiatif, afin de détecter les biais et anomalies de fonctionnement du radiomètre ; dans une seconde étape, on vérifiera la qualité de la vapeur d'eau déduite des mesures par comparaison avec les radiosondages sur les océans disponibles sur le réseau synoptique.

En plus de ces validations, répétées régulièrement durant toute la vie de l'instrument, nous profiterons de campagnes de mesures telles SOFIA/ASTEX et SEMAPHORE pour confronter les données radiométriques aux radiosondages et à des mesures radiométriques depuis la surface, et nous comparerons les paramètres géophysiques restitués à ceux déduits d'autres radiomètres spatiaux.

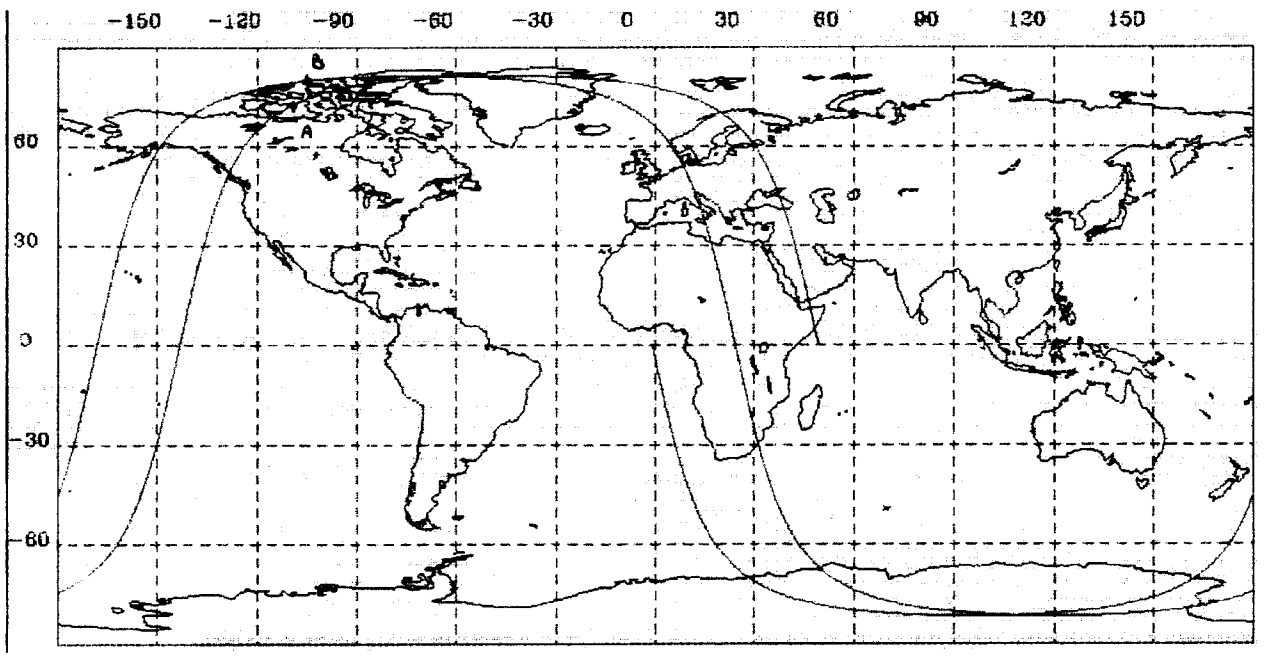
Enfin, nous avons entrepris avec le Rutherford Appleton Laboratory (GB), responsable du radiomètre infra-rouge de ERS-1 une coopération , sur le développement d'algorithmes et de traitements couplant les deux instruments [G 91.09].

### 3.4.2 OBSERVATION PAR RADARS AEROPORTES

Au cours des deux dernières années, les instruments radar du CRPE ont notablement évolué. En effet, le radar ERASME (bifréquence et bipolarisation) a fait ses premières sorties. Les campagnes sur l'Orgeval en 1989 ont permis d'en évaluer la qualité des mesures. Sans




*3.2a*




*3.2b*

**Figure 3.2**

*Températures de brillance mesurées à 23,8 GHz (TB 24) et à 36,5 GHz (TB 36) par le radiomètre ATSR/M le 31 juillet 1991, cinq jours après sa mise en route, en orbite.*

*La figure 3.2a montre les variations de température de brillance (en Kelvin) en fonction du temps (en seconde) au cours d'une orbite : Les températures supérieures à 280 K sont observées sur les continents. Elles sont séparées par des mesures sur les océans (inférieures en moyenne à 210 K) et des passages sur les glaces polaires (230 à 250 K). Ces températures ont été observées lors du survol successivement de l'Amérique du Nord, l'océan Pacifique, l'Antarctique, l'océan Indien, l'Afrique, l'Europe et l'océan Arctique. La trace au sol correspondante est représentée sur la figure 3.2b (entre les points A et B).*

attendre que ces analyses soient menées à leur terme, des résultats très intéressants ont été obtenu sur la végétation et les sols. Le radar RESSAC d'étude du spectre des vagues à fait ses premiers pas. Le dernier né, le radar polarimètre RENE, est opérationnel depuis le début de l'année 1991. il va maintenant être utilisé pour acquérir une base de données sur les signatures des surfaces naturelles. Nous projetons de le modifier légèrement pour le transformer en radar à ouverture synthétique à très haute résolution (1 m). On aurait ainsi la possibilité d'aborder l'étude des hétérogénéités de la surface à très petites échelles.

L'effort des dernières années a surtout porté sur le niveau du développement d'une capacité d'interprétation théorique des mesures.

*Océans*

La campagne préliminaire (expérience RENE en mer de Norvège en 1990), puis une autre campagne technique en Bretagne, ont permis de parfaire la mise au point du système RESSAC, qui est maintenant opérationnel. Les comparaisons des mesures de RESSAC avec les mesures de bouées ont montré un bon accord à la fois en direction, en longueur d'onde et en amplitude, sur les quelques cas ayant pu être exploités (Hauser et al., 1991, Sou.08). L'algorithme développé au CRPE pour restituer les spectres de houle ne nécessite pas d'associer aux mesures radar une mesure externe du vent, contrairement à la méthode employée jusqu'ici par d'autres équipes.

Nous disposons maintenant d'une base de données plus complète grâce à notre participation à la campagne SWADE, dans laquelle de nombreux moyens aéroportés et instruments sur bouées étaient déployés. L'expérience SWADE est encore en cours de dépouillement, mais les conditions climatiques (vent faible, mer plus calme qu'en Norvège en général) donnent accès à des situations nouvelles pour lesquelles les méthodes de restitution de la houle doivent être validées.

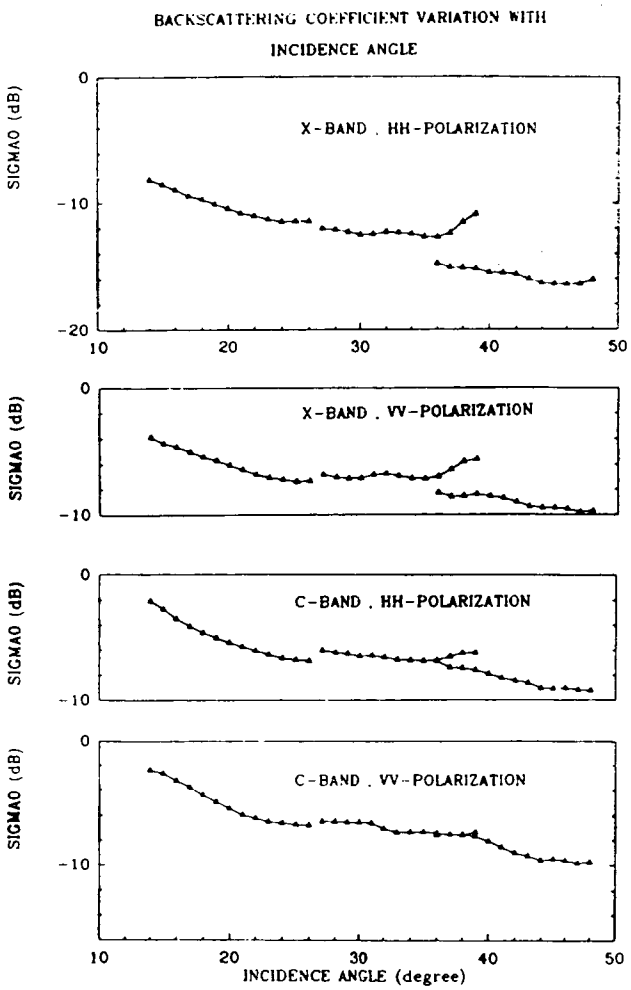
Parallèlement aux mesures de houle, des études sur la modélisation du signal rétrodiffusé par la surface de la mer sont en cours, afin d'exploiter les mesures RESSAC du coefficient de rétrodiffusion radar moyen, fonction de l'angle d'incidence et de l'azimuth, en termes des propriétés du spectre des vagues de capillarité-gravité.

*Les sols*

Une des applications potentielles de la télédétection hyperfréquence active est la détermination de paramètres caractéristiques du sol comme l'humidité superficielle et la rugosité. Le travail de recherche s'organise suivant deux démarches :

- la mise à disposition d'outils théoriques de modélisation de la rétrodiffusion radar sur des surfaces aléatoires comme le sol,
- l'établissement de bases de données expérimentales pour tester les algorithmes de détermination des paramètres sol.

Ainsi nous avons exploité les résultats des deux campagnes effectuées à l'aide du radar aéroporté ERASME sur le bassin versant de l'Orgeval en 1988 (AGRISCATT'88) et en 1989 avec la collaboration du CEMAGREF hydrologie d'Antony et de la station de bioclimatique de l'INRA à Grignon. La campagne AGRISCATT'88 a permis de valider la détermination de l'humidité de surface du sol sur sol nu et couvert de végétation pour une configuration monofréquence (bande C) et monopolarisation (HH) depuis l'angle d'incidence de 20° (configuration voisine de l'optimale proposée dans la littérature) jusqu'à des angles d'incidence voisins de 40°. La validité de ces algorithmes pour des angles d'incidence élevés permet de justifier l'utilisation en hydrologie du radar à synthèse d'ouverture du satellite ERS-1.




Variation de la section efficace radar en fonction de l'angle d'incidence radar, obtenue avec 3 positions successives de l'antenne du radar aéroporté ERASME.

Figure 3.3

Pour obtenir la variation de la section efficace radar sur une large gamme d'angles d'incidence (de 15° à 50°), nous avons incliné les antennes en bandes C et X du

radar ERASME successivement suivant trois angles d'incidence 23°, 38°, 45°).

Afin d'assurer une bonne cohérence des mesures à ces trois configurations, nous avons développé une méthode simplifiée de correction du gain d'antenne et nous poursuivons l'étude de l'étalonnage sur cibles ponctuelles et diffuses.

Dans le contexte de l'estimation de paramètres à intérêt hydrologique, les campagnes de 88 et 89 vont pouvoir à présent être mises à profit. On essayera non seulement de cartographier l'humidité de surface sur l'ensemble du bassin, mais également de développer des méthodes de mesure d'un paramètre de rugosité de surface. En effet, notamment en 89, des mesures extensives de rugosité ont été faites ce qui devraient permettre le calage de modèles d'inversion.

*Végétation*

Le radar héliporté ou aéroporté ERASME est destiné principalement à l'étude de l'interaction ondes/sol-végétation. Un des buts des expériences menées avec cet instrument est de tester l'intérêt de futurs instruments satellitaires utilisant les techniques hyperfréquences pour le contrôle des cultures ou de l'évolution forestière et de développer les algorithmes de traitement et d'utilisation des données. On a exploité les mesures des campagnes sur l'Orgeval en visée vers l'avant pour la partie agricole et en visée verticale sur la forêt.

L'application d'un modèle simple de rétrodiffusion semi-empirique en "gouttes d'eau" modifié pour prendre en compte les effets non négligeables sur le signal de la rugosité du sol a montré qu'en utilisant des données acquises à deux angles d'incidence différents sur la partie cultivée du bassin, on pouvait inverser simplement le modèle. Ce modèle est d'abord ajusté sur les données et son inversion, applicable à des couverts végétaux peu denses, permet de connaître la biomasse végétale avec une précision suffisante pour les applications agronomiques (Prévot et al. 1991acc.25).

Sur la forêt, ERASME utilisé comme sondeur vertical haute résolution (1 m) est un bon outil d'investigation. En volant à basse altitude, il est possible de décrire avec précision la structuration verticale de la biomasse, et les premiers résultats obtenus au cours de la campagne sur l'Orgeval en 1989 sont prometteurs pour d'autres expériences de même type prévues sur la forêt tropicale Guyanaise.

Des modèles théoriques de rétrodiffusion par des couverts végétaux fondés sur la théorie du transfert radiatif sont à l'étude. Il est en effet indispensable de se doter au laboratoire d'outils d'aide à l'interprétation des données radars ainsi que d'aide à la compréhension de phénomènes complexes de diffusion de volume, ce qui n'est pas possible avec les modèles semi-empiriques utilisés jusqu'à aujourd'hui.

### 3.4.3 IMAGERIE PAR RADAR A OUVERTURE SYNTHETIQUE

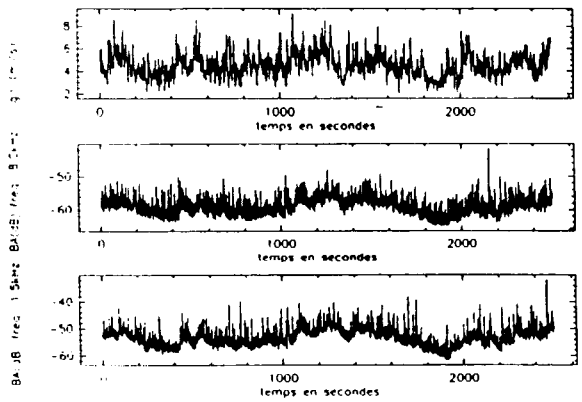
L'année 1988 a vu le démarrage d'une activité de traitement des signaux de Radar à Ouverture Synthétique (ROS). Cette action, directement liée à l'utilisation, dans le cadre de l'étude des ressources renouvelable, des futures images provenant des radars spatiaux ERS-1 et SIR-C, a pour objet la maîtrise complète de la chaîne de traitement des données radar, depuis le signal brut jusqu'à l'image correctement étalonnée en unités physiques.

Les premiers travaux ont porté sur une analyse approfondie des principes de l'imagerie radar par satellite et des algorithmes les mettant en oeuvre [F/89.30], [C/91.16]. Se fondant sur ces premiers résultats, un processeur ROS a été développé et réalisé, utilisant les moyens informatiques du CRPE (centre VAX et station d'imagerie GOULD associée) et du CNET (calculateur vectoriel CONVEX). Le processeur a été testé et validé essentiellement au moyen de données SEASAT. Il est actuellement en cours de mise à niveau pour fonctionner avec des données ERS-1 en mode image (données simulées ou futures données réelles).

Dans la perspective d'une utilisation quantitative de l'information contenue dans les images radars, l'accent a été mis, depuis 1990, sur l'étalonnage de ces images. Une collaboration étroite avec le groupe "étalonnage des radars" du Jet Propulsion Laboratory (NASA) a permis de progresser rapidement sur ce sujet, et a fourni notamment des résultats intéressants quant aux possibilités d'effectuer des étalonnages croisés entre différents instruments [F/90.22], [G/91.02].

### 3.4.4 SONDAGES ACOUSTIQUES [C 91.04, C acc 07, C acc 35, B 89.13]

Dans la perspective des grandes campagnes SOFIA/ASTEX et SEMAPHORE, nous avons avec le support de l'INSU et de la DRET entrepris de développer deux systèmes de mesures à la mer.




*Dans ses trois graphiques sont présentés en fonction du temps : "en haut" le vent horizontal mesuré par un système Gill à réponse rapide près d'un hydrophone immergé, au "milieu" et en "bas" les bruits acoustiques issus de l'hydrophoe respectivement 8 kHz et 1.5 kHz. On remarque que les hydrophones suivent les variations rapides du vent.*

Figure 3.4

Le premier, classique pour le département, est un ensemble SODAR, mini-sodar embarquable sur bateau. Il est destiné à la mesure des profils verticaux de vent dans la couche limite et à l'estimation des flux de chaleur et de quantité de mouvement. Cet ensemble, qui a nécessité une étude approfondie de stabilisation des antennes, est aujourd'hui pratiquement opérationnel sous le nom de OCARINA (OCéan, Atmosphère, Recherches par INstrumentation Acoustique). La campagne SOFIA en juin 92 servira de banc de test.

Le deuxième, plus prospectif, est un système de mesure de bruit de la mer par microphones immergés (hydrophones). Sur ce sujet, on a essentiellement analysé les paramètres géophysiques que l'on pouvait espérer obtenir (mesure du vent de surface à moyenne échelle, précipitation). Ceci a été fait grâce à l'analyse des données recueillies au cours de deux campagnes dans un lac et en mer en bordure d'une île. On a ainsi montré que l'on pouvait, en effet, mesurer le vent et les précipitations. On a mis en évidence, et expliqué à l'aide d'un modèle de propagation acoustique, l'importance du type de fond et de la profondeur sur le rayon d'écoute. On a analysé finement, à toutes les échelles de temps, les relations bruits/vent.

## B. PERSPECTIVES

### 3.5 PHYSIQUE DE L'ATMOSPHERE ET COUCHE LIMITE PLANETAIRE

L'activité concernant la couche limite continentale se poursuivra par l'analyse des mesures de la campagne Pyrex de 1990. Il faut noter que ce domaine n'est plus, à l'heure actuelle, une des priorités du département.

Les compétences acquises sur la mesure des précipitations et de l'atmosphère nuagueuse à l'aide de la radiométrie microondes seront utilisées dans le cadre de deux actions communes aux département ABM et OBT.

Il s'agit, tout d'abord, de la préparation de la mission spatiale BEST (Bilan Energétique du Système Tropical). Nous envisageons d'étudier comment il serait possible de coupler les données microondes (SSM/I - 2) avec celles des radiomètres fonctionnant dans le visible et l'infrarouge (Météosat).

Nous envisageons également de participer à l'expérience TOGA/COARE (Tropical Ocean Global Atmosphere/COupled Atmosphere REponse)à la fin 1992. A cette occasion, nous mettrons à profit le dispositif expérimental pour améliorer les algorithmes permettant l'estimation des taux précipitants en zone tropicale.

### 3.6 BILAN ENERGETIQUE A L'INTERFACE OCEAN/ATMOSPHERE

#### 3.6.1 LES CAMPAGNES SOFIA - SEMAPHORE [C 90.40, C 92.41, G 89.11, G 90.03]

L'étude du bilan énergétique à la surface océanique, entreprise depuis quelques années à partir d'observations spatiales, nous a conduits à une réflexion sur la signification physique des flux et paramètres de surface à l'échelle d'un instrument spatial, ou de la maille élémentaire d'un modèle numérique.

Notre expérience des mesures dans la couche limite continentale nous a amené à proposer un programme d'étude des transferts d'énergie (chaleur et quantité de mouvement) entre l'océan et l'atmosphère, d'abord expérimental (mesure des flux et observation des phénomènes associés), puis visant à une meilleure représentation des termes d'échanges dans des modèles. Ce programme SOFIA (Surface Océanique : Flux et Interactions avec l'Atmosphère) s'insère dans le cadre des études menées au Programme Atmosphère et l'Océan Superficiel de l'INSU. Pour réaliser ce programme, nous participons à deux campagnes de mesures qui se dérouleront en 1992 et 1993 au large des Açores.

La première, SOFIA/ASTEX (campagne internationale Atlantic STratocumulus EXperiment), sera effectuée, en juin 1992, en coopération avec des équipes dépendant de plusieurs organismes français (METEO-FRANCE, SHOM, IFREMER et INSU) et étrangers (Rennell Centre en Grande-Bretagne, Université de l'Etat de Washington). Ses objectifs sont de deux sortes :

- qualifier l'instrumentation de mesure des flux locaux, qui doit servir de référence au cours des campagnes en mer suivantes (mesure sur mât instrumenté, sur ballon captif et par sodar, embarqués sur un navire), ainsi que les mesures bathythermiques de la couche mélangée océanique par bouées dérivantes,
- étudier les relations surface - atmosphère et l'intégration horizontale des flux à l'échelle de la mesure spatiale, en interprétant les observations effectuées localement sur bateau, à une échelle plus large par avion instrumenté, et par satellite (ERS-1 et satellites opérationnels).

La seconde campagne, SEMAPHORE (Structure des Echanges Mer Atmosphère, Propriétés des Hétérogénéités Océaniques : Recherche Expérimentale), se déroulera de juillet à novembre 1993 dans la même région. Cette campagne est centrée sur le problème des flux à moyenne échelle océanique, et prend en compte la

circulation océanique (courants et tourbillons) dans le domaine, 500 x 500 $km^2$. L'investigation des caractéristiques océaniques sera pour cela très développée, à partir de mesures locales sur bateaux, mouillages, bouées et flotteurs dérivants, et spatiales (satellites ERS-1 et TOPEX/POSEIDON). L'étude du CRPE, dans le cadre du programme SOFIA, concernera le couplage des couches limites océaniques et atmosphérique sur une durée de deux mois (octobre - novembre 1993). Un des points clef de cette étude sera l'analyse du comportement des deux couches limites et de la surface (état de mer, flux) au travers d'une discontinuité thermique et dynamique de l'océan (front des Açores). L'effet sur le bilan d'énergie de surface du passage de perturbations atmosphériques sera également examiné.

A l'issue de ces campagnes, nous espérons aboutir à une meilleure compréhension des processus d'échange d'énergie entre l'océan et l'atmosphère, et proposer une modélisation de ces échanges plus adaptée à l'usage de mesures spatiales.

## 3.7 BILAN ENERGETIQUE A L'INTERFACE CONTINENTALE ET HYDROLOGIE SPATIALE

L'activité, maintenant traditionnelle, du département sur l'hydrologie spatiale prendra, au cours des prochaines années, une dimension nouvelle. En effet, dans le cadre d'un projet soutenu par l'ASE et le CNES, et en collaboration avec le CEMAGREF et la société GEOSYS, nous participerons à la mise en place d'un observatoire hydrologique satellital. Construit autour du BassinVersant Représentatif Expérimental du Naizin (Bretagne), il utilisera essentiellement les mesures du radar à ouverture synthétique de ERS 1 et les images de l'AVHRR. On espère démontrer l'intérêt des mesures spatiales pour le suivi des bilans hydriques des petites bassins agricoles.

Dans le prolongement des résultats obtenus sur l'application de l'observation de la Terre au suivi du fonctionnement de la biosphère continentale (résistances du couvert à l'évaporation), nous nous engageons dans un programme à moyen terme dont le but est de développer des algorithmes utilisant l'observation spatiale pour suivre la croissance du couvert végétal à l'échelle climatique. On envisage d'utiliser à cette fin les mesures du rayonnement de la surface dans tous les domaines de longueur d'onde (du visible aux hyperfréquences). Cette étude se fera en collaboration avec l'équipe de B. Seguin de l'INRA.

## 3.8 DEVELOPPEMENT INSTRUMENTAL

L'aventure technique du radiomètre de ERS - 1 touche à sa fin. En cas de succès, les prochaines années seront consacrées à l'analyse technique des mesures. L'expérience acquise doit servir à la réalisation (par une société Autrichienne) du sondeur hyperfréquence de ERS - 2.

Le radar imagerie et son interprétation seront par contre en plein développement avec le lancement de ERS - 1, puis des autres missions internationales (Japonaise, Canadienne, Américaine). L'effort du département dans ce domaine portera sur :

- des expériences de soutien à l'interprétation des radars spatiaux (étalonnage du mode vague avec RESSAC, sondages forestiers en Guyanne avec ERASME, mesures polarimétriques avec RENE)
- des développements de modèles physiques (pour l'océan, les sols ou la végétation)
- les efforts sur la qualité des images de Radar à Ouverture Synthètique (étalonnage croisé avec ERASME, filtrage , ségmentation etc...)

Enfin, les résultats obtenus dans l'interprétation du bruit de la mer sont suffisamment encourageant, pour que nous envisagions le développement d'une bouée mouillée ou droguée sur laquelle on enregistrerait les paramètres météorologiques classiques (vent, vitesse et direction, température), mais aussi les mesures d'un hydrophone avec prétraitement à bord. Ce type d'étude permettrait d'aller plus loin dans l'utilisation de cet équipement (radiomètres acoustiques) pour l'étude des échanges gazeux à l'interface océan/atmosphère par l'analyse de la densité des bulles formées et de leur taille.

# 4 - ENVIRONNEMENTS IONISES TERRESTRE ET PLANETAIRES

## INTRODUCTION

Les environnements ionisés des planètes et plus généralement les plasmas du Système Solaire sont étudiés de façon coordonnée par les deux département EMI (Electrodynamique des Milieux Ionisés) et OPN (Ondes dans les Plasmas Naturels). Parmi les objets étudiés, la Terre joue un rôle particulier, non seulement par anthropocentrisme, mais aussi grâce à la possibilité unique qu'elle offre d'y effectuer des études approfondies sur le plan expérimental. C'est pour cette seconde raison qu'elle sert de référence lorsque les problèmes sont abordés sous l'angle de la planétologie comparée.

L'impact du vent solaire sur l'environnement ionisé de la Terre crée la cavité magnétosphérique. A l'intérieur de cette cavité, l'énergie incidente est redistribuée et transportée par des processus complexes, pour être finalement absorbée par l'atmosphère. C'est la compréhension des couplages internes au système ionosphère-magnétosphère et des couplages externes avec le vent solaire en amont et l'atmosphère en aval qui motive les études de l'environnement ionisé terrestre. Nous décrirons d'abord les travaux portant sur la circulation à l'échelle globale du plasma magnétosphérique, circulation engendrée par la dynamo vent solaire - magnétosphère, et les systèmes de courants associés. Aux échelles plus petites de nombreux phénomènes existent qui sont autant d'élément constitutifs des circuits globaux : champs électromagnétiques turbulents, structures d'arcs au niveau de l'ionosphère aurorale et structures associées comme les courants et les phénomènes localisés d'accélération ; nous décrirons dans un deuxième temps les études qui s'y rattachent. Un chapitre particulier est réservé aux régions frontières que sont la magnétopause et le choc d'étrave de la magnétosphère. Les ondes participent à ces processus dans la mesure où, par leur interaction avec le plasma et à cause de l'absence de collisions entre particules dans les plasmas spatiaux, elles sont le support de nombreux processus de transfert d'énergie entre les diverses populations constituant le plasma.

Les études expérimentales de la magnétosphère terrestre s'appuient sur les moyens sol, le radar incohérent EISCAT et le radar SHERPA qui a renforcé récemment le dispositif, et sur les moyens spatiaux. Les bases de données préalablement acquises, GEOS, ISEE, AUREOL-3, VIKING ont été exploitées dans les études portant sur les thèmes ci-dessus. Elles ont également été utilisées pour préparer les missions futures, INTERBALL, GGS et CLUSTER.

La période écoulée a vu l'intérêt porté aux études non terrestres croître, bien que ce développement ait été ralenti par les retards dans le lancement des missions spatiales GALILEO (étude de la magnétosphère de Jupiter, lancée en 1989) et ULYSSE (étude du milieu interplanétaire hors du plan de l'écliptique, lancée en 1990). Les études cométaires, s'appuyant sur les résultats de la sonde GIOTTO, sont entrées dans une phase de modélisation. Préparant ainsi l'avenir plus lointain, des expériences nouvelles, ont été sélectionnées à bord des sondes MARS 94 (Etude de l'ionosphère de Mars et de son interaction avec le vent solaire), CRAF (Rendez-vous cométaire) et CASSINI (Magnétosphère de Saturne).

## A. RESULTATS

### 4.1 CONVECTION ET DYNAMIQUE A GRANDE ECHELLE

Dans la magnétosphère externe et l'ionosphère de haute latitude qui lui est couplée par les lignes de force du champ magnétique terrestre, l'électrodynamique est commandée par les différences de potentiel imposées au niveau de la magnétopause par l'écoulement du vent solaire autour de la magnétosphère. Les courants s'écoulent le long des lignes de force du champ jusqu'à la basse ionosphère où la conductivité perpendiculaire devient importante grâce à la présence de l'atmosphère neutre. Les mesures effectuées par le radar à diffusion incohérente EISCAT ont permis de préciser la distribution du potentiel, des conductivités et des courants dans toute l'ionosphère aurorale. Le couplage ionosphère-atmosphère neutre a été abordé grâce aux mesures couplées EISCAT-MICADO tandis que les couplages ionosphère - magnétosphère ont été modélisés en tenant compte de l'effet en retour des précipitations de particules. L'échappement du plasma ionosphérique dont il apparaît qu'il représente une source importante du plasma magnétosphérique a été étudié et modélisé. Enfin les premiers résultats du radar SHERPA ont montré

l'extrême sensibilité de la convection aux conditions régnant dans le milieu interplanétaire.

### 4.1.1 ETUDE EXPERIMENTALE DE LA CONVECTION A GRANDE ECHELLE

Afin d'apprécier expérimentalement le rôle des pertes d'ions et d'électrons magnétosphériques dans la génération des courants alignés le long du champ magnétique, un travail statistique a été entrepris à partir des données du radar européen à diffusion incohérente EISCAT. Rappelons que ce radar permet de mesurer la vitesse des ions perpendiculairement au champ magnétique, de laquelle on peut déduire le champ électrique de convection, ainsi que la densité électronique dans la région E ionosphérique et la conductivité, ceci dans une gamme de latitude invariante s'étendant de 60° à 73° dans la zone aurorale.

Dans un premier temps, les mesures de champ électrique obtenues au cours d'environ 900 heures de fonctionnement du radar ont été moyennées et modélisées pour obtenir des cartes de potentiel électrostatique représentatives de différents niveaux d'activité magnétique repérés par l'indice Kp. Ces cartes sont cohérentes avec une intensification et une extension vers les plus basses latitudes des deux cellules de convection du matin et du soir lorsque Kp augmente. En outre, elles mettent en évidence plusieurs caractéristiques de la variation de la convection avec l'activité magnétique: par exemple, l'accroissement avec Kp de le chute de potentiel entre l'aube et le crépuscule, l'accentuation de la rotation des deux cellules lorsque Kp augmente, ainsi que la pénétration de la convection vers les moyennes latitudes lorsque l'activité magnétique est forte. Ces caractéristiques sont en bon accord avec les modèles provenant d'autres radars à diffusion incohérente et de satellites. Enfin, ces distributions statistiques ont été projetées dans le plan équatorial de la magnétosphère, entre 4 et 11 rayons terrestres. La structure obtenue est cohérente avec les observations du satellite GEOS dans la région de la plasmapause [A/90.30].

Dans un deuxième temps, les conductivités intégrées Hall et Pedersen dans la région conductrice de l'ionosphère ont été analysées pour séparer les contributions respectives de l'éclairement solaire et des précipitations de particules magnétosphériques dans l'accroissement des densités électroniques de l'ionosphère, et des conductivités. La comparaison des conductivités "particulaires" moyennes obtenues à partir des données EISCAT avec celles modélisées à partir des mesures d'électrons précipitants a montré que ces dernières sont en bon accord avec les données dans le secteur matin de l'ionosphère, mais qu'elles sont sous-estimées dans le secteur soir. Cette différence a été interprétée par le rôle des précipitations ioniques sur l'ionisation de la région E, composante des précipitations qui n'est pas prise en compte dans le modèle précédent. Cette interprétation est cohérente avec les flux et

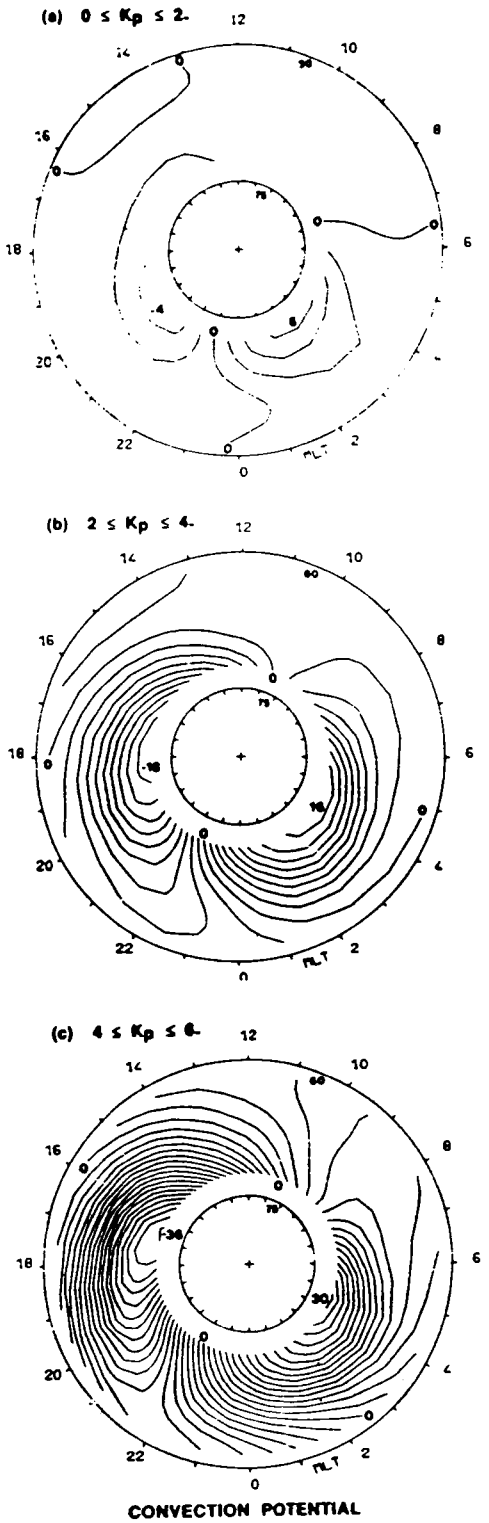



Figure 4.1 : *Potentiel de convection déduit des mesures du radar EISCAT dans l'ionosphère aurorale entre 61° et 73° de latitude invariante pour 3 gammes d'activité magnétique. L'angle polaire représente le temps magnétique local. La coordonée radiale est la colatitude invariante. Les équipotentielles sont tracées tous les 2 kV. On remarque l'intensification de la convection avec le niveau d'activité magnétique ainsi que la rotation vers l'ouest de l'ensemble des deux cellules.*

énergies des précipitations ioniques observés dans les secteurs soir et matin de l'ionosphère [A/acc. 30].

L'étape finale de ce travail a consisté à déterminer la distribution moyenne des courants électriques ionosphériques perpendiculaires au champ magnétique à partir des mesures de champ et de conductivités et, par leur divergence, à calculer et modéliser les courants alignés le long du champ magnétique. La comparaison des distributions moyennes du potentiel électrostatique et des courants alignés à montré que les pertes de plasma par précipitation des particules magnétosphériques ont un rôle non négligeable dans l'établissement des gradients de pression magnétosphériques responsables de la génération des courants alignés. Ce résultat est en accord avec les études théoriques décrites au paragraphe 4.1.3.

Le couplage électrique entre les hautes, moyennes et basses latitudes a été étudié pour une période de mesures coordonnées de 6 radars à diffusion incohérente répartis à plusieurs temps locaux entre la calotte polaire et la région équatoriale. Les données ont montré que l'atténuation, vers les moyennes latitudes, des fluctuations de la composante méridienne du champ électrique était beaucoup plus forte que celle des fluctuations de la composante zonale, en désaccord avec les résultats des modèles théoriques de la convection magnétosphérique. Cette différence a été expliquée par le rôle prépondérant de la dynamo ionosphérique qui perturbe les champs électriques en créant un système de vents neutres par chauffage Joule de la zone aurorale durant cette période [A/90.13].

### 4.1.2 VENTS NEUTRES

Des mesures coordonnées de l'interféromètre de Michelson MICADO et du radar à diffusion incohérente EISCAT ont été faites durant l'hiver 1988-1989, afin de comparer les vents neutres mesurés par MICADO et ceux déduits des données EISCAT. Dans la région E, les conditions météorologiques et l'activité magnétique n'ont pas permis d'obtenir des données simultanées, mais en moyenne les vents mesurés par MICADO sont en bon accord avec les modèles statistiques en zone aurorale. En région F, les composantes méridiennes du vent obtenues par les deux instruments sont en bon accord durant le jour. La nuit, la présence de vents neutres verticaux, qui ne sont pas pris en compte dans le calcul du vent méridien à partir des données EISCAT, dégrade les comparaisons. Toutefois, il a été possible d'estimer l'amplitude des vents neutres verticaux nécessaires pour expliquer les différences entre les deux mesures, et de montrer que cette estimation est du bon ordre de grandeur [A/90.34].

### 4.1.3 MODELISATION DE LA CONVECTION A GRANDE ECHELLE

Dans la magnétosphère interne (typiquement à moins d'une dizaine de rayons terrestres de la Terre), le plasma injecté depuis la queue géomagnétique est convecté vers le Soleil sous l'effet du champ électrique de convection créé par la dynamo vent solaire - magnétosphère. Ce transport est en fait contrôlé par le conducteur ionosphérique, électriquement couplé au plasma magnétosphérique par l'intermédiaire des lignes de force du champ magnétique très conductrices.

Les efforts entrepris depuis plusieurs années vers la modélisation complètement autocohérente et dépendante du temps, de la convection, y compris le couplage ionosphère - magnétosphère, ont été concentrés depuis deux ans sur le couplage que contribue à établir la circulation de courants électriques alignés le long des lignes de force du champ magnétique. L'origine des courants alignés a récemment été remise en question par des travaux effectués au CRPE qui ont montré que la distribution des gradients de pression du plasma magnétosphérique, considérés comme les principaux responsables, ne permet pas de rendre compte des observations. En plus de la convection, la prise en compte dans la formation des gradients de pression, de la perte de plasma magnétosphérique par précipitation dans l'ionosphère nous a permis de réconcilier la théorie avec les observations. Cette hypothèse a pu être validée par un modèle simplifié de la convection. Ce processus a ensuite été inclus dans le code numérique fluide mis au point dans le groupe depuis plusieurs années et considérablement développé pour simuler la circulation des courants alignés le long des lignes de force, ainsi que leurs effets en retour sur la convection. Les premiers résultats montrent un accord global pour les différents paramètres entre les simulations et les observations [A/91.09].

### 4.1.4 ETUDE INSTANTANEE DE LA CONVECTION

La connaissance de la convection instantanée et de son évolution implique la capacité de séparer les variations temporelles vraies des variations spatiales ou en temps local. Des efforts ont été effectués dans deux directions pour atteindre ce but, la modélisation globale à partir d'un ensemble d'instruments et l'utilisation du radar cohérent multifaisceaux SHERPA.

*Modélisation multi-instrumentale*

Pour connaître l'état instantané des paramètres et leur variations en fonction de la source de la convection magnétosphérique (c'est à dire de la dynamo vent solaire/magnétosphère qui dépend des paramètres électrodynamiques de l'ionosphère aurorale, du vent solaire, et en particulier du champ magnétique interplanétaire) une technique a été mise au point au NCAR, qui permet de déduire des cartes instantanées de la distribution du potentiel électrique de haute latitude en utilisant les données de plusieurs radars, de satellites et de magnétomètres au sol. Cette méthode a été appliquée à deux périodes de campagnes internationales d'observation de l'ionosphère par radars au sol. Elle a permis de montrer que la convection ionosphérique peut répondre rapidement aux variations du champ magnétique interplanétaire. Les performances de cette

SCHEFFERVILLE
1989/OCT/15
Beam 8

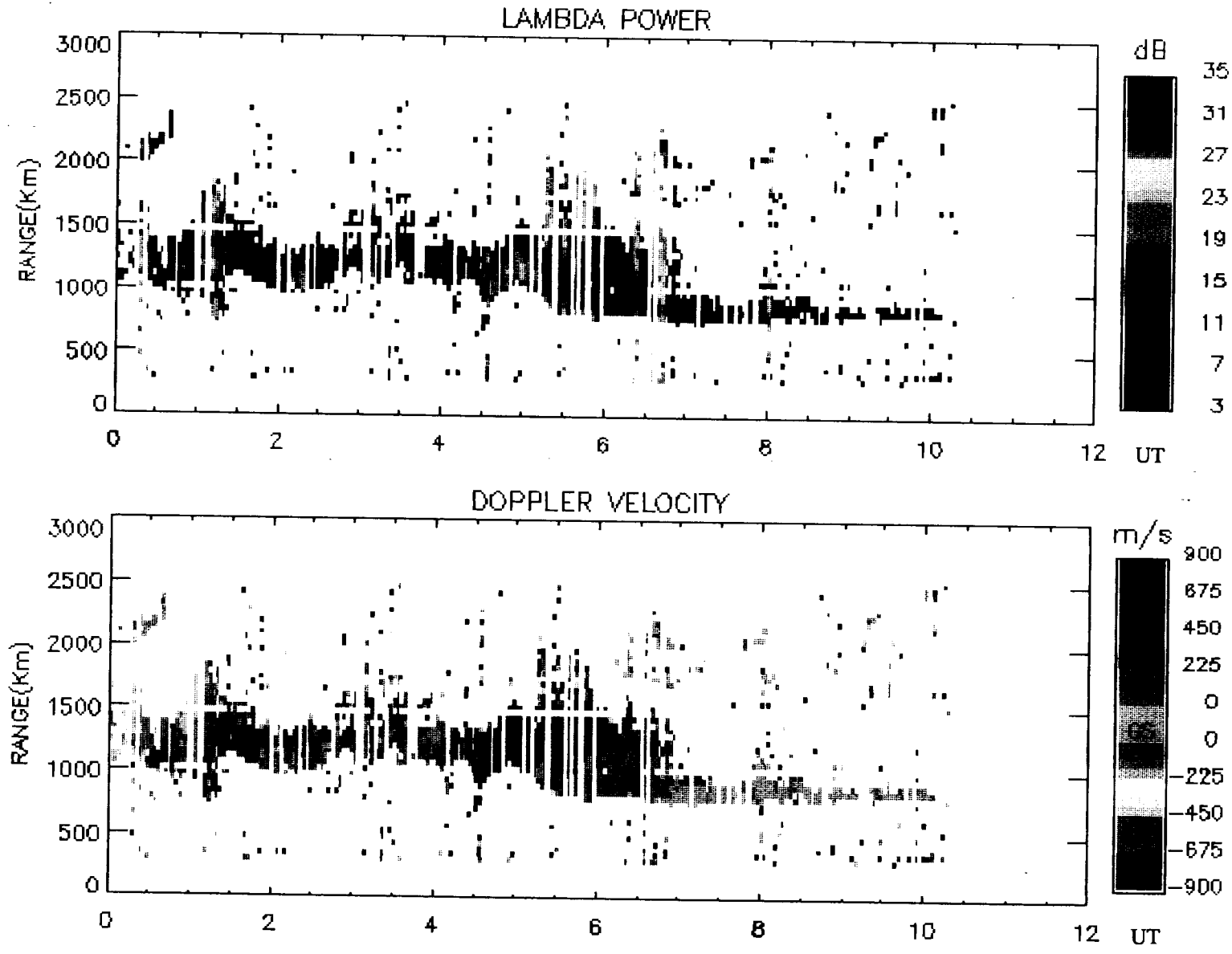



Figure 4.2 : *Intensité (diagramme du haut) et vitesse Doppler (diagramme du bas) mesurées par le radar SHERPA dans l'une des 16 directions possibles de faisceau. L'abcisse représente le temps et l'ordonnée représente la distance au radar. Le codage couleur de l'intensité et de la vitesse est indiqué sur la droite de chaque diagramme. On remarque l'intensification des vitesses vers 0430 TU suivie d'un éloignement progressif du radar (déplacement vers le Nord) de la zone de vitesses intenses. Pendant cette période le champ magnétique interplanétaire est dirigé vers le Nord, ce qui correspond à un faible taux de reconnection magnétique au niveau de la magnétopause.*

technique ont été validées par la comparaisons des "mesures" globales de la différence de potentiel entre l'aube et le crépuscule de la calotte polaire, des courants alignés au champ magnétique, et du chauffage Joule obtenus par cette procédure et les mesures de ces mêmes paramètres obtenues indépendamment par d'autres instruments. Ainsi validée, cette technique très puissante permettra d'étudier les variations de la convection du plasma ionosphérique avec le champ magnétique interplanétaire, et de déterminer les constantes de temps de réponse de l'ionosphère en fonction du temps local [A/90.11, A/90.27].

*Le radar cohérent SHERPA*

Le radar cohérent SHERPA installé à Schefferville (Québec) a fonctionné dans le mode multifaisceaux à partir d'Octobre 1989. Dans ce mode, le radar SHERPA couplé au radar US de Goose Bay effectue une cartographie de la convection sur une zone potentielle de 15° en latitude et 30° en longitude. La résolution spatiale est de 50 à 100 km et la résolution temporelle de 1,5 minute. A partir de séries de telles cartes, il est possible de déduire l'évolution temporelle de la convection dans un secteur de temps local déterminé lorsque celui-ci traverse le champ de vue du radar. Un premier travail a concerné l'étude des variations de la convection dans le secteur nuit associées à un renversement du champ magnétique interplanétaire du Sud vers le Nord. Le nouveau schéma de convection est limité aux régions polaires et s'établit avec une constante de temps de l'ordre de l'heure.

A partir de mesures multifréquences du radar SHERPA dans le mode mono-faisceau, une étude statistique des caractéristiques des échos radar provenant de la région E ionosphérique a été entreprise. Elle a permis d'étendre aux radar HF les résultats concernant l'occurrence d'échos liés aux instabilités de dérive de gradient et double faisceau [A/91.06].

*Evénements à transfert de flux*

La reconnection sporadique et localisée du champ magnétique interplanétaire avec le champ magnétique terrestre est l'un des processus de couplage entre la magnétosphère et le milieu interplanétaire. Ces événements de transfert de flux (FTE) sont difficiles à observer expérimentalement à cause de leur localisation spatiale et temporelle ainsi que de l'ambiguité de leur signature. Une étude effectuée à partir de l'ensemble des données électrodynamiques du satellite AUREOL-3 acquises lors d'une traversée du cornet polaire a mis en évidence des structures discrètes d'arcs suggérant la traversée par le satellite du pied de deux FTE successifs séparés par 150 km en latitude [A/sou.03].

### 4.1.5 ECHAPPEMENT IONOSPHERIQUE

Le transport et l'accélération des ions d'origine ionosphérique depuis l'ionosphère jusqu'aux régions lointaines de la magnétosphère, apparait à l'heure actuelle comme un processus important de peuplement de la magnétosphère.

*Transport horizontal du plasma*

La distribution du plasma résultant de l'équilibre entre les processus de création et de pertes et incluant le transport horizontal mesuré par EISCAT a été modélisée. La comparaison avec les mesures de densité effectuées simultanément par le radar donne un bon accord général et des différences qui s'interprètent comme résultant de la structure thermique de l'atmosphère [A/89.24, A/acc.31].

*Le vent polaire*

Les premières observations à l'aide du radar EISCAT-VHF ont été effectuées au cours de cinq nuits en juillet-août 1988. Il s'agit de mesures simultanées de la densité, de la température et de la vitesse verticale des ions $O^+$, de la densité des ions $H^+$ et de la température des électrons jusqu'à 1000 km environ.

Elles ont montré, que en période calme ou moyennement agitée, la densité des ions $H^+$ reste inférieure à 10% de la densité électronique totale, et que la vitesse des ions $O^+$ ne dépasse jamais 200 m/s. La vitesse de $H^+$ ne peut être déduite directement des spectres enregistrés par le radar. Une méthode a été mise au point pour la calculer à partir des paramètres mesurés. On en déduit que la vitesse de $H^+$ est toujours dirigée vers le haut au-dessus de 600 km et qu'elle atteint quelquefois 1 km/s à 950 km d'altitude.

L'atmosphère neutre joue un rôle important par son couplage fort avec l'ionosphère. A partir des observations et en résolvant l'équation de l'énergie pour les ions $O^+$, on a pu donner une estimation de la température et de la concentration de O. En période calme, la température est en bon accord avec les modèles CIRA-86 et MSIS-86. En période calme ou agitée, les valeurs de la concentration de O sont très proches de celles des modèles. On a aussi montré que les modèles sous-estiment d'un facteur 2 à 5 la densité de H. Un code de simulation numérique qui résout le système des équations de continuité et du mouvement pour les ions $O^+$ et $H^+$ a été mis au point. Il a permis de vérifier que la densité de H est sous-estimée pour des situations magnétiques calmes et moyennement agitées, et de montrer que le champ de convection peut contribuer à donner aux ions des vitesses supersoniques [A/sou.29, B/90.09].

La nature supersonique du vent polaire a été étudiée par le code précédent. Lorsque la pression du plasma est diminuée artificiellement à 1200 km, le nombre de Mach augmente aux altitudes inférieures. Quand on l'augmente il n'y a pas possibilité pour un échappement supersonique.

*Effet des précipitations*

Les mesures à basse altitude (~ 500 km) effectuées à bord du satellite AUREOL-3 ont montré que l'ionosphère des régions du cornet polaire et des failles magnétosphériques est une région source parmi les plus importantes pour le plasma de la magnétosphère.

La détermination de l'efficacité de la source ionosphérique nécessite une bonne connaissance de la dynamique d'ensemble du plasma, sur une gamme d'altitudes importante puisqu'on doit non seulement rendre compte de l'échappement des ions de l'ionosphère inférieure, mais également des processus d'accélération éventuels à plus haute altitude. L'étude de la dynamique du plasma pour les altitudes inférieures à 2000 km a été entreprise au moyen d'un modèle fluide. Ne prenant en compte que les ions majoritaires $O^+$, ce modèle vise à la description de l'effet des précipitations d'électrons de basse énergie sur l'évolution des paramètres principaux du plasma (densités, vitesses, températures), simulant la réalité quand les tubes de forces dérivent en passant à travers le cornet polaire puis dans la calotte polaire. A son stade actuel, cette modélisation permet de reproduire qualitativement les variations temporelles de la vitesse parallèle du plasma et de la température ionique observées à bord du satellite AUREOL-3. Une modélisation plus complète, incluant les flux de chaleur comme variables du problème et prenant en compte de manière auto-consistante les ions $H^+$, est actuellement en cours.

### 4.1.6 ETUDES GLOBALES A L'ECHELLE PLANETAIRE

A l'échelle planétaire, nous avons étudié la réponse de l'électrojet équatorial aux situations d'orage magnétique se développant à partir de la dissipation d'énergie par effet Joule dans l'ionosphère aurorale [A/90.22, A/90.12, A/acc.11]. Nous avons mis en évidence un affaiblissement de l'électrojet équatorial. Ces travaux entrent dans le cadre de la préparation à l'Année Internationale de l'Electrojet Equatorial.

Sur un plan pluridisciplinaire, nous avons abordé les relations de l'activité solaire avec l'activité aurorale ainsi qu'avec le climat [A/90.18].

## 4.2 STRUCTURES A PETITE ECHELLE ET SOUS-ORAGES MAGNETO-SPHERIQUES

Au petites échelles, les régions ionosphériques de haute latitude et la magnétosphère externe sont très structurées. L'interaction entre les champs électromagnétiques et la distribution du plasma y est forte, mettant en jeu des processus non-linéaires et des mécanismes de filamentation. Les processus dynamiques, souvent difficiles à séparer expérimentalement des structures statiques jouent un rôle important. Nous présenterons d'abord les travaux portant sur la turbulence électrostatique et électromagnétique ainsi que les mécanismes d'accélération associés à la turbulence. Ensuite, nous expliciterons la relation entre les phénomènes magnétosphériques et les structures aurorales au niveau ionosphérique, pour aborder enfin la dynamique des sous-orages.

### 4.2.1 TURBULENCE ELECTROSTATIQUE

La turbulence électrostatique le long des lignes de force aurorales a été étudiée à haute altitude dans la fente polaire par le satellite VIKING et au niveau de l'ionosphère supérieure par le satellite AUREOL-3.

*Turbulence dans la fente polaire*

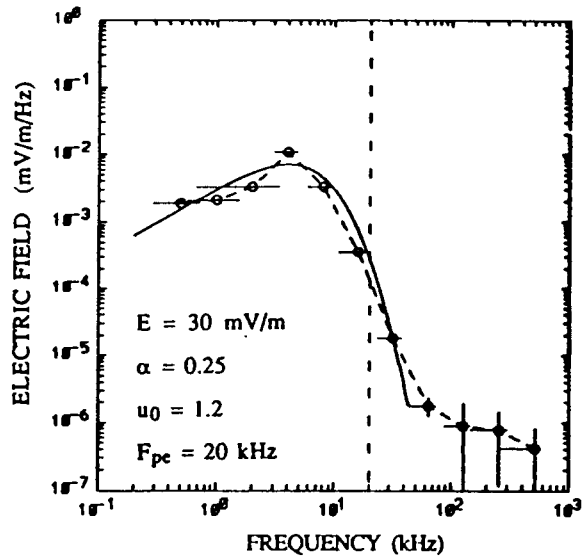



Figure 4.3 : *Comparaison entre le spectre d'une impulsion de bruit électrostatique à large bande d'intensité totale E obtenu à l'aide de la batterie de filtres de l'expérience V4H à bord du satellite VIKING (cercles reliés par des tirets) et le spectre d'un soliton acoustique électronique (trait plein) dont les paramètres $u_0$ (vitesse de déplacement) et a (rapport des densités des populations électroniques froide et chaude) sont indiqué sur la figure. L'accord est bon entre courbe expérimentale et théorique, surtout au-dessus de la fréquence de plasma $f_{pe}$ où aucun mode linéaire ne peut se propager.*

Le satellite VIKING a révélé la présence de structures à très petite échelle (100 m à 1 km) dans la région de la fente polaire. A l'intérieur de ces structures sont observés :

- une turbulence électrostatique intense, sous forme d'émissions de bruit électrostatique à large bande (BELB) s'étendant entre une centaine de Hz et quelques centaines de kHz. La durée typique de ces émissions est de quelques centaines de ms, leur amplitude pouvant atteindre 100 mV/m environ.
- des phénomènes d'accélération se manifestant par la présence conjointe de champs électriques statiques intenses, de courants alignés avec le champ magnétique terrestre, de faisceaux d'électrons également alignés, de faisceaux d'ions coniques et de déplétions de densité du plasma thermique bordées par de forts gradients.

Vers les hautes fréquences le spectre des impulsions de BELB revêt la forme d'une loi de puissance décroissante, ce qui suggère que les effets non linéaires jouent un rôle fondamental dans la génération de ces émissions. Ce résultat est confirmé par la forte intensité du BELB. Les mesures de flux de particules montrent par ailleurs que le plasma de la fente polaire est composé de deux populations électroniques de températures différentes, ce qui crée les conditions favorables à la propagation du mode acoustique électronique. En régime linéaire, ce mode ne permet pas d'expliquer l'extension vers les hautes fréquences des émissions de BELB. En régime non linéaire, en revanche, il peut créer des structures cohérentes, les solitons acoustiques électroniques. Le spectre des impulsions de BELB peut être interprété comme étant dû au passage de ces solitons au voisinage du satellite [A/91.02, A/91.03].

Les ondes acoustiques électroniques ainsi associées au BELB peuvent contribuer aux phénomènes d'accélération observés dans la fente polaire de deux façons, tout d'abord par un phénomène de résistivité anormale, ensuite par l'évolution des solitons en double-couches [B/91.02].

*Turbulence électrostatique dans l'ionosphère supérieure*

La turbulence électrostatique dans l'ionosphère de haute latitude a été étudiée à partir des mesures du satellite AUREOL-3. Deux types principaux de turbulence ont été mis en évidence. Le premier est la turbulence de dérive de gradient qui existe dans toutes les régions extérieures à la plasmasphère et qui est due à la dérive de gradients de densité dans le champ électrique statique. La seconde plus intense est associée à des structures d'arcs et localisée dans les régions de cisaillement de la vitesse de convection du plasma [A/sou.20, B/89.07].

Une étude de la structure fine de la turbulence de dérive de gradient a été effectuée par la méthode de la transformée en ondelettes. On a montré que la cohérence spatiale était très faible (de l'ordre de la longueur d'onde) tandis que la cohérence entre les différentes échelles de turbulence est en accord avec l'hypothèse d'un développement non-linéaire contrôlé par un mécanisme de cascade depuis les grandes échelles vers les petites [A/sou.11].

### 4.2.2 TURBULENCE MAGNETIQUE ET STRUCTURES DE COURANTS

La compréhension de l'électrodynamique aurorale passe par l'étude détaillée des courants alignés et des phénomènes associés, comme les précipitations de particules, et la turbulence électromagnétique UBF. L'analyse des données du satellite AUREOL-3 a permis d'étudier les structures à petite échelle, avec pour objectifs la reconnaissance de la part relative des structures statiques (affectées d'un effet Dopler dû au mouvement du satellite) et des variations temporelles (ondes d'Alfven) dans les régions de filamentation de courants.

La comparaison des variations des composantes perpendiculaires du champ électrique continu avec celles des composantes orthogonales du champ magnétique, permet d'aborder le couplage ionosphère-magnétosphère par les courants alignés, lequel dépend de la conductivité Pedersen intégrée de l'ionosphère. A grande et moyenne échelle les valeurs de conductivité Pedersen déduites des données électriques et magnétiques sont en bon accord avec les valeurs calculées en utilisant les mesures des précipitations d'électrons. A petite échelle, au contraire les valeurs calculées de la conductivité apparaissent plus faibles que les valeurs attendues.

Une modélisation de la variation du rapport des fluctuation électriques et magnétiques en fonction de la fréquence en tenant compte de l'atténuation du champ électrique lors de sa projection dans l'ionosphère donne des résultats en très bon accord avec la variation observée, indiquant qu'une interprétation statique des fluctuations est possible, et que la variation de la conductivité en fonction de la fréquence des fluctuations ne peut être tenue pour preuve de la présence d'ondes d'Alfven [A/91.04] .

L'étude de la polarisation des fluctuations magnétiques permet en revanche de montrer que certaines des perturbations observées doivent être interprétées par l'existence d'ondes d'Alfven. En effet, grâce à une analyse spatio-temporelle par une méthode de variance minimum, on a pu mettre en évidence dans quelques cas une différence de direction entre la normale au plan de polarisation et la direction du champ magnétique total, différence qui est en faveur de l'interprétation "ondes" [A/91.04].

### 4.2.3 ACCELERATION PARALLELE DES ELECTRONS

Le satellite S3-3 a fréquemment observé, à haute altitude dans les zones aurorales, des différences de potentiel alignées de quelques volts, localisées sur des distances de l'ordre de 100m (soit quelques dizaines de longueurs de Debye). Au début des années 1980, des simulations numériques de la turbulence acoustique-ionique avaient montré que des doubles couches faibles peuvent naître d'une interruption locale du courant aligné et donner lieu à un champ électrique parallèle dirigé vers la magnétosphère conformément aux observations de S3-3. Les simulations prévoyaient de plus une diminution importante, jusqu'à 50%, de la densité à l'endroit des doubles couches qui devaient par ailleurs se propager dans la même direction que les électrons, c'est à dire vers la Terre. Les expériences plus complètes embarquées sur le satellite VIKING ont permis de mettre en évidence un mouvement des doubles couches vers la magnétosphère et de montrer l'association des doubles couches faibles avec les ondes cyclotroniques ioniques et les faisceaux d'ions montants. Des simulations électrostatiques particulaires bidimensionnelles ont montré que le

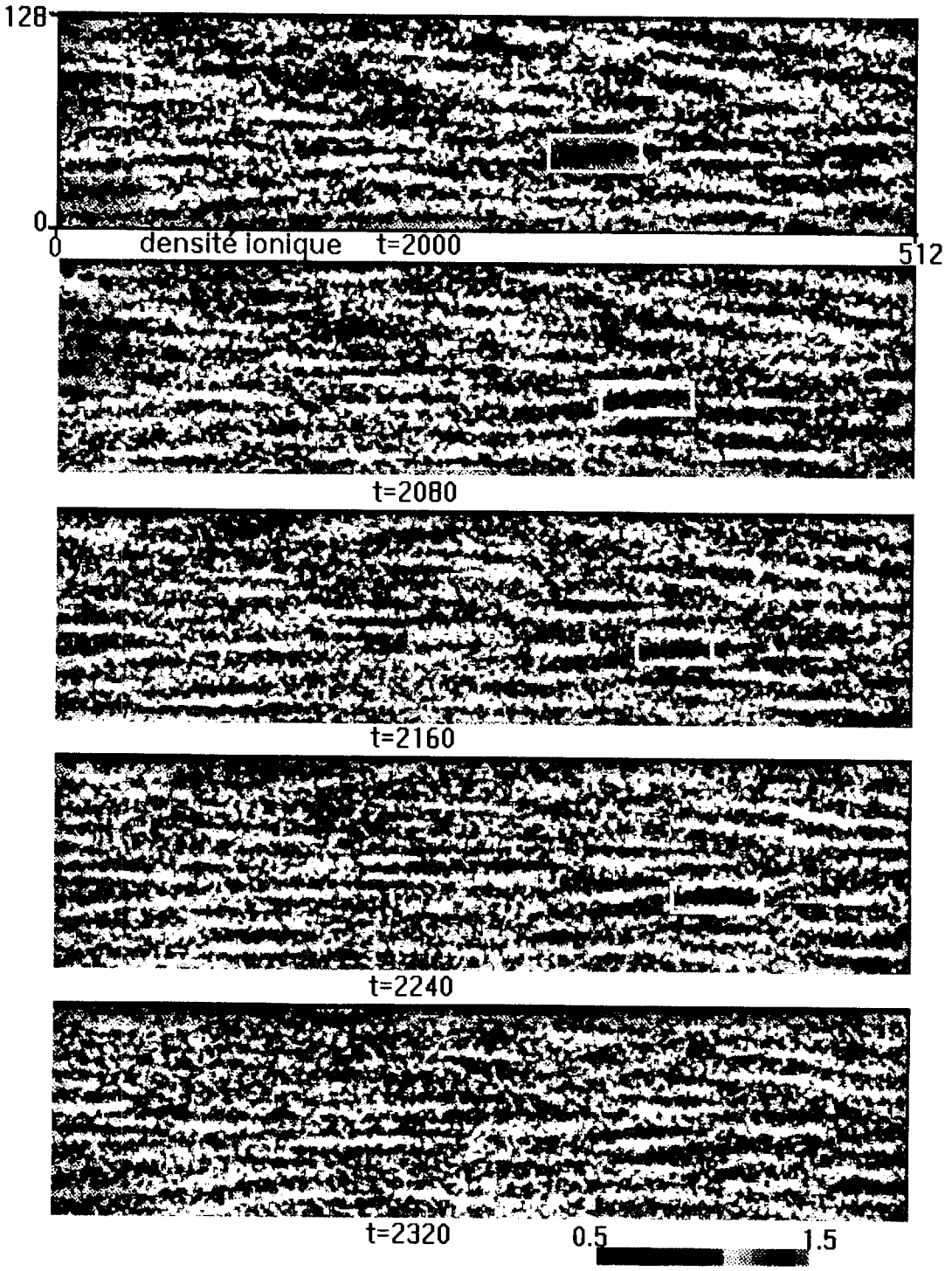



Figure 4.4 : *Simulation numérique bi-dimensionnelle (512 $\lambda_D$ x 128 $\lambda_D$ où $\lambda_D$ est la longueur de Debye), montrant l'émergence de structures à partir de la turbulence cyclotronique ionique. L'évolution non-linéaire de l'instabilité cyclotronique qui est déclenchée par un faisceau d'ions chauds conduit à filamenter la densité ionique et le potentiel. La taille d'un filament est de 10 fois le rayon de Larmor ionique dans la direction perpendiculaire au champ magnétique. La densité est représentée à des temps successifs, distants d'une gyropériode ionique. Le rectangle blanc isole un creux de densité (- 40%) qui dure environ 4 périodes ioniques et se déplace le long du champ magnétique dans la direction du faisceau d'ions. L'analyse détaillée de cette structure suggère qu'il s'agit d'une structure de potentiel en double couche dont les caractéristiques sont en bon accord avec les données du satellite Suédois VIKING.*

couplage non-linéaire des ondes cyclotroniques ioniques créées par l'instabilité d'un faisceau d'ions aligné provoque une striation stationnaire du plasma, alignée avec le champ magnétique (A/acc.24). Les ions montants de basse énergie sont piégés dans les canaux de densité ainsi formés où ils conduisent à la formation de doubles couches faibles semblables à celles observées par Viking [A/sou.19, B/91.04].

### 4.2.4 EFFETS IONOSPHERIQUES DES PRECIPITATIONS : OBSERVATIONS CONJUGUEES EISCAT-VIKING

Le satellite VIKING, en survolant le champ de vue du radar EISCAT, a permis d'étudier les effets de la précipitation des électrons magnétosphériques sur l'ionosphère à partir d'observations simultanées dans l'ionosphère et la magnétosphère. Le phénomène de précipitation aurorale contribue à accroître l'ionisation et à chauffer localement l'ionosphère. Dans une première étude, un modèle du transport vertical dans l'ionosphère a permis de décrire le budget en énergie des électrons ionosphériques pendant une période de précipitation diffuse observée à bord de VIKING. L'accord obtenu avec les observations de la structure du plasma ionosphérique par le radar EISCAT a validé le modèle de transport et a abouti à une évaluation de la contribution des différents processus de chauffage, refroidissement et conduction de la chaleur au budget en énergie des électrons ionosphériques [A/90.20]. Un second travail a porté sur l'étude d'une situation plus perturbée à la fin d'un sous-orage magnétosphérique, et d'une structure associée de précipitation active, connue en anglais sous le nom de "Westward Traveling Surge" (WTS). L'analyse de cette situation a montré que le WTS reste stationnaire tant que la perturbation due au développement de l'électrojet auroral vers l'ouest persiste, puis décroît avec elle [A/89.20].

### 4.2.5 STRUCTURES D'ARCS

L'utilisation des données du sondeur à diffusion incohérente EISCAT s'est heurtée à l'inadéquation de certains modes de fonctionnement aux caractéristiques spatiales et temporelles des structures d'arcs discrets ; par exemple seule une direction de visée le long du champ magnétique autorise à combiner les mesures simultanées de densité et vitesse du plasma pour en déduire les courants ionosphériques.

L'observation simultanée de structures aurorales par EISCAT et par une caméra plein-ciel basée à Kilpisjärvi en Finlande a permis d'ordonner les données EISCAT relativement aux structures aurorales qui se développent de façon active pendant les sous-orages magnétosphériques. Ainsi, l'exploitation des mesures de champ électrique effectuées par EISCAT a permis de mettre en évidence une direction d'invariance qui organise l'écoulement du plasma ionosphérique au voisinage de ces structures actives. La comparaison avec les images quasi-instantanées fournies par la caméra montre que cette direction d'invariance correspond bien à l'orientation privilégiée des arcs discrets présents dans le milieu, et sur lesquels les structures actives du type WTS associées au sous-orage apparaissent se propager.

Ces résultats reflètent l'imbrication de processus opérant à des échelles spatio-temporelles distinctes, et démontrent l'importance du système de convection à grande échelle dans le déclenchement et le développement des sous-orages magnétosphériques. La présence d'oscillations de grande amplitude observées dans le sillage des arcs et ordonnées par leur orientation pourrait traduire l'existence d'une frontière à grande échelle entre le feuillet de plasma magnétosphérique et la région adjacente qui, dans ce cas précis, apparait fortement inclinée par rapport à l'orientation des coquilles magnétiques [A/acc.07].

### 4.2.6 DECLENCHEMENT DES SOUS ORAGES MAGNETOSPHERIQUES

Lors d'un sous-orage, la configuration magnétique de la queue de la magnétosphère est complètement modifiée. Cette reconfiguration s'accompagne d'une accélération du plasma et de son injection vers la Terre. Les électrons ainsi accélérés puis précipités dessinent dans la haute atmosphère de la région aurorale des arcs discrets, manifestation visible du développement temporel du sous-orage.

Certains travaux ont remis en cause le modèle "standard" qui prévoit que les sous-orages sont liés au déclenchement d'une instabilité de déchirement dans la queue magnétique. L'analyse des résultats obtenus par l'ensemble des expériences embarquées à bord du satellite GEOS a conduit à proposer une autre interprétation : l'instabilité en mode "ballooning". Cette instabilité tire son énergie de forts gradients, dirigés vers la Terre, dans la pression des ions énergétiques. De tels gradients sont effectivement observés et ils ont une taille caractéristique en bon accord avec le seuil de l'instabilité. La signature de l'instabilité "ballooning" a également été mise en évidence au niveau des champs électriques et magnétiques qui lui sont associés. Les conséquences de l'instabilité, à savoir la rupture de la configuration magnétique et la création d'un champ électrique induit qui est responsable de l'injection du plasma vers la Terre ont également été étudiées [A/acc.29, C/89.28, C/91.01].

## 4.3 ETUDE DES FRONTIERES MAGNETOSHERIQUES

Dans le vent solaire en expansion supersonique et super-alfvénique, le champ magnétique interne de la Terre dessine un obstacle qui se caractérise en particulier par l'existence de deux discontinuités : le choc et la magnétopause. On décrit dans le présent chapitre les études théoriques et expérimentales destinées à identifier et à comprendre les processus de thermalisation et de transport qui se produisent au niveau de ces discontinuités et dans les couches limites adjacentes.

### 4.3.1 ONDES DANS LE PRECHOC ELECTRONIQUE

En amont du choc de la Terre, on observe des ondes de plasma intenses provoquées par des particules chargées réfléchies par l'onde de choc. Il existe en particulier une région, le pré-choc électronique, où les ions réfléchis, relativement lents, sont absents. Seuls les électrons réfléchis interagissent donc avec le plasma du vent solaire. De par sa relative simplicité, le pré-choc électronique constitue un excellent laboratoire pour l'étude des phénomènes de base de la physique des plasmas, comme l'interaction faisceau - plasma. Une étude détaillée des observations du satellite ISEE-1 menée au CRPE avait révélé, en particulier, l'existence d'émissions électrostatiques à large bande de fréquence, s'étendant sur une gamme de l'ordre de 0.2 à 1.5 fois la fréquence de plasma électronique, ce qui constitue, a priori, une surprise dans la mesure où la théorie classique prévoit un spectre étroit autour de la fréquence de plasma. La résolution numérique de l'équation de dispersion linéaire des ondes a permis de montrer que des faisceaux d'électrons froids et relativement lents, dont les paramètres ont éte précisés, permettaient d'exciter les ondes electrostatiques sur une large bande de fréquence, correspondant aux observations [A/89.05]. Une étude complémentaire de l'interaction faisceau-plasma a permis également de montrer qu'une partie des ondes électrostatiques observées, celles dont la fréquence est supérieure à la fréquence plasma, pouvait se propager dans une direction oblique par rapport à la direction de dérive des faisceaux, ce qui a été confirmé expérimentalement par une étude de directivité des émissions observées par ISEE-1 [A/90.05].

### 4.3.2 ONDE DE CHOC EN AMONT DE LA TERRE

Lorsque le flot du vent solaire traverse l'onde de choc terrestre, le plasma subit un chauffage d'amplitude très différente pour les ions et les électrons. Etant donné le caractère non collisionnel du choc, les principales sources de ce chauffage sont associées à des mécanismes de dissipation anormale (interactions ondes-particules) ne faisant pas intervenir les collisions binaires inter-particulaires. La principale difficulté réside dans le fait que (i) la nature et l'amplitude de ces mécanismes diffèrent totalement suivant la direction de propagation de l'onde de choc, le régime (sous- ou super-critique) du choc et les conditions du plasma amont caractérisées par le rapport $\beta$ entre la pression cinétique et la pression magnétique, (ii) ces mécanismes ont un effet important sur la dynamique du choc et peuvent se coupler entre eux, et (iii) les ions et les électrons ont une dynamique totalement différente lors de leur traversée du choc. La simulation numérique se révèle être un outil d'étude particulièrement efficace pour ce problème complexe ; étant donné le rôle important des mécanismes d'interaction ondes-particules, une étude du choc a été entreprise au CRPE depuis 1983 à l'aide d'un code particulaire, totalement électromagnétique, bi-dimensionnel, permettant d'étendre l'étude entreprise en collaboration avec le Département de Physique de l'UCLA (Los-Angeles, USA) limitée à un code analogue mais monodimensionnel. La présente étude a permis de vérifier que certains résultats obtenus pour un choc super-critique quasi-perpendiculaire, ne résultaient pas d'un artefact numérique dû à la monodimensionnalité du code originel. Ceci concerne d'une part les mécanismes de reformation du front de choc (sous certaines conditions) durant sa propagation, et d'autre part la mise en évidence d'angles critiques pour lesquels le chauffage et l'accélération des ions et des électrons deviennent importants ; ces mécanismes entraînent la création d'anisotropies de température et la formation de fonctions de distribution électronique et ionique instables. On obtient ainsi un réservoir d'énergie libre dans la région aval du choc.

Ce code permet également d'inclure de manière auto-consistante le déclenchement de différents types d'instabilités telles celles mentionnées ci-dessus (sources de dissipation "visqueuse") et les instabilités déclenchées par les forts courants diamagnétiques (sources de dissipation "résistive"). Une étude fine a permis de montrer que la dynamique du choc est principalement contrôlée par les mécanismes visqueux et non par les mécanismes résistifs, et de retrouver un bon accord entre les fonctions de distributions particulaires locales, en particulier la fonction "en plateau" pour les électrons, et les mesures des satellites ISEE.

Par ailleurs, une étude menée en collaboration avec l'équipe de l'UCLA et du JPL (Pasadena, USA) a permis de mettre en évidence à l'aide d'un code particulaire, électromagnétique 1D différents régimes d'amortissement du mode sifflement (précurseur) observé en amont du choc. Un bon accord qualitatif a été obtenu avec les résultats des satellites ISEE-1 et 2 [A/89.15]. Enfin, deux évènements viennent renforcer l'effort entrepris dans l'étude des chocs non collisionnels, d'une part la rédaction d'un article de revue, d'autre part l'organisation d'un atelier de travail européen sur les chocs et singularités à petite échelle au CRPE en Mars 1991, en vue de rapprocher divers laboratoires européens travaillant sur ce sujet mais appartenant à des communautés différentes (chocs magnétosphériques planétaires, choc interplanétaire, choc observé en laboratoire dans les interactions laser-plasma).

### 4.3.3 INSTABILITE DE KELVIN-HELMHOLTZ

Le flot du vent solaire, détourné par l'obstacle magnétique que constitue le dipôle terrestre, vient souffler tangentiellement sur la magnétopause, qui constitue une frontière a priori étanche à sa pénétration vers la Terre. Cette frontière entre le plasma d'origine solaire et celui (moins dense) de la magnétosphère, est fréquemment le siège d'une instabilité, dite de Kelvin-Helmholtz, qui se manifeste par des ondulations de la magnétopause (ondes de surface), de la même façon que le vent qui souffle sur la surface de la mer donne naissance aux vagues. L'étude théorique de ce mécanisme a été entreprise au laboratoire depuis plusieurs années, avec l'aide d'un code numérique de

type magnéto-hydrodynamique qui permet de faire des simulations de grande taille de la magnétopause terrestre. Ceci a permis tout d'abord de mettre en évidence pour la première fois le phénomène de cascade inverse, c'est à dire la tendance non-linéaire vers les oscillations de grande longueur d'onde [A/89.02, E/89.01, C/90.08]. Un outil nouveau a été ajouté plus récemment, qui est un code de résolution numérique de l'équation de dispersion linéaire de l'instabilité. L'utilisation conjointe de ces deux outils a permis de séparer les rôles, pour le taux de croissance de l'instabilité, des différents paramètres : épaisseur de la transition, retournement du champ magnétique, effets non-linéaires. Un couplage de l'instabilité de Kelvin-Helmholtz avec des effets de reconnexion magnétique a été également observé dans les simulations dans le cas où une résistivité phénoménologique est introduite : ceci peut expliquer pourquoi la magnétopause se comporte parfois localement, de façon non-étanche [C/89.02]. Le rôle de la couche limite, qui se trouve en aval de la magnétopause, a été très récemment étudié : en plus du bord externe de cette couche (la magnétopause), le bord interne peut également être le siège d'une instabilité de Kelvin-Helmholtz, et le couplage non-linéaire de ces deux instabilités peut modifier de façon importante l'amplitude des oscillations sur chacune des frontières.

### 4.3.4 ROLE DES FLUCTUATIONS A PETITE ECHELLE, DANS LE TRANSFERT DE MASSE A TRAVERS LA MAGNETOPAUSE

Dans l'approximation MHD, la résistivité ou la dissipation ne peuvent être introduites que de manière ad-hoc. Une description correcte met en jeu des effets cinétiques, donc des phénomènes à petite échelle. Des études ont été menées pour identifier les structures à petite échelle qui pourraient assurer le transport anormal (non lié aux collisions binaires) à travers la magnétopause. Les études menées à partir du satellite GEOS-2 ont permis de mettre en évidence un niveau particulièrement élevé de fluctuations d'Ultra-Basses Fréquences au niveau de la magnétopause.

GEOS 2 a permis de montrer que ces fluctuations sont électromagnétiques, avec des rapport $\delta E/\delta B \sim$ entre les fluctuations électriques et magnétiques de l'ordre le la vitesse d'Alfven $V_A$ et que le champ $\delta B$ est essentiellement transverse [A/89.22]. Certaines caractéristiques ne peuvent être déterminées à partir de mesures faites par un seul satellite ; on ne peut par exemple séparer les variations spatiales des variations temporelles, ni par conséquent estimer le rôle de l'effet Doppler. C'est pourquoi une étude a été entreprise à partir de mesures en deux points, grâce aux données des deux satellites ISEE-1 et 2. On a montré qu'une même structure localisée spatialement peut être observée par les deux satellites, lorsque ceux-ci sont assez proches [C/90.32]. Les données des satellites ISEE ont également permis de discuter du rôle de ces fluctuations électromagnétiques dans le transport anormal à travers la magnétopause. Un calcul des flux de particules dû à la diffusion par ces fluctuations a été effectué pour quelques traversées de magnétopause.

## 4.4 INTERACTIONS ONDES PARTICULES

Dans les plasmas chauds et peu denses des environnements ionisés planétaires et du vent solaire, l'absence de collisions binaires favorise le développement de fonctions de distribution électroniques et ioniques hors d'équilibre. Le présent chapitre décrit les ondes émises par ces plasmas hors l'équilibre et les conséquences en retour sur les distributions des ions et des électrons.

### 4.4.1 INTERACTION ENTRE LES ELECTRONS ENERGETIQUES ET LE MODE SIFFLEMENT

De nombreux résultats sur les interactions entre ondes cyclotroniques électroniques (mode sifflement ; fréquence de l'ordre de 100 Hz-3kHz) et les électrons énergétiques (énergie E comprise entre 10 keV et 300 keV) ont été obtenus ces dernières années dans la magnétosphère terrestre, grâce en particulier aux données acquises par les satellites GEOS. Une étude statistique du mécanisme de génération du souffle plasmasphérique est en cours. Elle montre que ce souffle est engendré par une interaction locale dans la plasmasphère et qu'il n'est pas nécessaire de trouver des sources externes à la plasmasphère pour expliquer la présence quasi-permanente de ce type d'émission. Par ailleurs, les difficultés rencontrées au plan théorique pour expliquer quantitativement certains phénomènes d'auto-oscillations dans les interactions citées, nous ont amenés à développer une étude par simulation numérique. Le code utilisé est entièrement électromagnétique, particulaire, à une dimension d'espace le long du champ magnétique statique $\mathbf{B_0}$ et trois dimensions en vitesses. Initialement, la population électronique est composée de deux distributions : une distribution maxwellienne majoritaire "froide" isotrope en température et une distribution minoritaire chaude, anisotrope en température (température $T_\perp > T_{//}$, où les indices $\perp$ et // font références à $\mathbf{B_0}$). Les résultats obtenus actuellement, tant pour la croissance et la saturation des ondes que pour la relaxation partielle de l'anisotropie de température de la distribution électronique chaude sont en bon accord avec les résultats expérimentaux. Ces simulations ont permis de mettre en évidence un certain nombre de phénomènes fins dans la phase de croissance des ondes (comme l'apparition d'un bruit électrostatique relativement important parallèlement à $\mathbf{B_0}$, suivi d'un chauffage partiel des électrons "froids"), phénomènes difficiles à observer expérimentalement en raison de la résolution temporelle insuffisante des expériences. Une étude paramétrique est en cours, en variant l'anisotropie initiale, les vitesses thermiques relatives des deux populations et leur densité, afin d'évaluer l'importance relative de ces différents paramètres dans l'évolution temporelle et la saturation des ondes [B/89.10].

### 4.4.2 CHAUFFAGE DES IONS IONOSPHERIQUES

Nous avons vu qu'une partie importante du plasma magnétosphérique est d'origine ionosphérique. Cependant, l'extraction des ions ionosphériques est gênée par leur faible température (≤ 1 eV). Les satellites en orbite polaire basse ont permis de mettre en évidence des processus de chauffage des ions ionophériques dans la direction transverse par rapport au champ magnétique. La force miroir liée à la décroissance du champ magnétique permet ensuite de "tirer" vers la magnétosphère ces ions chauffés, dont les distributions dans l'espace des vitesses ont des formes dites "en coniques", c'est à dire que le flux est maximum pour certains angles d'attaque. Une étude expérimentale à partir des mesures effectuées à bord du satellite AUREOL-3 [A/sou.24] a été menée pour identifier le processus qui permet le chauffage transverse des ions ionosphériques. Elle a mis en évidence une corrélation entre des ondes magnétosonores et des distributions ioniques en forme de coniques, et montré que les ondes magnétosonores subissent, au voisinage de la gyrofréquence des protons, une conversion de mode. Une étude théorique [A/sou.12] a montré que cette conversion de mode reflète un processus d'absorption résonante qui chauffe les ions. Ce processus est analogue à celui qui est invoqué en fusion inertielle où l'énergie d'un laser est absorbée par un granule de deutérium. Le mécanisme de chauffage des protons ne peut se développer que dans des régions de hautes latitudes et basse altitude où les protons sont minoritaires. Un mécanisme analogue, permettant le chauffage de l'oxygène lorsque cet ion devient minoritaire, a été étudié. Par ailleurs, le rôle des ondes d'Ultra Basse Fréquence dans la thermalisation du plasma a été étudié [C/89.11] Enfin, une étude détaillée des champ électrique et magnétique des ondes magnétosonores observées dans la région équatoriale a été effectuée. Elle a permis de comparer l'indice déduit de ces mesures à celui que prévoit la théorie. L'accord excellent valide à la fois la théorie et les mesures [A/90.16].

### 4.4.3 RAYONNEMENT NON THERMIQUE

Les planètes magnétisées du système solaire sont des sources de rayonnements très intenses et structurés, observables à de très grandes distances. Les températures effectives de ces rayonnements sont telles qu'ils ne peuvent être engendrés que par des plasmas hors d'équilibre. Les fréquences observées impliquent que les ondes sont émises par des mouvements cohérents des électrons des plasmas. La base des observations a été fournie par l'expérience V4H du satellite Viking qui a, pour la première fois, effectué des mesures dans les régions sources du Rayonnement Kilométrique Auroral (RKA). Les travaux se sont essentiellement orientés vers l'identification et la description des régions sources des émissions et sur l'interprétation théorique du mécanisme d'émission (B/89.04). Les études morphologiques des sources du RKA ont porté sur la mesure de la densité électronique et la composition en énergie du plasma d'électrons [A/90.21, A/90.23]. Ces travaux ont permis de montrer que le cône de perte n'était pas la seule source d'énergie libre ; des électrons piégés, avec de grands angles d'attaque, sont également observés dans les régions sources. Une modélisation des régions d'accélération a permis de comprendre l'origine de cette population piégée hors d'équilibre [A/acc.16]. Sur le plan théorique, le mécanisme de génération par l'instabilité MASER cyclotron a été étendu pour rendre compte des caractéristiques du plasma observées dans les sources, à savoir la présence majoritaire d'un plasma chaud (quelques keV) privilégiant le comportement relativiste des électrons au voisinage de leur fréquence cyclotonique [A/89.13].

Les travaux portant sur le mécanisme de génération du rayonnement et la morphologie des sources ont été intégrés pour former un scénario possible de production du rayonnement [A/90.21]. Une présentation d'ensemble de ces mécanismes a été proposée dans un article de vulgarisation [C/90.36, E/89.02]. La possibilité de génération de rayonnements non thermiques par l'instabilité MASER cyclotron et notamment la possibilité de saturation par piégeage non linéaire d'électrons dans le champ des ondes a été utilisée pour interpréter les observations des spectres du rayonnement kilométrique de la planète Saturne [A/89.11]. La théorie du mécanisme d'instabilité MASER Synchrotron a été développé pour des plasmas complètement relativistes pour interpréter la génération de sursauts stellaires [B/89.04].

En parallèle avec ces travaux, une interprétation différente des émissions non thermiques planétaires a été étudiée; elle s'appuie sur les mesures à haute résolution temporelle des filtres électriques et magnétiques, qui ont permis de mettre en évidence l'extrême variation temporelle de ces champs. Des sursauts sporadiques de RKA associés à une très forte turbulence électrostatique, également sporadique, au voisinage de la fréquence hybride basse, sont très souvent mis en évidence. La durée de tels sursauts est typiquement de l'ordre de 1s, et ces sursauts sont toujours associés à des faisceaux d'électrons énergétiques (≥ 1 keV), à de forts gradients de la densité électronique, et à d'intenses champs électriques statiques (≥ 100 mV/m). Les densités d'énergie présentes dans les ondes hybrides basses peuvent atteindre des valeurs proches des densités d'énergie du plasma froid. Seules des théories non linéaires peuvent permettre de décrire les processus physiques en cause.

Une théorie non linéaire du RKA, basée sur l'interaction entre des solitons à la fréquence hybride basse et des ondes à la fréquence hybride haute, a été développée. Les calculs montrent que la puissance du rayonnement électromagnétique, résultat de ce couplage, ne peut être conséquente que dans les régions où la fréquence de plasma est très inférieure à la gyrofréquence électronique. Dans les régions sources du RKA, cette théorie prédit un flux d'énergie électromagnétique sporadique de l'ordre de $10^{-9}$ à $10^{-11}$ W $m^{-2}$ $Hz^{-1}$. Ceci est en très bon accord avec les

données acquises par Viking. Le soliton à la fréquence hybride basse se comporte comme une antenne localisée dont les dimensions transversale et longitudinale sont respectivement de ~ 1 km et de ~ 40 km. La présence de cette antenne permet de transformer efficacement l'énergie électrostatique contenue dans les ondes hybrides hautes, en énergie électromagnétique à des fréquences situées au-dessus de la coupure du mode [A/sou.22].

## 4.5 SYSTEME SOLAIRE

Deux événements porteurs ont marqué la période écoulée, les lancements des sondes GALILEO en 1989 vers JUPITER et ULYSSE en 1990 destinée à étudier le milieu interplanétaire. Les premiers résultats d'ULYSSE concernent les ondes de choc dans le milieu interplanétaire, étudiées également à partir de données du satellite ISEE. Des mesures ont été effectuées par GALILEO au voisinage de Vénus et de la Terre pendant son trajet complexe vers Jupiter. Une étude a porté sur la structure de la magnétosphère Jovienne. Enfin l'interaction du vent solaire avec l'atmosphère cométaire a été modélisée suite aux résultats de la mission GIOTTO de rendez-vous avec la comète de Halley.

### 4.5.1 BRUIT THERMIQUE DANS LES CHOCS INTERPLANETAIRES

Afin d'interpréter les spectres de bruit électrostatique observés sur le satellite ISEE-1 au voisinage de chocs interplanétaires dans le vent solaire, nous avons effectué une étude théorique et numérique de l'antenne de ce satellite. Nous avons calculé le bruit électrostatique quasi-thermique observé théoriquement sur l'antenne en supposant que la population électronique dans le vent solaire peut être convenablement représentée par la somme de deux distributions maxwelliennes (choeur et halo). Nous avons étudié les spectres électrostatiques en fonction de la longueur de l'antenne et des rapports de densité et de température du choeur et du halo. En prenant aussi en compte le bruit instrumental et le bruit d'impact des électrons sur l'antenne, il est possible de déterminer avec précision un facteur de calibration de l'antenne. En comparant les résultats obtenus à la mesure de spectres de bruit mesurés en aval de chocs interplanétaires, nous avons déduit les rapports de densité et de température halo/choeur après le passage de ces chocs [A/91.11, B/90.07].

### 4.5.2 L'EXPERIENCE ONDES A BORD DE LA SONDE ULYSSE

Avec plusieurs années de retard, la sonde Ulysse, fruit d'une collaboration de l'Agence Spatiale Européenne et de la NASA, a été lancée le 6 Octobre 1990. Destinée à étudier les phénomènes solaires et le milieu interplanétaire dans et hors du plan de l'écliptique, elle survolera Jupiter le 8 Février 1992, avant de survoler les pôles du Soleil en 1994 et 1995. Le CRPE est associé à l'expérience URAP (Unified Radio-Astronomy and Plasma waves) construite en collaboration avec le centre Goddard de la NASA, l'Université de Minnesota, et le Despa de l'Observatoire de Meudon. La mise sous tension de URAP le 4 Novembre 1990 a permis de confirmer le bon fonctionnement de l'expérience. En particulier, le sondeur à relaxation, dont le but est de fournir la densité électronique du milieu au moyen de l'excitation de la résonance à la fréquence plasma, s'est révélé être un moyen de diagnostic d'une grande précision. L'expérience URAP, qui fonctionne en permanence depuis lors, a déjà permis de recueillir des mesures intéressantes. Les premières données recueillies au voisinage d'ondes de choc interplanétaires au moyen des magnétomètres alternatifs du CRPE, montrent des signatures d'ondes basse fréquence très différentes, suivant que la densité du milieu augmente ou diminue dans le passage du choc [A/sou.28].

### 4.5.3 L'INTERACTION VENT SOLAIRE - ATMOSPHERE COMETAIRE

Afin d'interpréter les résultats obtenus par l'expérience de spectrométrie de masse NMS sur la sonde GIOTTO dans la coma externe de la comète de Halley, un travail a été entrepris pour modéliser l'évolution de la fonction de distribution des ions cométaires depuis sa forme initiale immédiatement après l'ionisation des constituants neutres (distribution en anneau), jusqu'à la forme asymptotique qu'elle prend après diffusion des ions par la turbulence électromagnétique présente de façon continue en aval de l'onde de choc. En utilisant les résultats des modèles MHD qui décrivent assez bien à grande échelle la structure de la coma ionisée pour obtenir la forme générale des tubes de flux, on a restreint le problème à l'étude de l'évolution le long de ces tubes de la fonction de distribution des ions soumis aux processus de diffusion en angle et en énergie, en négligeant la diffusion spatiale. Les résultats initiaux de ce travail montrent un élargissement très rapide de la fonction de distribution pour des valeurs des coefficients de diffusion dont l'ordre de grandeur correspond sensiblement aux niveaux de turbulence observée.

### 4.5.4 LA SONDE GALILEO

La sonde spatiale GALILEO, construite par la NASA/JPL, a été lancée en Octobre 1989. Pour atteindre son objectif, Jupiter, elle utilise l'assistance gravitationnelle de Vénus et de la Terre. Des données ont été enregistrées auprès de Vénus et lors du premier passage près de la Terre. Le CRPE a fabriqué une partie de l'expérience destinée à la mesure de l'expérience PWS Plasma Wave System, dont le responsable principal est le Pr. Gurnett de l'Université de Iowa. En dépit des conditions très difficiles de température rencontrées dans le voisinage de Vénus, les antennes magnétiques fournies par le CRPE fonctionnent parfaitement. Les données sont en cours d'analyse. Bien que la sonde n'ait pas approché Vénus à moins de quatre rayons planétaires, il semble que des sifflements d'origine orageuse aient été détectés. Si elle se confirmait, cette découverte trancherait le débat

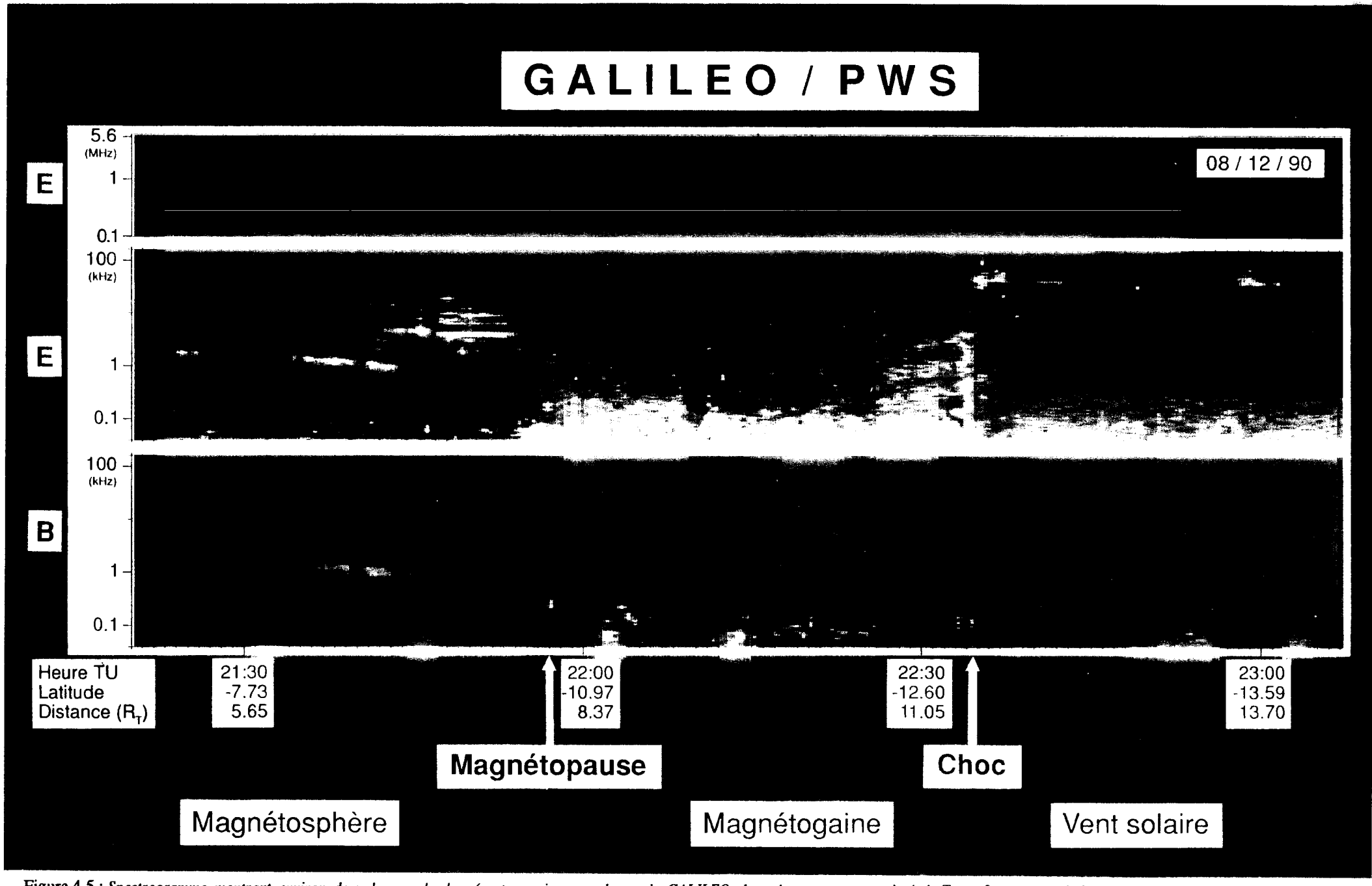



Figure 4.5 : *Spectrogramme montrant environ deux heures de données transmises par la sonde GALILEO, lors de son passage près de la Terre. Le panneau du haut correspond à la gamme haute fréquence (100 kHz - 5.6 MHz) qui est étudiée à partir d'une antenne électrique. Les deux panneaux suivants représentent les composantes électrique (milieu) et magnétiques (bas) des signaux entre 40 Hz et 160 kHz. La sonde qui vient de traverser la plasmapause s'éloigne de la Terre radialement dans le plan équatorial ; elle traverse le bord interne de la couche limite de la magnétopause à 21.45 TU, la magnétopause à 21.57 TU et le choc à 22.35 TU. Avant de pénétrer dans la couche limite, on observe une onde électromagnétique qui se propage dans le mode sifflement (le caractère électromagnétique est mis en évidence par la présente simultanée de champs électriques et magnétiques alternatifs). Dans la couche limite les signaux deviennent brusquement électrostatiques, aux multiples de la gyrofréquence. On constate que des bruits intenses à large bandes se développent au niveau de la magnétopause et du choc. En amont du choc on observe des ondes à la fréquence de plasma du vent solaire.*

suscité par les mesures de Pioneer Venus Orbiter sur l'existence de foyers orageux dans l'atmosphère Vénusienne. D'autres études sont en cours, portant notamment sur les ondes observées en amont du choc et dans le choc planétaire.

En décembre 1990 la sonde a approché la Terre ; sa trajectoire l'a amené à effectuer une coupe radiale de la magnétosphère terrestre de la queue magnétique lointaine à la magnétopause, près du point subsolaire.

Véritable cas d'école, cette coupe radiale s'avère très prometteuse au niveau de l'analyse des données. On constate notamment que des bouffées d'ondes électrostatiques à large bandes sont présentes à chaque traversée de la couche neutre. Des études précédentes, conduites plus près de la Terre avaient indiqué que la couche neutre est paradoxalement, une région calme ; aucune onde intense n'y avait été observée. La présence d'une turbulence électrostatique intense dans la couche neutre pourrait nous apporter des informations sur les processus de dissipation de l'énergie magnétique dans une couche neutre en milieu non-collisionnel.

### 4.5.5 PRESSION DU PLASMA DANS LA MAGNETOSPHERE DE JUPITER

Dans la magnétosphère moyenne de Jupiter, la pression du plasma est reliée au volume des tubes de force du champ magnétique par la loi d'adiabaticité des gaz. Son évaluation à partir d'un développement en harmoniques sphériques du champ planétaire combinée à un modèle autocohérent du magnétodisque, et ajustée aux mesures du champ magnétique effectuées par la sonde Voyager 1, aboutit à une valeur faible (0,88) de l'indice polytropique. La discussion montre que ce résultat ne s'explique pas seulement par la perte de plasma. Finalement, la comparaison avec les mesures de particules effectuées par Voyager 1 montre que la pression partielle des ions $H^+$ est faible par rapport à celle des ions $O^+$, avec une contribution au maximum de l'ordre de 18-36% à la pression totale [A/89.06].

## 4.6 ACTIVITE DE SERVICE : LE SERVICE INTERNATIONAL DES INDICES GEOMAGNETIQUES

Le Service International des Indices Géomagnétiques (SIIG), confié à la France depuis 1987 est installé au CRPE depuis 1990. Ce Service est chargé de l'élaboration et de la diffusion de l'ensemble des indices d'activité géomagnétiques reconnus par l'Association Internationale de Géomagnétisme et Aéronomie (AIGA).

Les indices d'activité géomagnétique caractérisent les fluctuations magnétiques enregistrées à la surface de la Terre, qui sont une des signatures les plus directement accessibles de l'ensemble des processus qui régissent le transfert d'énergie du vent solaire à la magnétosphère, et in fine à notre environnement plus proche : ionosphère et atmosphère. Ces indices servent à l'étude des relations Soleil-Terre, et constituent également un indicateur du niveau d'activité du Soleil. Les longues séries de données actuellement disponibles (la série des indices *aa* couvre plus de 120 ans) sont un outil précieux pour l'étude de l'évolution à long terme du système Soleil-Terre.

Les indices AIGA comportent des indices planétaires (*Kp*, *am*, *Km*, *an*, *as* et *aa*) et des indices mesurant l'activité à des latitudes particulières (latitudes aurorales : *AE* ; basses latitudes : *Dst*), qui sont préparés régulièrement sous la responsabilité du SIIG par des instituts collaborateurs (LGDI, Université Paris Sud ; Institut fur Geophysik, Allemagne ; Tokaï University, Japon). Le SIIG assure l'édition et la diffusion de bulletins mensuels et annuels, ainsi que celles de compilations périodiques.

Actuellement ces indices sont diffusés sur support papier, et mis à disposition dans les Centres Mondiaux de données. Un des objectifs du SIIG est de faciliter l'accès informatique à ces données par la diffusion de disquettes, et la mise à disposition des indices au moyen d'un serveur sur réseau. En outre, le service travaille en relation avec le projet INTERMAGNET qui doit permettre la mise à disposition de données d'observatoires en temps quasi réel, afin de préparer les indices qui seront diffusés par ce réseau.

## 4.7 PREPARATION DU PROGRAMME CLUSTER

Le CRPE est fortement engagé dans le programme Cluster de l'ASE. Cette implication s'est traduite par des travaux de préparation portant à la fois sur le développement de techniques nouvelles et sur la simulation de la réponse des instruments.

Au niveau de matériel, un boursier cofinancé par le CNES et la société ALCATEL Espace a été engagé pour développer de nouveaux préamplificateurs, la technique hybride, intégrant dans le substrat les protections (radiations et thermiques) nécessaires aux expériences spatiales. Ces travaux qui ont abouti à un gain de poids de 50 % et à une grande fiabilité ont donné lieu à des publications [C/90.43, C/acc 37] des brevets [H/90.03, H/90.04] et un rapport [F/90.28].

Un des aspects originaux de la mssion Cluster est la possibilité d'évaluer, par différences finies entre les mesures en quatre points, les gradients, divergences et rotationnels des divers paramètres. On peut ainsi calculer les courants grâce à la mesure du vecteur champ magnétique en quatre points. La validité de cet estimateur a été testée à partir de modèles numériques, ce qui pemet d'optimiser la distance intersatellite en fonction de l'objectif visé et d'estimer la sensibilité minimun du magnétomètre. Ce travail a donné lieu à une publication [c/90.34]. Le même souci de préparer la mission cluster a conduit à développer des visualisations 3D couleur de modèles du champ magnétique terrestre et des trajectoires des satellites de Cluster. La figure 4.6 montre une représentation tridimentionnelle des lignes de

Figure 4.6 : *Représentation tridimentionnelle des lignes de force du champ magnétique Terrestre selon le modèle de Tsyganenko, obtenue sur la machine Stellar-FPS 350 avec le logiciel AVS. On a représenté plusieurs "demi-coquilles" magnétiques creuses, définies par le départ des lignes de force sur un demi cercle de latitude constante à la surface de la Terre. L'influence du vent solaire est bien illustrée, et seules les lignes de force partant à basse latitude sont fermées ; l'éclairage est constitué de 8 sources de lumières, dont 4 sont directionnelles et en provenance du soleil. Le corps est vu sous un angle légèrement incliné par rapport au plan de coupe des coquilles. Ce type de modélisation est destiné à préparer la mission CLUSTER de l'ASE.*

force du champ magnétique Terrestre selon le modèle de Tsyganenko, obtenue sur la machine Stellar-FPS 350 avec le logiiciel AVS.

A noter enfin la mise en oeuvre d'un programme de simulation numérique financé par la CEE (Science) qui réunit 10 groupes européens. Ce programme est organisé autour du projet Cluster et vise à assurer une préparation efficace de ce projet en fournissant aux expémentateurs des données prélevées en quatre points d'une simulation numérique.

Les expérimentateurs Cluster pourront ainsi tester leurs outils logiciels et la réponse de leurs instruments à des données "réalistes" (émanant de simulation numériques).

## B. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Parmi les faits qui ont marqué la période 1989-1991, on peut citer les tirs réussis des sondes spatiales GALILEO et ULYSSE, longtemps différés à la suite de l'accident de la navette spatiale américaine. La sonde GALILEO est destinée à une étude approfondie de l'environnement de Jupiter et de ses satellites. ULYSSE permettra d'étudier les pôles solaires et le vent solaire hors du plan de l'écliptique. Le CRPE a construit une partie des expériences "ondes" embarquées à bord de ces deux sondes. Les premières données obtenues dans le voisinage de la Terre et de Vénus ont permis de vérifier le parfait fonctionnement du matériel. En participant activement à ces expériences, le CRPE confirme sa volonté de participer à l'exploration du système solaire.

Pendant la période de référence, l'essentiel des travaux a porté sur l'exploitation des données des missions spatiales GEOS, ISEE, ARCAD, VIKING et GIOTTO, ainsi que sur le dépouillement et l'interprétation des données fournies par les radars à diffusion incohérente EISCAT UHF et VHF et du radar cohérent SHERPA. La période 1989-91 est également marquée par un renforcement des études fondées sur la modélisation et la simulation numériques. A cet égard, la très forte interaction entre ces études théoriques et les travaux expérimentaux mérite d'être soulignée. A titre d'exemple, on peut citer les études menées à partir d'EISCAT, qui permettent de déterminer les conductivités, les courants alignés, et les précipitations, autant de paramètres qui sont injectés dans des modèles de convection que l'on valide ensuite à partir des données. De même, la modélisation du transport vertical du plasma entre l'ionosphère aurorale et la magnétosphère, motivée par les mesures d'EISCAT et AUREOL-3, prépare les études qui seront effectuées à plus haute altitude par GGS et INTERBALL. Les études par simulation numérique des "frontières" magnétosphériques, à savoir le choc ou la magnétopause, sont également conduites en étroite symbiose avec les travaux expérimentaux et avec la préparation des missions futures, CLUSTER en particulier. Cette volonté de mener de front des études théoriques et expérimentales nous a conduits à mettre en place un programme qui s'appuie sur 10 groupes européens travaillant dans le domaine de la simulation numérique. Ce programme vise à préparer la mission CLUSTER notamment en fournissant aux expérimentateurs des données de simulations numériques. Celles-ci serviront à tester les logiciels de dépouillement des mesures multipoints et permettront d'optimiser la distance inter-satellite en fonction de l'objectif scientifique visé. Ce programme, qui est coordonné par le CRPE, a été sélectionné par la Communauté Européenne qui le finance. Il porte également sur le développement de codes numériques adaptés à l'étude des frontières magnétosphériques dont l'étude est l'objectif majeur de CLUSTER, ainsi que sur le développement en commun de logiciels de visualisation pour des objets à 3 dimensions.

Le programme scientifique du CRPE en physique des environnements planétaires comporte deux composantes complémentaires : la première s'attache à une étude approfondie des plasmas de l'environnement ionisé terrestre. La possibilité de sondage depuis le sol, l'existence de missions spatiales longues et entièrement consacrées à la physique des plasmas, et les débits de télémesure importants qu'autorisent les missions en orbite terrestre, permettent d'atteindre une finesse d'analyse inaccessible pour les autres corps du système solaire, qui peut être mise à profit pour étudier de façon approfondie des régions "critiques" du système ionosphère/magnétosphère, régions jouant un rôle clef dans les transferts de masse, d'impulsion et d'énergie, qui sont le siège de mécanismes de plasmas magnétisés d'intérêt universel. A court et moyen terme, les régions étudiées resteront les lignes de force magnétiques aurorales et leurs frontières avec les calottes polaires. A moyen terme, l'intérêt sera déplacé vers les frontières magnétosphériques (choc, magnétopause, couches limites de la queue magnétique).

La seconde composante du programme vise à compléter l'étude approfondie de l'environnement terrestre par des missions exploratoires vers les autres objets du système solaire ; elle permet d'étudier d'autres cas de figure de la physique des enveloppes ionisées, et de faire apparaître ce qui, dans l'environnement terrestre, est spécifique de notre planète, et ce qui, au contraire, a un caractère "universel". Voyons en détail le contenu de ce programme à court, moyen et long terme.

Le lancement, en 1992, des satellites du projet INTERBALL, va fournir une base nouvelle de données couvrant la zone aurorale à haute altitude. Le CRPE est impliqué dans ce projet, au niveau de la mesure du plasma thermique et des fluctuations électriques et magnétiques. Il est également impliqué dans le projet américain GGS : (Global GeoScience), qui vise à dresser un bilan des échanges entre les divers éléments du système : le vent solaire, la magnétosphère, l'ionosphère et l'atmosphère. Le CRPE participe à la réalisation de l'un des instruments embarqués à bord de la sonde polaire (POLAR). Le lancement prévu en 1993.

A moyen terme, l'accent sera mis sur l'étude des frontières externes de la magnétosphère. Le projet CLUSTER de l'Agence Spatiale Européenne, comprend quatre satellites. Les mesures vectorielles effectuées en quatre points permettront de déterminer, par différences finies, les gradients, divergences et rotationnels des quantités mesurées, fournissant ainsi par exemple une estimation des courants et des gradients de pression. Les corrélations intersatellites permettront de caractériser la turbulence et son rôle dans ces régions frontières. Le CRPE, qui a grandement contribué à la genèse de ce projet, coordonne l'ensemble des cinq expériences "ondes" et assure la responsabilité principale de l'une d'entre elles. Le tir de CLUSTER est prévu fin 1995. Le CRPE participe également à une expérience destinée à la mesure des particules (PEACE). La préparation de la mission soviétique MARS est entrée dans une phase active. Les équipes "plasma" du CRPE participent à la réalisation de deux expériences : l'expérience DYMIO, destinée à la mesure du plasma thermique dans l'ionosphère supérieure de Mars, et l'expérience ELISMA, consacrée à l'étude des ondes.

A plus long terme, les équipes "plasma" du CRPE ont été sélectionnées dans le cadre du programme CRAF-CASSINI de la NASA, avec une participation de l'ASE pour CASSINI. CRAF (Comet Rendez-vous and Asteroid Flyby) réalisera un rendez-vous de longue durée (2 ans) avec une comète qu'il suivra jusqu'au périhélie. CASSINI effectuera une étude aprofondie du système Titan-Saturne, grâce à une sonde de descente fabriquée par l'ASE et un orbiteur réalisé par la NASA. Les tirs sont prévus en 1995-96.

Deux projets sont en cours de définition dans le domaine des expériences sol. Le projet POLAR CAP RADAR vise à l'installation au Spitzberg de radars à diffusion incohérente. Ce projet, qui est soutenu par nos partenaires européens, a été très bien classé lors du Colloque de Prospective de l'INSU. Egalement un projet, modeste au niveau financier, mais très intéressant scientifiquement, porte sur l'installation d'un réseau de radars cohérents, le réseau Super-DARN, couvrant l'ensemble des régions de hautes latitudes dans l'hémisphère nord. Le CRPE pourrait contribuer à la réalisation de l'un de ces radars.

Fortement impliqués dans des projets ambitieux, tant au niveau de l'environnement terrestre que de celui des objets du système solaire, les deux départements "plasma" du CRPE ont un programme expérimental très solide. La bonne coordination de leurs participations respectives donnera aux chercheurs du CRPE l'accès à un ensemble complet de données électromagnétiques et plasma. Ceci devrait leur permettre de continuer à jouer, un rôle moteur dans la politique scientifique de la discipline, tant au niveau français qu'européen. Cet effort d'investissement à long terme se traduit également par une participation active à l'enseignement, notamment au niveau des DEA de Physique des Gaz et des Plasmas, et d'Astrophysique. La perspective d'une association avec l'Université de Versailles/Saint-Quentin peut contribuer à développer ces liens et permettre d'offrir aux jeunes chercheurs des postes d'enseignants, et aux enseignants actuels une carrière plus conforme à leurs aspirations.

# 5 - ELECTROMAGNETISME, THEORIE DES COMMUNICATIONS ET PROPAGATION

## INTRODUCTION

Les études menées au département ETP ont la vocation d'être plus orientées vers les télécommunications et elles s'articulent autour de deux thèmes : la propagation et le traitement du signal.

Les études de propagation troposphérique menées au CRPE se situent en amont des applications pour les télécommunications tout en étant guidées par leurs besoins. Elles s'organisent suivant trois directions principales : l'effet des trajets multiples sur les liaisons hertziennes numériques à haut débit, l'influence des hydrométéores sur les liaisons horizontales et obliques en ondes millimétriques et la propagation pour les radiocommunications personnelles avec les personnes en déplacement.

Ces études visent à améliorer la connaissance du milieu de propagation afin d'affiner les méthodes de prévision pour les sytèmes de télécommunications présents et futurs. Elles font appel à des programmes expérimentaux qui nécessitent des moyens techniques importants.

La période 1989-1990 a vu se confirmer le redéploiement des efforts vers les études sur la propagation millimétrique et la propagation pour les mobiles qui traduit les évolutions dans le domaine des sytèmes de télécommunications .

Il faut noter que les moyens CNRS tant au niveau personnel que matériel sont très faibles sinon inexistants dans ces domaines, plus particulièrement au niveau scientifique, car ils ne sont pas reconnus dans les thèmes propres du CNRS.

Dans le domaine du traitement du signal, les recherches sont situées en amont et ne sont pas pilotées par les besoins immédiats d'une application particulière. Le risque d'une telle situation est de faire des recherches déconnectées des applications. Cet écueil est évité selon les sujets soit par des contacts nombreux, internes et externes, permettant de finaliser nos études, soit en concevant des expériences permettant de tester nos algorithmes dans des conditions plus réalistes, soit en utilisant ces algorithmes sur des données obtenues lors d'expériences conçues pour l'étude d'autres phénomènes. Par contre, tout résultat théorique peut être valorisé dans des applications différentes, pourvu que nous réussissions à convaincre les équipes systèmes de son intérêt.

Signalons la difficulté de contenter à la fois les deux organismes de tutelle du CRPE, en effectuant d'une part des résultats directement utilisables par les équipes du CNET et d'autre part des travaux de fond et de publication, ceci avec une équipe de permanents aussi peu nombreuse (il faut noter qu'elle ne comporte aucun chercheur CNRS).

## A. RESULTATS

### 5.1 PROPAGATION

#### 5.1.1 PROPAGATION EN ONDES CENTIMETRIQUES

L'objectif des études engagées au CRPE depuis 1981 en matière de propagation des ondes centimétriques (programme expérimental PACEM : *Propagation en Air Clair Et Météorologie* ) est d'aboutir à une caractérisation physique du canal de transmission en période de trajets multiples et de fournir des modélisations du canal valables sur une largeur de bande (moyenne) de 50 à 60 MHz, adaptées à des calculs de qualité des liaisons.

Le programme expérimental associé à cette étude a comporté trois expériences spécifiques :
Pacem 1 (juin-juillet 1982 en Beauce) Pacem 2 (de janvier 1985 à décembre 1988 en Beauce) et Pacem 3 (juin 1986 dans les Landes) . L'interprétation des données obtenues au cours de ces expériences s'est poursuivie ces deux dernières années.

A cela s'est ajoutée d'avril 1989 à avril 1991 une campagne de mesures des niveaux reçus sur quatre liaisons opérationnelles autour de Bordeaux (expérience Achille).

Toutefois, la direction du CNET ayant manifesté son désir de voir mettre un terme aux études de propagation pour les faisceaux hertziens, qui ne présentent plus le même intérêt qu'il y a quelques années pour l'opérateur France Télécom et les Commissions du secteur SPI du

CNRS n'ayant jamais été intéressées outre mesure par ce sujet , il a été décidé d'arrêter dès avril 1991 les aspects expérimentaux de ce programme d'études pour le clore lorsque les résultats auront fait l'objet de publications.

*Etude physique du milieu de propagation*

L'analyse des données avion recueillies pendant l'expérience Pacem 3 a été achevée. On a observé pour les deux nuits étudiées, en plus des structures verticales d'indice de réfraction à la source des trajets multiples, des gradients horizontaux dont une simulation par tracé de rayons a permis d'évaluer l'importance, notamment pour l'explication des variations temporelles. Ces résultats ont fait l'objet d'une thèse de doctorat [B/89 01] et d'un article dans Radio Science [A/89.04].

Au cours de l'analyse statistique des données Pacem 2, on a mis en évidence un événement atypique d'une durée d'environ un quart d'heure. S'appuyant sur toutes les données disponibles (radio et météo), il a été interprété comme l'effet simultané d'une forte pluie et de trajets multiples.

Les résultats en diversité de l'expérience Pacem 2 ont également montré que l'antenne haute était beaucoup plus affectée par les trajets multiples que l'antenne basse. Ces résultats ont pu être interprétés qualitativement et quantativement [C/91.02] au moyen de simulations par tracé de rayons sur un modèle d'atmosphère à couche superréfractante.

*Modélisation d'un canal en diversité d'espace*

Deux mois de données de PACEM 2 ont servi à étendre au canal en diversité d'espace la modélisation en bande moyenne. Pour des antennes espacées de 15 m, il apparait que les sélectivités sur les deux voies sont peu corrélées. Ce travail fait l'objet d'une thèse de doctorat [B/89.02].

*Analyse dynamique du canal*

L'analyse du comportement dynamique du canal a d'abord porté sur les données en bande large de Pacem 3.En comparant l'efficacité de plusieurs méthodes d'approche , on a pu choisir la mieux adaptée pour établir les probabilités des vitesses de variation de l'atténuation maximum et de la largeur du creux ; on a également regardé la possibilité de représenter les variations temporelles de ces paramètres par des modèles autorégressifs [C/89.18].

L'analyse s'est poursuivie sur les données en bande moyenne de Pacem 2. On a établi les distributions de la vitesse de variation de la "distorsion linéaire dans la bande" ainsi que de celles des paramètres des modèles de représentation de la fonction de transfert en bande moyenne.

L'ensemble de ces résultats a fait l'objet d'une thèse [B/90.05].

*Construction d'une méthode de prévision*

Les études de propagation permettent d'obtenir un modèle statistique du canal de propagation. Prenant ensuite en compte les caractéristiques d'un équipement de transmission particulier, on peut prévoir la qualité d'une liaison, par l'intermédiaire de ses courbes de signature [A/89.17], ce qui nous a conduit, au prix de certaines hypothèses, à mettre au point une méthode de prévision de la qualité des liaisons hertziennes [A/90.17].

Cette première version a depuis été améliorée à partir des résultats d'un an de fonctionnement de l'expérience Achille [C/91.05]. La version améliorée a été fournie aux services d'exploitation de France Télécom, sous la forme d'un logiciel en C exploitable sur un PC (programme CATCH "Calcul Analytique des Temps de Coupure en Hertzien") et présentée à ICAP 91 [C/91.24].

Les résultats de cette méthode ont également été comparés, sur la base de liaisons fictives représentatives des liaisons réelles rencontrées en Europe, à d'autres méthodes de prévision de la qualité des liaisons [C/acc01], dans le cadre des travaux de l'ETSI ("European Telecommunications Standards Institute").

*Etudes par simulations*

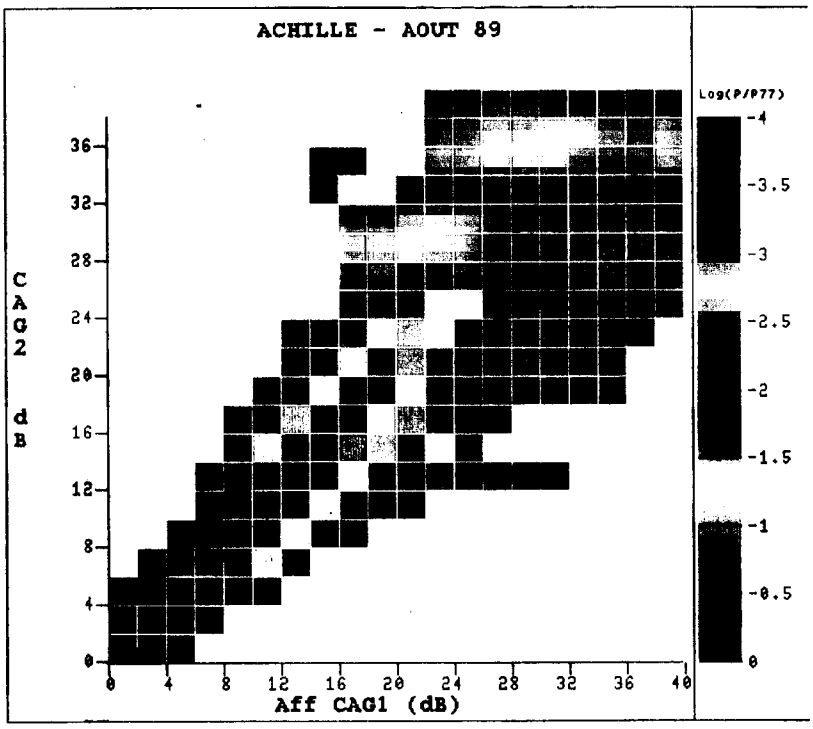
Les résultats précédents ont montré tout l'intérêt de procéder à des simulations à partir de modèles physiques réalistes du milieu de propagation. Le principe de ces études consiste à se donner un modèle statistique de l'indice atmosphérique, et à en déduire le modèle statistique de propagation correspondant par une méthode de Monte-Carlo [C/91.06, A/acc12, C/acc15] .

### 5.1.2 EFFETS DES HYDRO-METEORES

Les hydrométéores, la pluie en particulier, constituent la cause principale de perturbations des liaisons radioélectriques dans la gamme des ondes millimétriques . Nos études comportent une participation au programme de propagation Terre-satellite OLYMPUS, la mise en œuvre de liaisons horizontales expérimentales et une réflexion théorique pour le développement des modèles de prévision d'affaiblissement et de dépolarisation des ondes.

*OLYMPUS*

Le programme européen OLYMPUS, piloté par l'Agence Spatiale Européenne est dévolu, entre autres, aux études de propagation entre Terre et satellite dans les bandes à 20 et 30 GHz. Le satellite géostationnaire qui emporte les balises a été lancé en juillet 1989.



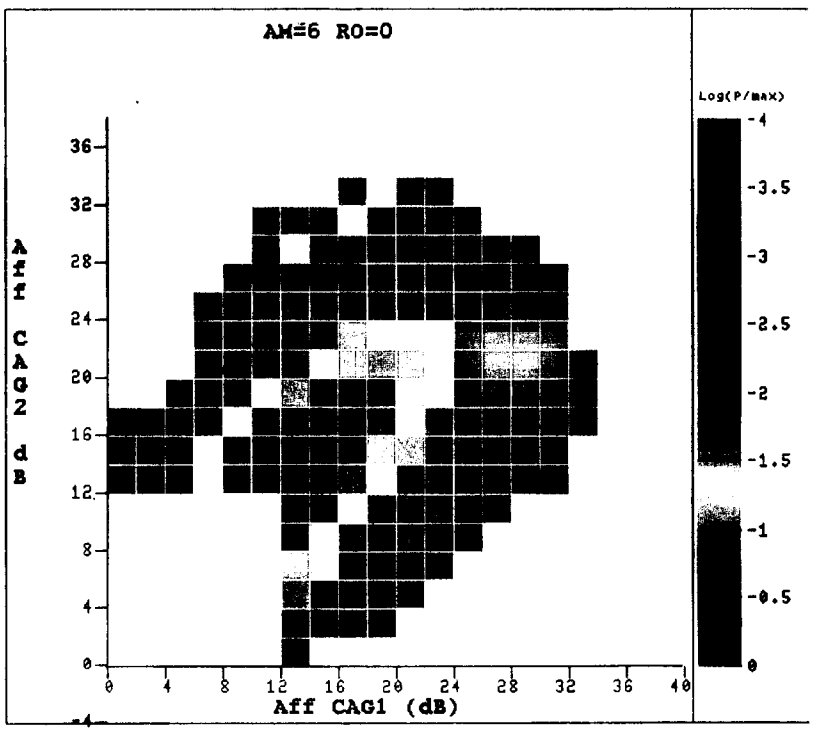
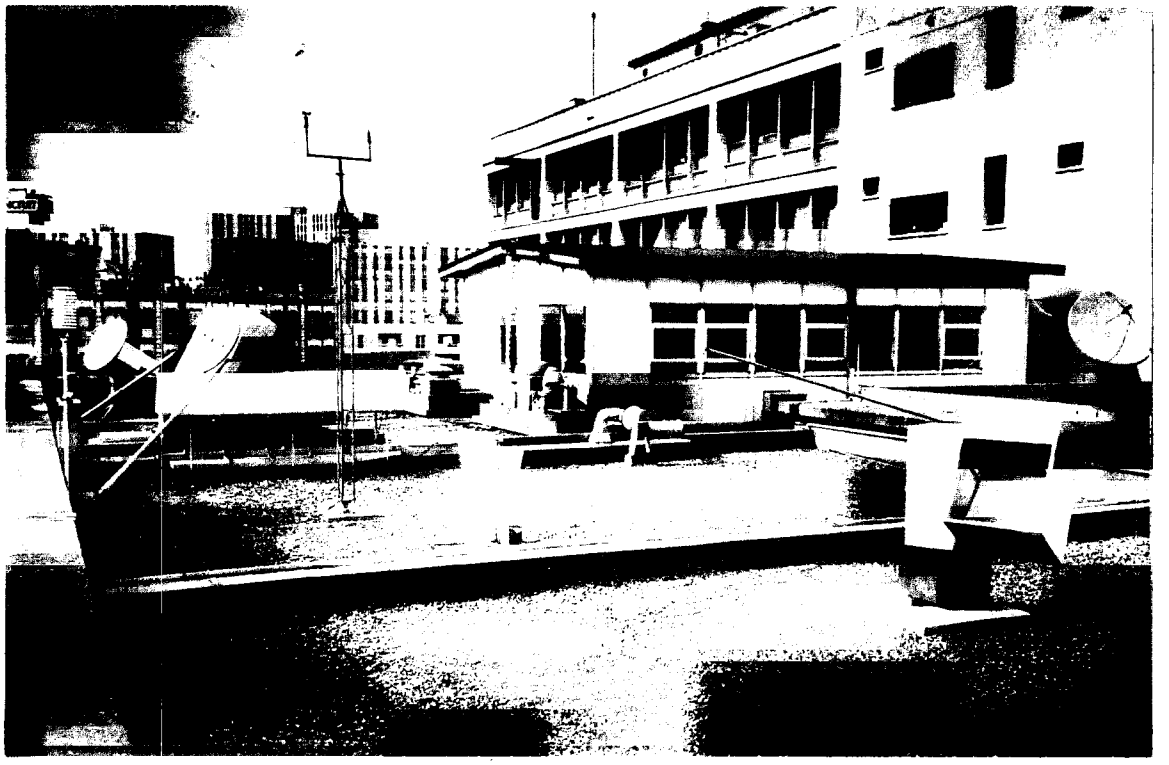



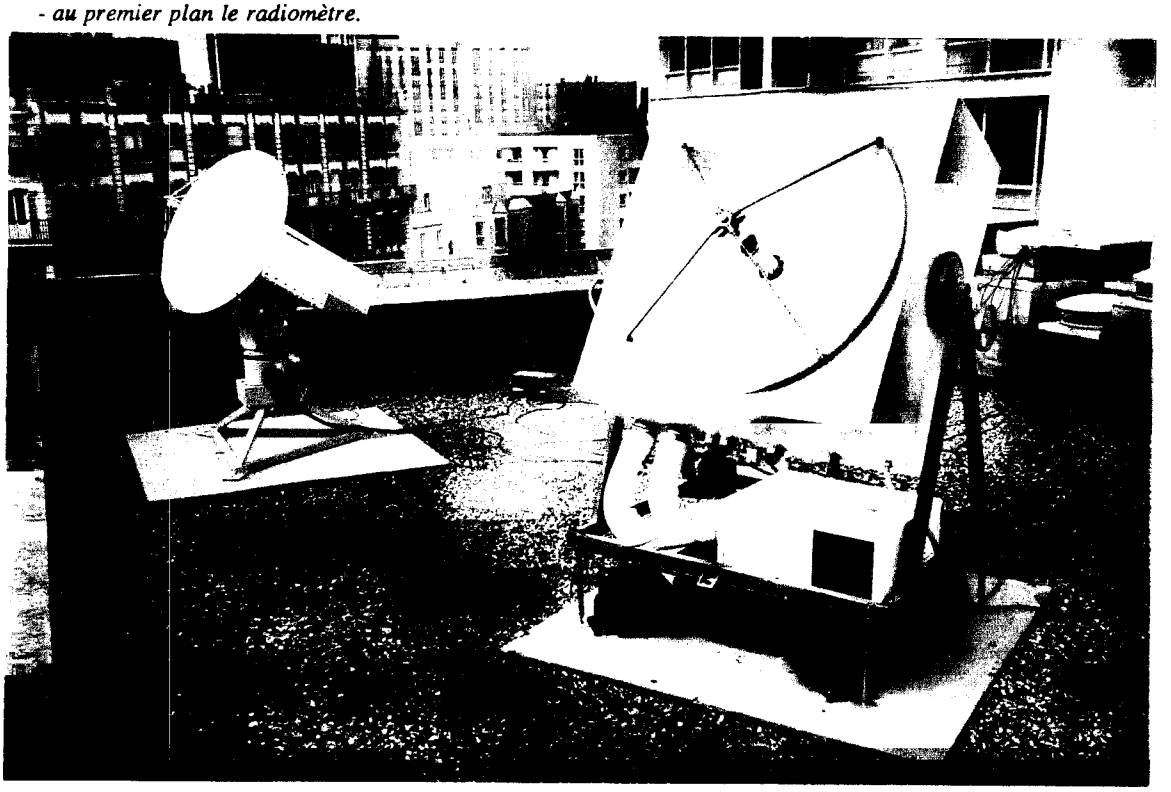

**Figure 5.1**

*La première figure représente l'histogramme double des niveaux de Commande Automatique de Gain (CAG) observés expérimentalement sur deux canaux distants de 70 MHz de l'expérience ACHILLE 1989.*
*Un ajustement entre cet histogramme et des histogrammes simulés permet d'identifier les paramètres intervenant dans les modèles de prévision.*
*La seconde figure représente l'histogramme simulé le plus "proche" pour des valeurs de CAG supérieures à 12 dB, seuil au-dessus duquel les modèles s'appliquent.*



*La photo représente les différents instruments mis en oeuvre dans le cadre de l'expérience OLYMPUS et qui sont installés provisoirements sur le toit du CNET*

- *au fond le radar météorologique en bande X*
- *à coté le récepteur de balises satellite 20/30 GHz,*
- *la station météorologique avec ses capteurs de température, pression, humidité, vitesse de direction du vent,*
- *deux pluviomètres,*
- *au premier plan le radiomètre.*



*La photo représente à gauche le radar météorologique en bande X et à droite le récepteur des balises 20/30 GHz*

**Figure 5.2**

Les travaux ont été essentiellement consacrés à la définition et la mise en œuvre des moyens expérimentaux nécessaires.

Le CRPE participe au groupe OPEX (*O*lympus *P*ropagation *EX*perimenters) dont le but est de coordonner les efforts de tous les expérimentateurs européens afin de parvenir à une certaine standardisation des procédures d'enregistrement et d'analyse des données recueillies afin de favoriser une coopération internationale. L'un des membres de l'équipe a été nommé responsable du groupe chargé de la dépolarisation.

La participation française (réduite au CNET) à ce programme est organisée autour de deux stations de réception, l'une située à Gometz gérée par le groupement STS du Centre PAB du CNET , l'autre transportable, gérée par le CRPE . L'utilisation simultanée de ces deux stations permettra d'étudier la diversité de trajet et d'obtenir des données représentatives de climats locaux différents .

Pour atteindre la précision de mesure souhaitée (0,1 dB), il est nécessaire de tenir compte des dérives de la puissance émise dues à diverses causes ( p.ex. variations thermiques diurnes du satellite). Un radiomètre micro-ondes trifréquence (deux autour de 20 GHz et une autour de 30 GHz) qui mesure l'atténuation due aux gaz atmosphériques et aux fines gouttelettes d'eau en suspension dans les nuages permettra d'effectuer ces corrections [F/89.08]. Les résultats, en particulier la mise au point d'un algorithme original de correction des données, ont fait l'objet d'une thèse soutenue avec succès en janvier 1991 [B/91.03] et de deux publications [A/acc17, C/acc18].

Par ailleurs l'analyse des problèmes soulevés par l'influence des hydrométéores révèle que la difficulté principale réside dans la caractérisation des précipitations. Un effort particulier a été fourni pour la mise en place d'un ensemble de mesures météorologiques qui comprend pour chaque station réception trois pluviomètres placés sur la projection au sol du trajet Terre-satellite, une station météorologique classique et un spectropluviomètre permettant de déterminer la distribution des tailles des gouttes d'eau . Enfin, un radar météorologique en bande X disponible au début de l'année 1991 complète ces dispositifs et permettra de mieux connaître la structure fine horizontale et verticale de la pluie.

*Liaisons millimétriques horizontales*

La liaison PROMPT à 35 GHz (Propagation en Ondes Millimétriques et Transpolarisation) établie entre la Tour Montparnasse et l'Observatoire de Saint-Maur n'a pas donné tous les résultats escomptés. Les données enregistrées sur une période de deux ans en 1989 et 1990 si elles ont pu mettre en évidence un certain nombre de phénomènes intéressants , scintillations par exemple, n'ont pas permis d'obtenir de nouvelles formules de prévision pour la dépolarisation. Un compte rendu final est en cours de rédaction.

La liaison DALEMBERT à 94 GHz (Diffusion Atmosphérique sur une Liaison Expérimentale Millimétrique et Brouillage En Radio Télécommunications) est une liaison à courte distance, 200 m environ, destinée à mettre en évidence les phénomènes de diffusion latérale grâce à un système télécommandable d'antennes placées en émission et en réception sur un plateau to
urnant qui peuvent être pointées vers un volume diffusant. Après de nombreuses difficultés elle devrait être opérationnelle en 1991.

*Etudes théoriques*

Parallèlement à ces développements expérimentaux, une programmathèque de calcul des sections efficaces des gouttes d'eau et de l'affaiblissement linéïque par la pluie utilisant différentes méthodes de calcul de diffusion (Rayleigh, T-matrix, Oguchi), valables pour une gamme de fréquences allant jusqu'à 100 GHz, a été implantée sur un micro-ordinateur du type MacII [F/91.04] .

*Diffusiomètre*

Le savoir-faire acquis grâce aux études sur la propagation à 35 GHz a permis de définir un concept original pour la détection du type d'hydrométéores à partir d'un radar bistatique qui a fait l'objet d'un contrat avec la Météorologie Nationale [F/89.08] (voir aussi au chapitre technique).

### 5.1.3 PROPAGATION POUR LES RADIOCOMMUNICATIONS PERSONNELLES CELLULAIRES ET MICROCELLULAIRES

Les difficultés posées par la propagation radioélectrique restent l'un des problèmes essentiels dans la mise en oeuvre des systèmes de communications avec les mobiles. Une bonne connaissance des perturbations apportées par les conditions de propagation est nécessaire au moins à la mise en place de ces systèmes [E/89.03].

La définition du sous système radio ( choix du mode d'accès multiple, des débits en ligne, du type d'entrelacement, des codes correcteurs, de l'égalisation) est largement déterminée d'après les caractéristiques de la propagation.

Toute méconnaissance du canal entraîne inévitablement des surcoûts et/ou une efficacité spectrale réduite : des marges de sécurité sont prises pour éviter toute surprise, marges qu'une propagation mieux caractérisée permettrait d'ajuster.

Parmi les connaissances concernant ces phénomènes on distingue d'une part les propriétés bande étroite du canal : la prévision en fonction du site d'émission de la zone de couverture et des interférences, le caractère des évanouissements rapides (distribution et durée des

évanouissements, taux de franchissement d'un seuil etc...), et par ailleurs les aspects bande large, relatifs aux réponses impulsionnelles ou aux fonctions de transfert du canal et à leurs dynamiques.

L'outil expérimental de mesure de réponses impulsionnelles à 900 MHz [F/89.02, C/90.23] a été utilisé de manière intensive pour recueillir des données en quantité suffisantes et dans des conditions suffisamment variées, propres à établir des statistiques valides. Plus de 600 000 réponses impulsionnelles ont été recueillies. De façon à pouvoir gérer efficacement ce type d'information, une base de donnée a été mise en place. Il a ainsi par exemple été assez facile de répondre rapidement à des questions telles que l'incidence de la distance émetteur-récepteur sur la sélectivité du canal.

Par ailleurs l'outil expérimental a été complété par un dispositif totalement nouveau qui permet de déplacer l'antenne de réception sur une surface de 2x3 m sur le toit du véhicule. Le traitement des données ainsi recueillies permet de retrouver, en plus de leur délai de propagation et de leur affaiblissement, la direction d'arrivée des trajets radioélectriques.

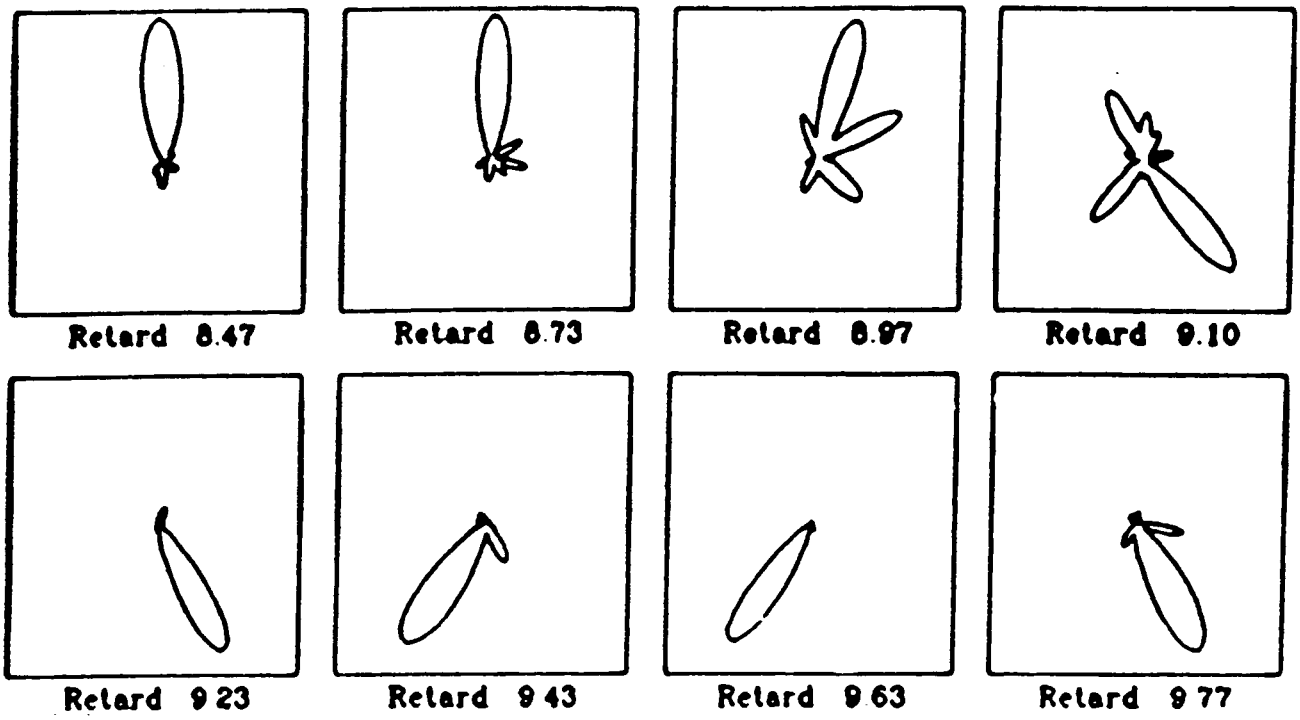



**Figure 5.3**

*La figure représente pour quelques retards absolus exprimés en microsecondes, l'énergie reçue à 900 MHz en milieu urbain sur fonction de l'angle d'arrivée en azimut. On peut observer le nombre relativement faible (2 à 3) de trajets pour un retard donné.*

Dans l'optique d'une approche physique et compréhensive de la propagation telle que nous l'envisageons par opposition à une approche plus classique purement descriptive et statistique, nous disposons là d'un puissant outil d'investigation du canal radioélectrique.

Un modèle à rayons de la propagation radioélectrique qui utilise les résultats de la Théorie Géométrique de la Diffraction (GTD) a été développé [C/90.35, C/acc28]. Ce modèle nécessite de disposer de données très riches relatives à l'environnement urbain mais en revanche les premiers résultats qu'il fournit sont remarquables : l'évolution du niveau du champ le long de trois parcours du mobile sur 800 m a ainsi pu être bien reproduite [C/89 17]. Dans le cadre de l'application au canal radiomobile "classique", un modèle de ce type n'est pas directement applicable car trop coûteux en temps de calcul. Il devrait cependant nous permettre d'extraire les paramètres urbains qui influent de manière déterminante. En revanche dans le contexte des nouveaux services mobiles où ,pour des raisons liées à la densité des usagers et à la puissance d'émission des terminaux mobiles, les cellules seront beaucoup plus petites, non seulement un modèle de ce type est immédiatement applicable, mais encore il est vraisemblable que seul ce type de modèle déterministe présente des chances raisonnables de succès.

Dans la perspective de ces nouveaux services mobiles, caractérisés par de nouveaux emplacements des stations de base et des récepteurs (dans les bâtiments, sur des murs d'immeubles, sur des poteaux etc...), par des distances base-mobiles plus courtes et par de nouvelles fréquences, une collaboration du CRPE avec le groupement SHM du CNET a démarré ayant pour objectif l'étude de la propagation dans ces nouveaux canaux dans la bande des 1 à 3 GHz. L'outil

expérimental développé se devait d'être capable de relever simultanément l'affaiblissement et la sélectivité du canal, et ce à un rythme suffisamment rapide pour en suivre l'évolution et assez souple pour s'adapter à la variété des nouveaux canaux. . Ces nouvelles expérimentations profiteront donc pleinement de l'expérience acquise dans ce domaine (voir chapitre technique).

## 5.2 TRAITEMENT DU SIGNAL

### 5.2.1 ALGORITHMES RAPIDES

Plusieurs des résultats obtenus les années précédentes sur les algorithmes rapides pour les Transformées en Cosinus Discrètes (TCD) sont en cours de valorisation : la société MHS a pris la licence d'un de ces brevets pour l'implantation de TCD à haut débit (circuit TCAD du CCETT) et des discussions sont en cours pour la valorisation du circuit DIF (décodage d'images fixes) pour lequel nous avons breveté la partie Transformée en Cosinus [H/89.01].

Les travaux effectués sur les Transformées de Fourier Rapides [A/89.27, A/90.08, A/90.09, A/90.10] se sont concrétisés par un ensemble de programmes de calcul de TFR pour différents types de signaux -réels, complexes- et dans différentes versions -optimisés en vitesse ou en taille mémoire- qui soient les plus portables possible. En effet, les gains en temps de calcul sont sensibles par rapport aux algorithmes classiques, et les TFR sont d'un usage tellement répandu que ces programmes devraient être très largement utilisés. Les programmes ont été écrits en FORTRAN et en C.

Le travail de fond s'est par ailleurs poursuivi avec les résultats suivants :

- Proposition d'une nouvelle transformée aux possibilités de compression quasi inchangées par rapport à la DCT, mais beaucoup plus facile à implanter (il s'agit essentiellement d'une TFR sur données réelles ayant subi une permutation). Des premiers résultats ont été publiés .
- Elaboration des outils de base nécessaires à l'implantation des nouveaux algorithmes de filtrage rapide obtenus en 'cassant' un filtre à réponse impulsionnelle finie en plusieurs sous-filtres obtenant ainsi une réduction de la complexité arithmétique globale et étude de leur architecture pour une implantation sur VLSI [B/89.06].Le travail sur les algorithmes de filtrage rapide s'est traduit par une publication acceptée dans IEEE Trans ASSP pour les filtres à coefficients réels [A/acc.25] et à l'EUSIPCO 90 pour les filtres à coefficients complexes

Plusieurs résultats ont été d'autre part obtenus pour l'application des techniques utilisées en convolution rapide à d'autres domaines :

- Les méthodes d'analyse spectrale basées sur les matrices de Tœplitz en particulier peuvent profiter de toutes les techniques mises au point pour les produits de polynômes [A/sou32]. Nous avons également proposé des variantes de la méthode de Burg pour la modélisation autorégressive qui ne présentent pas de biais pour l'estimation des sinusoides [A/90.36, A/sou31]. Un algorithme de Levinson 'par doublement' a été élaboré ainsi que des bornes de complexité pour la résolution des équations de Yule-Walker [B/89.13].
- Application des techniques de filtrage rapide aux algorithmes adaptatifs de type LMS. nous avons pu montrer qu'il était possible d'accélérer leur calcul sans en changer le comportement . Une application directe est l'annulation d'échos acoustiques. Ce travail a pu être effectué grace à une bourse de thèse accordée par le DEA de traitement du signal [B/91.01]. Un article a été accepté [A/acc04].

Ces résultats ont également été appliqués à l'algorithme dit à "Module constant" (CMA). Un article a été accepté [A/acc03]. Ce type d'algorithme est utilisable dans les systèmes de radiocommunications avec les mobiles employant des modulations à enveloppe constante et une thèse a commencé en octobre 1990 sur le thème de l'égalisation du canal radio mobile.

- les études sur les transformées en ondelettes, en collaboration avec l'ICPI (Lyon), ont fourni des résultats sur l'homogénéïsation des techniques "temps-fréquence" et "temps-échelle" . Un article a été publié à ICASSP'90 [C/90.16] et un autre accepté pour publication dans IEEE ASSP.

Des premiers résultats très encourageants ont par ailleurs été obtenus pour le calcul rapide des coefficients d'ondelettes [A/sou.26] et pour l'estimation de la "régularité" des filtres utilisés [A/acc.28]. Ces deux études sont des prérequis pour l'utilisation des transformées en ondelettes pour la compression d'images. Deux autres articles ont également été soumis, l'un de "review" [A/sou27], l'autre fournissant une présentation homogène de différentes techniques utilisées en codage d'images .

- Enfin, le plus efficace des algorithmes de TCD à 2-D connu à ce jour a été obtenu et simulé, sa structure a été étudiée et des simplifications , de structure essentiellement , semblent possibles [A/sou.05].

Ces études, bien que théoriques, sont menées avec le souci de rester dans un cadre directement utilisable :

- Les algorithmes de filtrage rapide, par exemple, permettent pour la première fois d'accélérer l'implantation des filtres non récursifs sur processeur de traitement de signal. Nous avons pu montrer que, quelque soit le type d'implantation choisi, il était possible d'accélérer d'une manière sensible le calcul des filtres par rapport aux solutions classiques.
- Les algorithmes adaptatifs en cours d'élaboration devraient avoir les mêmes propriété.

Enfin, la bonne insertion de ces travaux dans le milieu scientifique international est particulièrement forte et la charge de travail liée à la relecture des articles pour les revues internationales est loin d'être négligeable. P. Duhamel a par ailleurs été nommé Editeur Associé pour la revue IEEE Transactions on Signal Processing pour deux ans. Il participe également au comité technique "Digital Signal Processing" de la section ASSP.

### 5.2.2 ANALYSE SPECTRALE HAUTE RESOLUTION ET TRAITEMENT D'ANTENNES

Les trajets multiples sont la cause de difficultés dans de nombreux problèmes de transmission (faiseaux hertziens numériques à grand débit, communications avec les mobiles). L'objectif principal des études d'analyse spectrale que nous menons consiste à résoudre le problème d'estimation des signaux reçus en présence d'échos multiples à l'aide d'un réseau linéaire multicapteurs .

Il faut ainsi pouvoir identifier plusieurs sources corrélées caractérisées par leur direction angulaire d'arrivée (azimut) par rapport à la normale au réseau.

L' identification de l'azimut de la source s'avère être un problème d'analyse spectrale des signaux analogue à celui de la recherche de fréquences pures dans un signal échantillonné.

Les méthodes dites à "haute résolution" permettent d'atteindre une résolution plus fine que la méthode classique de Fourier avec un nombre réduit d'échantillons et la plus grande partie du travail théorique est consacrée à ces méthodes.

Les résultats obtenus sur les performances de ces méthodes haute résolution ont ainsi obtenus le prix du meilleur article publié en analyse spectrale dans la revue IEEE ASSP en 1989 [A/89.09] .

Nous avons généralisé à un réseau d'antennes planaire les méthodes d'analyse spectrale préalablement étudiées dans le cadre d'un réseau linéaire d'antennes. Ceci permet de retrouver le site et l'azimut des sources [C/89.22]. D'autre part, nous avons mis au point une nouvelle méthode d'analyse spectrale, plus performante que les précédentes [C/90.26]. Nous avons également justifié théoriquement l'existence ou non d'un biais dans le comportement asymptotique de trois méthodes connues [A/sou. 17]. Nous avons collaboré avec une équipe de Strathclyde University (Glasgow, Ecosse) pour mettre au point une méthode d'analyse spectrale ne nécessitant pas la décomposition en éléments propres de la matrice de covariance [C/91.14]. Enfin, nous avons établi un lien théorique entre l'analyse de Fourier et les méthodes d'analyse spectrale à haute résolution en utilisant les propriétés d'un certain type de polynomes, commun à toutes ces méthodes [C/91.13]. Par ailleurs, un résultat théorique antérieur a fait l'objet de publication [A/sou.18]

## 5.3 VALORISATIONS ET COLLABORATIONS

Les études menées tant en propagation qu'en traitement du signal donnent lieu à de nombreuses collaborations avec d'autres équipes scientifiques et à des valorisations sur les plans technique et scientifique.

Les collaborations à l'intérieur du CNET sont établies avec les groupements Systèmes Hertziens et Mobiles et Systèmes de Transmission par Satellite sur les études de propagation hertzienne oblique et horizontale, sur les études de propagation en milieu urbain et sur la réalisation de filtres numériques, avec le Centre Norbert Segard de Grenoble pour l'implantation des algorithmes sur des circuits intégrés, avec le Centre Commun d'Etudes de Télédiffusion et Télécommunications sur les problèmes de transformation pour la compression d'images.

Des échanges ont lieu avec un laboratoire chinois, le Chinese Research Institute on Radio Wave Propagation, échanges qui se sont concrétisés par l'accueil d'un thésard chinois au CRPE qui a soutenu sa thèse en septembre 1990 ainsi que par la publication en commun d'un ouvrage traitant de la propagation [C 90.42]. Une collaboration est également en cours avec l'Université de Western Ontario sur les trajets multiples et avec l'Université de Leeds sur la propagation avec les mobiles dans le cadre du programme Alliance.

Des membres du groupe Propagation participent aux travaux de la Commission 5 du Comité Consultatif des Radiocommunications (CCIR) qui étudie la propagation des ondes dans les milieux non ionisés, et plus particulièrement les méthodes de prévision pour les services de télécommunications, aux réunions de l'Action COST 231 sur l'Evolution des futurs systèmes terrestres de radiocommunications où l'un d'eux représente la délégation française et aux réunions du groupe TM4 de l'ETSI sur la propagation hertzienne.

La valorisation des études internes donne également lieu à des contrats avec des organismes extérieurs tels que le contrat avec la Météorologie Nationale sur l'étude d'un dispositif de détection des hydrométéores ou le contrat sur l'étude de la propagation entre véhicules dans le cadre du programme européen Prométhéus.

Les études en traitement du signal sont effectuées en collaboration avec les équipes suivantes :

-Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (H. Nussbaumer, titulaire de la chaire d'informatique technique),
-Columbia University, New-York (M. Vetterli, professeur)

-City University of New-York (L. Auslander, directeur du "Center for Large Scale Computations")
-le département d'électronique de l'ENST (F. Jutand, professeur, N. Demassieux, M. Durandeau)
-le département Systèmes et Communications de l'ENST (J. Prado)
-la société TRT (S. Hethuin, M. Bellanger)
-Rice University (Houston, Texas, USA) avec C. S. Burrus et son équipe: H. Sorensen, M. T. Heideman.
-Carleton University (Ottawa, Canada) avec L.R. Morris et M. Vetterli
- Strathclyde University (Glasgow, Ecosse)

L'équipe a également assuré une participation active au GdR 134 Traitement du Signal et de l'Image dans les groupes Algorithme et Architecture, Logiciel et Bases de Données, Traitements d'Antenne, et Adaptatif/Evolutif, où P.Duhamel anime l'action sur l'identification de réponses impulsionnelles longues.

## B. PERSPECTIVES

## 5.4 PROPAGATION

### 5.4.1 TRAJETS MULTIPLES

Une veille scientifique va être maintenue sur ce sujet notamment par l'intermédiaire de collaborations avec d'autre équipes comme par exemple la thèse encadrée en commun avec l'Université de Western Ontario au Canada sur l'étude des angles d'arrivée des trajets multiples.

### 5.4.2 EFFETS DES HYDRO-METEORES

Les moyens d'investigation expérimentaux pour la caractérisation sont en place à la fois pour OLYMPUS et DALEMBERT 94 GHz. Les efforts devraient donc maintenant être consacrés à l'acquisition à l'analyse des données ainsi qu'à la confrontation des résultats avec les modèles théoriques qui ne sont pas entièrement validés pour les gammes d'ondes millimétriques. En particulier, les effets de diffusion multiple sur la dépolarisation et la diffusion latérale devraient pouvoir être évalués avec DALEMBERT ; les effets d'hétérogénéités spatiales des hydrométéores sur les trajets obliques devraient pouvoir être mieux caractérisés avec les mesures simultanées radioélectriques et météorologiques.

Cependant, une sérieuse incertitude pèse actuellement sur la suite du programme Olympus en raison des difficultés rencontrées sur le satellite. Elle conduira vraisemblablement à la redéfinition du programme vers la réception de balises provenant d'autres satellites (Kopernikus, Italsat).

### 5.4.3 PROPAGATION POUR LES RADIOCOMMUNICATIONS PERSONNELLES

La priorité sera donnée à l'étude des nouveaux canaux radiomobiles : dans les bâtiments, de l'intérieur vers l'extérieur des bâtiments et dans les microcellules. L'outil expérimental en développement en collaboration avec le CNET/PAB/SHM est désormais opérationnel et les premières statistiques relatives à ces canaux vont rapidement suivre.

L'effort de modélisation va se poursuivre avec deux axes essentiels :

- dans la direction de la compréhension des aspects fondamentaux des mécanismes de propagation : d'une part dans un contexte microcellulaire, comme nous l'avons déjà indiqué, une approche purement statistique a peu de chance d'aboutir et d'autre part seule l'approche "compréhensive" est d'une généralité suffisante pour s'appliquer à la grande variété des canaux concernés,
- vers l'élaboration d'un modèle descriptif à insérer dans une chaîne de simulation numérique d'aide à la définition des sous-systèmes radio ou à implanter dans un éventuel simulateur de canal.

Dans le cadre du programme Européen PROMETHEUS, l'étude engagée pour étudier le canal de propagation dans la bande des 1 à 3 GHz entre deux véhicules à courte distance sera poursuivie.

Enfin une question ouverte importante est celle du futur de systèmes de communications mobiles par satellite utilisant des orbites non-géostationnaires (orbites elliptiques inclinées ou orbites basses). Une des clés à la réponse tient au taux de disponibilité d'une liaison avec un satellite, en fonction de l'angle de site et de l'environnement du mobile. Une expérience analysant dans ce cadre la propagation d'une liaison avec un satellite et dont la définition exacte est à l'étude, aura pour objectif de pouvoir prédire ce taux de disponibilité.

## 5.5 TRAITEMENT DU SIGNAL

### 5.5.1 ALGORITHMES RAPIDES

Le travail sur les filtres adaptatifs continuera, en appliquant nos techniques à des algorithmes à convergence plus rapide que le LMS. Des premiers résultats ont été obtenus pour un algorithme de la famille du

LMS qui possède un ensemble de propriétés très intéressantes :

- charge de calcul réduite,
- convergence et poursuite de non stationnarités plus rapides,
- traitement par petits blocs de données.

et l'application de ces algorithmes à l'annulation d'échos acoustiques en association avec une autre équipe du CNET/LAA continuera.

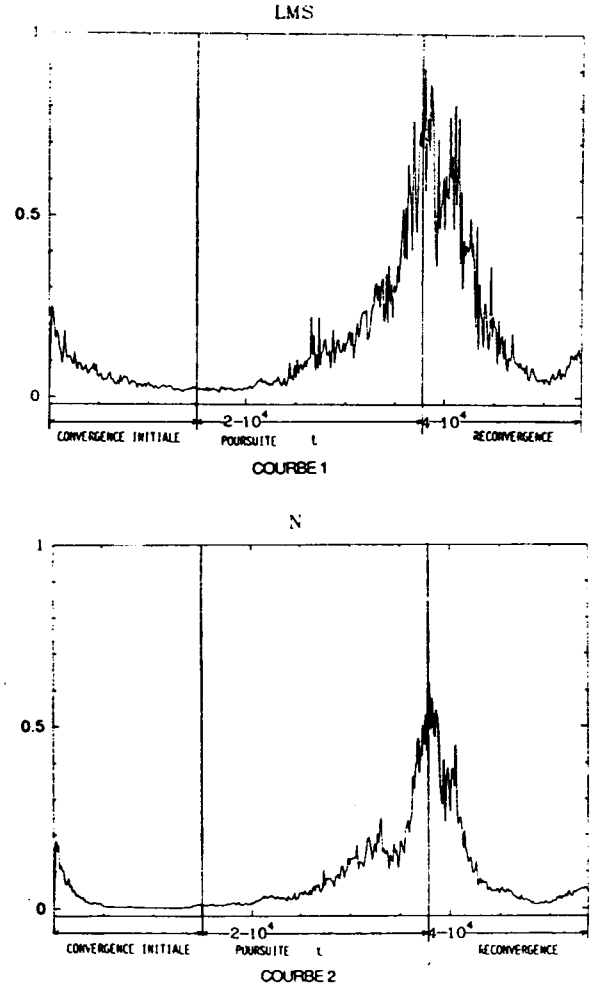



**Figure 5.4**

*Courbes de convergence de deux algorithmes dans le contexte de l'identification d'une réponse acoustique de salle. Le système est tout d'abord stable (zone marquée "convergence"), puis évolue dans le temps (zone marquée "poursuite"), pour se restabiliser. L'évolution du système est obtenue par le mouvement d'un réflecteur (données fournies par LAA/TSS).*
*La première courbe montre l'évolution de l'erreur de modélisation pour un algorithme type LMS. La deuxième est celle obtenue par un algorithme proposé par PAB/RPE qui, on l'observe sur la courbe, converge plus vite et poursuit mieux les évolutions du système, tout en nécessitant une charge de calcul faible.*

En outre, nous commencerons une application des algorithmes adaptatifs aux systèmes de radiocommunications avec les mobiles d'une part pour l'égalisation du canal par des algorithmes dérivés du CMA (en coopération avec PAB/SHM), mais aussi pour l'annulation d'écho pour le poste "mains libres" dans le mobile (algorithmes de type gradient à vitesse de convergence accélérée). La prise en compte dans notre travail de contraintes liées à la facilité d'implantation dès l'élaboration des algorithmes devrait ici être cruciale.

Nous avons d'autre part une demande officielle de coopération de la part du CCETT pour l'architecture d'une partie des circuits nécessaires pour le projet DAB (Digital Audio Broadcast). Ceci constitue en fait la poursuite de la coopération déjà effective pour le codage d'images.

La transformation utilisée pour la compression du son haute qualité à 64 kbit/s (fréquence d'échantillonnage ≥ 32 kHz) étudiée au CNET/LAA devrait faire appel à des algorithmes rapides développés à partir de nos résultats précédents. Cette première étude devrait pouvoir déboucher prochainement sur la proposition de systèmes à base de bancs de filtres modulés à reconstruction parfaite. Ce résultat aurait alors une utilisation beaucoup plus large.

Le travail sur les ondelettes jusqu'ici de nature générale, ce qui était imposé par le peu de maturité du sujet (relativement peu de résultats disponibles), convergera vers l'utilisation en codage d'images, qui va commencer dès l'arrivée d'une station de travail adaptée.

Enfin, nous avons commencé l'étude de l'implantation de programmes de FFT sur calculateur vectoriel. C'est un projet que nous avions depuis longtemps mais des entretiens avec J. Cooley d'IBM Yorktown Heigths nous incitent à essayer d'implanter le "split-radix" sur les calculateurs vectoriels.

### 5.5.2 ANALYSE SPECTRALE HAUTE RESOLUTION ET TRAITEMENT D'ANTENNES

L'étude théorique du lien entre l'analyse de Fourier et l'analyse spectrale à haute résolution déjà engagée [C/91.13] , sera approfondie.

Un algorithme particulier de décomposition QR de la matrice de covariance qui peut remplacer la décomposition en éléments simples de cette matrice et nécessite un moindre coût de calcul est en cours de rédaction. Nous allons examiner si l'utilisation de cette décomposition entraîne une dégradation des performances des méthodes d'analyse spectrale à haute résolution.

Nous allons également étudier la possibilité d'utiliser l'algorithme CMA pour éliminer les trajets multiples dans une communication radio-mobile.

# 6 - DEVELOPPEMENTS INSTRUMENTAUX

L'ensemble des activités du département technique du CRPE se divise en deux grands volets :

- d'une part l'installation, le contrôle, la mise en oeuvre (parfois sur de longues durées) et la maintenance des matériels nécessaires aux expériences définies par les départements scientifiques (on donne dans le tableau 1 les principales expériences sur la période 1989-1990),

- d'autre part, la définition, la réalisation (ou le suivi en sous-traitance) et la recette d'instruments spécialisés.

Dans ce chapitre, nous décrivons les principales réalisations effectuées au cours de ces deux dernières années.

**EXPERIENCES**

| | | | |
|---|---|---|---|
| RADARMETEOROLOGIE | | | |
| sept 90 - dec 90 | PYREX | radars ST<br>Sodar A | Lannemezan |
| 89-90 | STNA | PROUST<br>RONSARD | Coulommier |
| RADARS EN TELEDETECTION | | | |
| sept 89 - dec 89 | ORGEVAL | ERASME C/X | Coulommier |
| fev - mars 90 | RENE | RESSAC | Norvège |
| PROPAGATION | | | |
| 89-90 | Mobiles à 900 MHz | | dans Paris |
| SATELLITES | | | |
| Sonde GALILEO | tir en octobre 89 | | |
| Sonde ULYSSE | tir le 6 octobre 90 | | |

Tableau 1 : *Expériences au cours de la période 1989 - 1990*

## 6.1 RADARS ET SODARS

Depuis de nombreuses années, le CRPE utilise les techniques radars dans des applications très diverses, principalement dans le domaine hyperfréquence avec les radars météorologiques RONSARD depuis 1973, stratotrospophériques UHF depuis 1983 et de télédétection ERASME (depuis 1982) et RESSAC depuis 1989, mais également dans le domaine des ondes acoustiques avec les sodars depuis 1974.

Les principales activités techniques effectués ces deux dernières années dans ce domaine concernent :

- les améliorations des radars ST UHF et de l'un des radars RONSARD,
- la réalisation du radar vague RESSAC et du radar polarimètre RENE,
- la réalisation du système OCARINA (sodar sur bateau),
- le radar embarqué sur avion ASTRAIA/ELDORA.

### 6.1.1 RADARS STRATOS-TROPOSPHERIQUES (PROUST ET INSU/METEO).

Le CRPE a eu la responsabilité de la conception et du développement de l'ensemble émission réception de 2 systèmes de radar ST UHF :

- le radar PROUST : système à haute définition spectrale,
- la partie UHF du réseau de radar ST commun à l'INSU et à la Météorologie Nationale.

Durant ces deux années, les travaux effectués ont essentiellement consisté à améliorer les performances et la fiabilité de ces 2 radars. On peut citer, entre autres, sur PROUST :

- la réalisation du système complet haute définition de ce radar à modulation par code de phase, à savoir l'acquisition et le décodage en temps réel de 32 portes de 30 m (avec l'aide de la division technique de l'INSU),
- la mise en chantier d'un amplificateur de puissance de 40 kW (au lieu de 4 kW actuellement) qui permettra d'augmenter fortement la sensibilité du radar,
- l'étude et la réalisation d'un système de porte de distance à filtrage analogique destiné à mesurer les turbulences dans le sillage des avions.

### 6.1.2 LE RADAR METEOROLOGIQUE RONSARD

Dans le cadre d'un contrat STNA, une comparaison du radar PROUST (UHF) et du radar RONSARD (bande C) a nécessité de modifier fortement le système de traitement du radar RONSARD pour améliorer sa sensibilité en air clair. Cette modification a consisté à ajouter un système d'intégration incohérente des spectres de mesure dans chaque porte avant d'effectuer le calcul des moments caractéristiques (puissance, vitesse Doppler, variance de vitesses) qui a été entièrement renouvelé en utilisant à la place du système cablé d'origine un ensemble basé sur un microprocesseur spécialisé en traitement du signal (TMS320C25).Les résultats obtenus étant encourageant, le nouveau système va permettre d'envisager de nouveaux types d'expériences.

### 6.1.3 LES RADARS D'OBSERVATION DE LA TERRE, RESSAC ET RENE

Ces deux radars sont des dérivés du radar ERASME existant depuis de nombreuses années, d'abord dans une version bande C puis double fréquence (C et X) et double polarisation.

Le radar à vague RESSAC est un système embarqué sur aéronef destiné à mesurer le spectre directionnel des vagues de l'océan (dans le domaine de longueur d'ondes de 30 m à 400 m). Ce système réalisé au laboratoire est un radar FMCW en bande C dont les principales caractéristiques sont données dans le tableau 2. Par rapport au système ERASME, un soin particulier a été apporté à la source balayée en fréquence, à l'analyse spectrale (système FFT spécifique en cours de développement pour remplacer un appareil de laboratoire vétuste et encombrant) et au système d'antennes tournantes (diminution des couplages entre les antennes émission et réception sur toute la rotation). Ce radar a été monté sur deux types d'avion (DORNIER 228 du DLR et Merlin IV de la Météo - voir Figure 6.1) et a fonctionné au cours de la campagne RENE en février - mars 1990 et SWADE (février 1991).

**RADAR RESSAC**

| | |
|---|---|
| Type | FM/CW |
| Fréquence centrale | 5350 MHz |
| Puissance émise | 32 mW ou 3400mW |
| **MODULATION** | |
| Balayage en fréquence (B) | 137MHz |
| Durée du balayage | 6,5 ms |
| utile (T) | 6,71ms |
| Pente du balayage (B/T) | $2,4 \times 10^{10}$ Hz / s |
| Relation fréquence distance (Fb=2 B r /c T =k r) | 160 Hz/m |
| **ANTENNES** | |
| Emission polar H | θ =35 ° |
| directivité | 14,6 dB |
| Réception polar H | θ =13 ° x 3,4° |
| directivité | 26,2 dB |
| Angle d'incidence moyen | 14 ° |
| **ACQUISITION DU SIGNAL** | |
| Fréquence de numérisation | 256 kHz |
| Nombre de points par voies | 1024 |
| Durée d'une mesure | 4 ms |
| Analyseur FFT | 400 points pris sur 512 |
| Résolution en fréquence (dF) | 250Hz |
| Résolution en distance (dr = dF/k) | 1,56 m |

**Tableau 2** : *Caractéristiques du radar RESSAC*

Le radar polarimètre RENE est un système embarqué sur aéronef (voir Figure 6.2) destiné à déterminer la matrice de rétrodiffusion de la surface terrestre. Ce

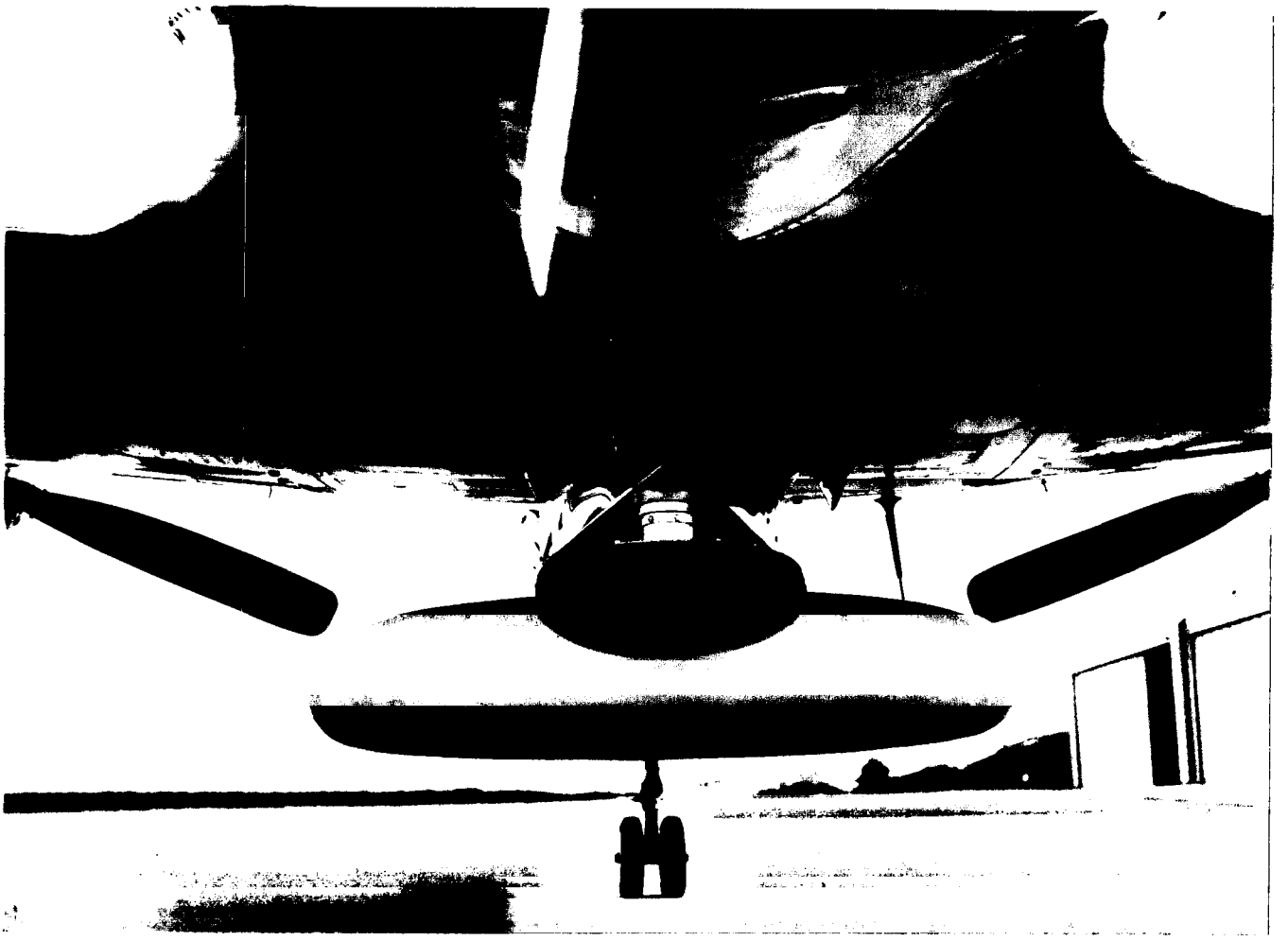
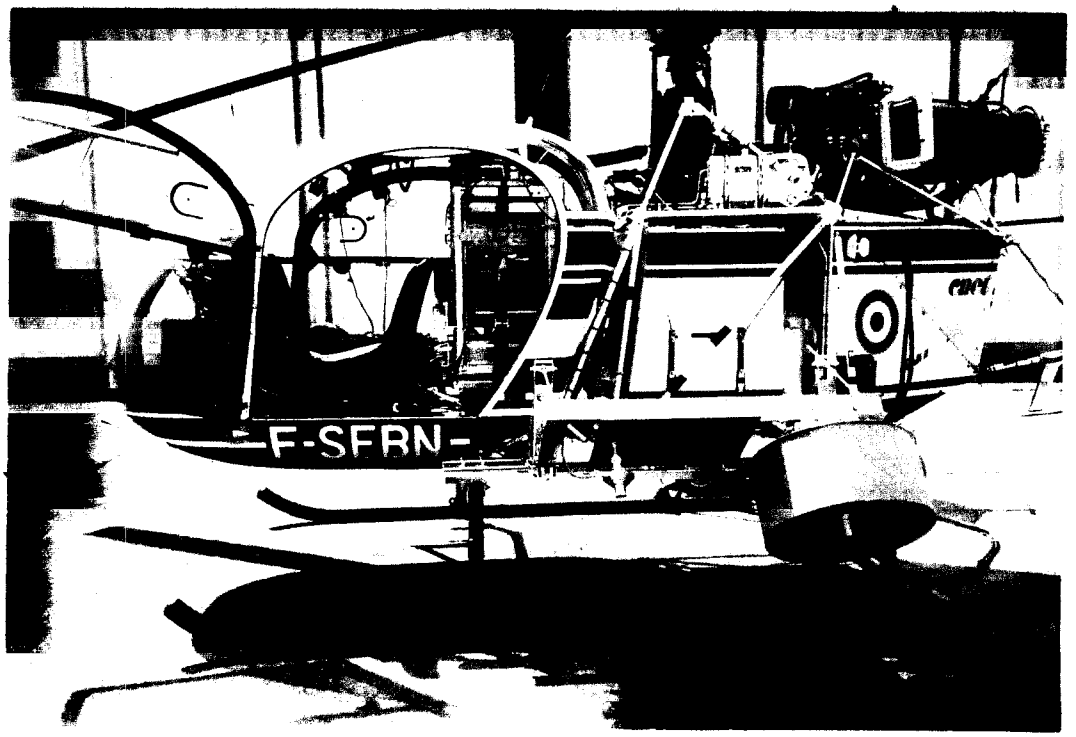


**Figure 6.1** : *Système d'antennes du radar RESSAC*



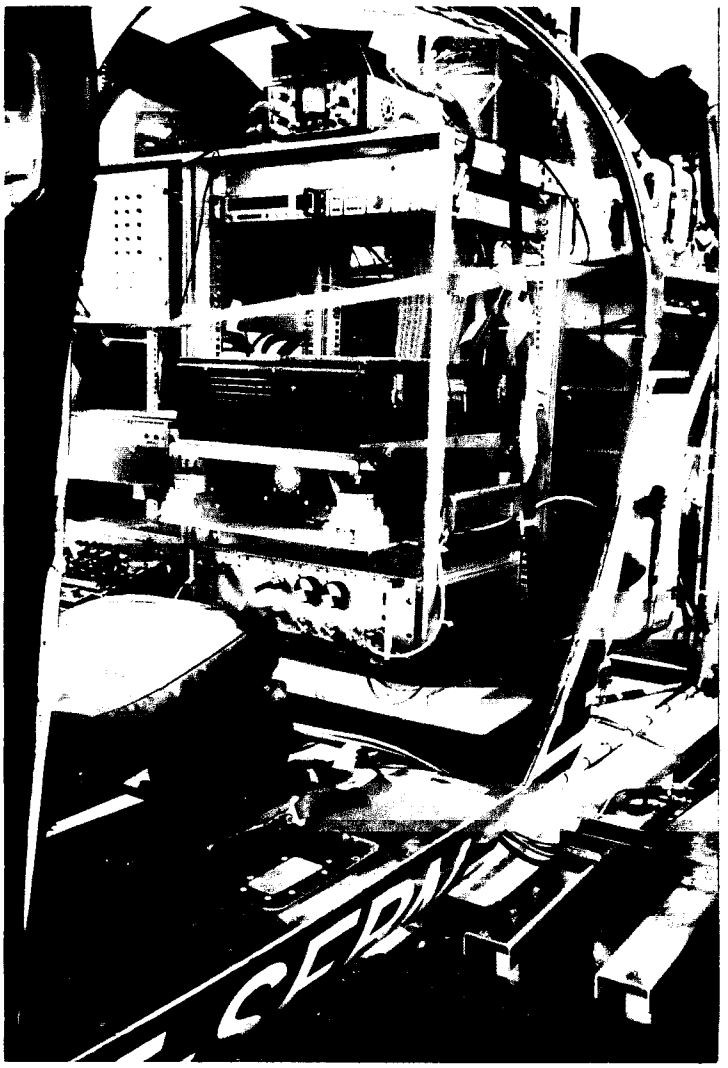



**Figure 6.2** : *Implantation du radar RENE sur un Alouette II*

système a été réalisé en collaboration avec le département antenne du CNET et la société Thomson, le CRPE se chargeant de la partie radar et du traitement en temps différé, le département Antenne de la première version d'antenne, et Thomson de la partie acquisiton rapide. Le schéma synoptique est donné sur la figure 6.3 et les principales caractéristiques dans le tableau 3.

**RADAR POLARIMETRE (VERSION 1)**

| | |
|---|---|
| Type | FM/CW |
| Fréquence centrale | 9650 MHz |
| Puissance émise | 10 mW (accès antenne) |
| **MODULATION** | |
| Balayage en fréquence (B) | 200MHz |
| Durée du balayage | 3 ms |
| utile (T) | 2,7ms |
| Pente du balayage (B/T) | 7,4 x $10^{10}$ Hz / s |
| Relation fréquence distance (Fb=2 B r /c T =k r) | 493,8 Hz/m |
| **ANTENNES (type CNET La Turbie)** | |
| Emission polar H ou V | θ -60° |
| gain | 10,3 ±0,1 dB |
| découplage entre accès | >40 dB |
| niveau de polar croisée | < -40 dB sur ± 60° |
| Réception polar H ou V | θ -3,6 ° |
| gain aux accès | 32,8 ±0,2 dB |
| découplage aux accès | > 40 dB |
| niveau de polar croisée | < -36 dB |
| **SUPPORT** | |
| Hélicoptère | |
| Altitude de vol | -350 m |
| Angle d'incidence | 10° à 80° |
| **ACQUISITION DU SIGNAL** | |
| Fréquence de numérisation | 2 MHz |
| Nombre de points par voies | 4096 |
| CAN | 12 bits |
| Durée d'une mesure | 2,048 ms |
| Résolution en fréquence (dF) | 488 Hz |
| Résolution en distance (dr = dF/k) | 0,988 m |

**Tableau 3** : *Caractéristiques du radar RENE*

Par rapport au radar ERASME, un effort particulier a été apporté :

- sur la source hyperfréquence, utilisant une source balayée à 1350 MHz mélangée à une source stable à 8300 MHz, pour avoir une meilleure stabilité en phase que dans les systèmes réalisés précédemment,
- sur le système d'amplificateur à 2 voies (H et V) qui doivent être rendues identiques en caractéristiques amplitude phase en fonction de la fréquence,
- sur les caractéristiques d'antenne au niveau de lobes secondaires et du découplage de polarisation.

Il est envisagé à moyen terme d'utiliser un système d'antenne à double polarisation en circuit imprimé et d' améliorer la qualité des sources pour pouvoir effectuer un traitement de type "synthèse d'ouverture", à partir de la mesure doppler.

### 6.1.4 LE SYSTEME OCARINA

Sur le principe des systèmes de radars acoustiques déjà existant (Sodar à 2000 Hz et minisodar à 6000 Hz) utilisé depuis de nombreuses années pour l'étude de la couche limite atmosphérique terrestre, un nouveau système a été réalisé pour l'étude la couche limite marine comprenant un sodar vertical à 2000 Hz et le minisodar.

La nouvelle réalisation comprend :

- un système de récepteur et d'acquisition spécifique avec un analyseur de signal adapté à ce double ensemble,
- un système de stabilisation gyroscopique de l'antenne du SODAR A (Parabole de 1,50 m de diamètre) pour amortir les mouvements du bateau,
- l'étude et la réalisation à venir d'une plateforme stabilisée asservie sur une centrale de verticale pour le minisodar (250 kg à stabiliser à 0,3° près quelsque soient les mouvements du bateau).

Ce système doit être opérationnel pour la campagne SOFIA prévue en juin 92 au large des Açores.

### 6.1.5 LE RADAR EMBARQUE ASTRAIA/ ELDORA

Dans le cadre d'une convention franco-américaine (CNET, INSU, NCAR) signée le 29 janvier 90, la France a la responsabilité de 3 éléments de la chaîne du radar météorologique ASTRAIA/ELDORA embarqué sur avion :

- le système d'antennes et du radome tournant qui sera implanté dans la queue de l'avion et qui est sous-traité à la société LCTAR (voir figure 6.4).
- la partie FI et vidéo du récepteur dont le prototype a été étudié et réalisé au laboratoire,
- un système de traitement au sol avec une partie du logiciel d'analyse des données.

On donne dans le tableau 4 les caractéristiques de l'antenne extrêmement performante en cours de réalisation.

Le système FI du radar est centré sur une fréquence de 60 MHZ. Il doit permettre une dynamique utile de 90 dB, être adapté aux portes de distance utilisées (30, 75, 150, 300 m) et fournir une très bonne réjection de fréquence image. Ces performances extrêmement difficiles à atteindre ont été obtenues sur le prototype réalisé au CRPE et ont permis de lancer la fabrication des 12 récepteurs FI nécessaires dans le radar.

## 6.2 LIAISONS HERTZIENNES ET INSTRUMENTS ASSOCIES

Au cours de ces deux dernières années, l'activité du département dans ce domaine a concerné essentiellement :

- la fin de la mise en oeuvre de la liaison horizontale à 94 GHz, permettant l'étude des effets de la pluie sur la propagation en ondes millimétriques,
- la réalisation d'un nouveau sondeur de canal de liaison avec les mobiles à 2 GHz,

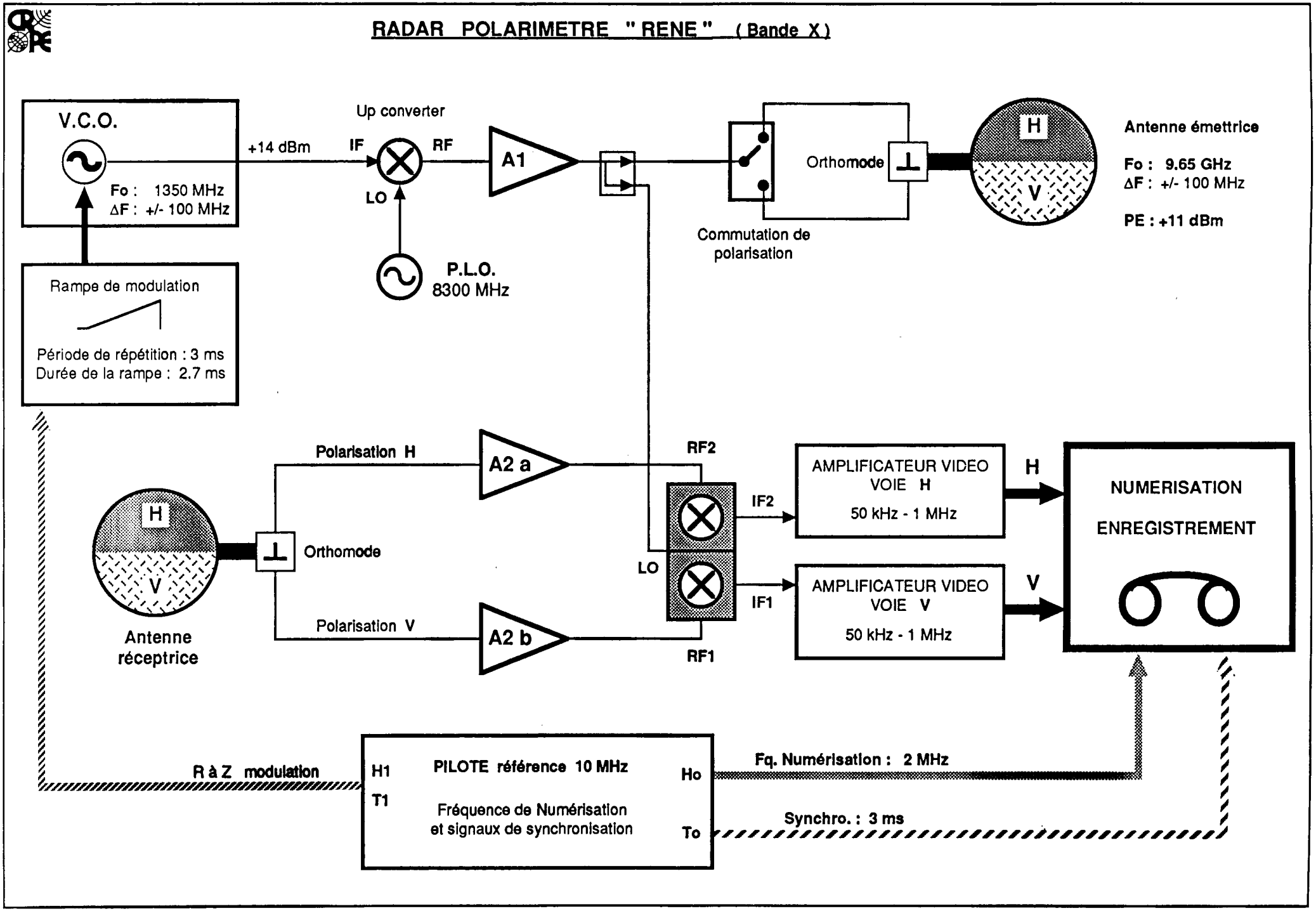



**Figure 6.3** : *Schéma synoptique du Radar Polarimètre RENE*

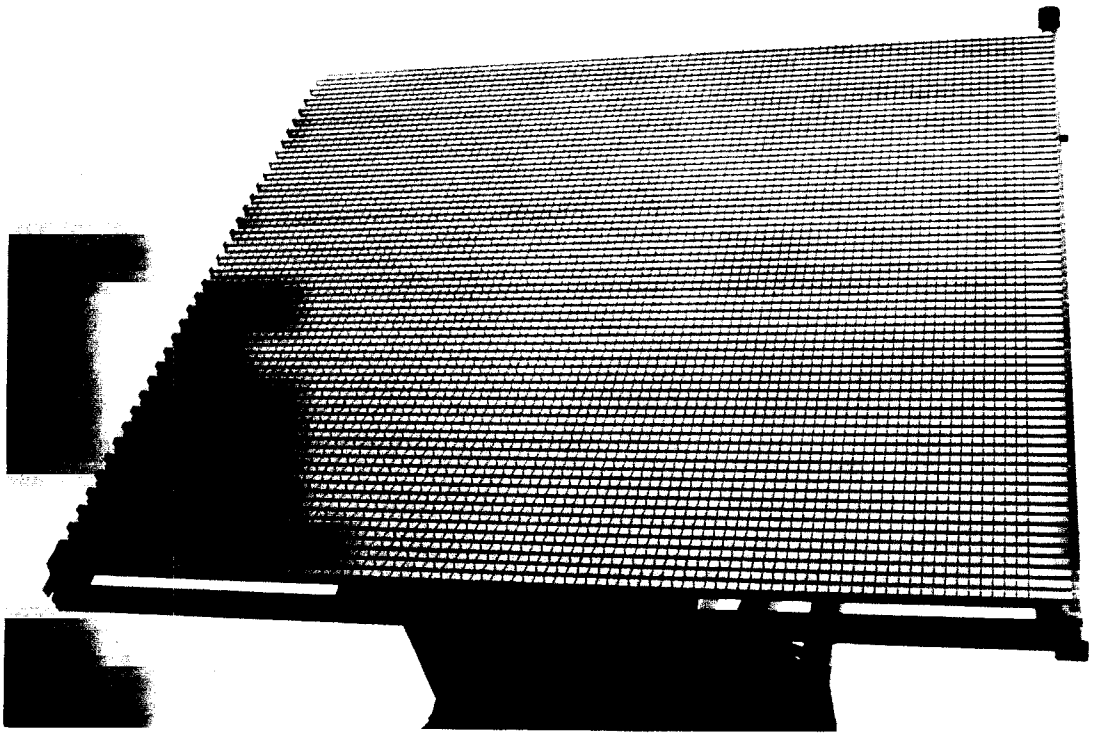


**Figure 6.4** : *Maquette de l'antenne du Radar ASTRAIA / ELDORA*

## AERIEN DU RADAR ASTERIX

## CARACTERISTIQUES ANTENNE AVEC RADOME

| | |
|---|---|
| Gamme de fréquences | 9,3 à 9,8 GHz |
| Bande passante instantanée | 40 MHz |
| Polarisation | Horizontale |
| Puissance à l'émission (maximale) | 100 kW crête ( 600 W moyen ) |
| Axe du faisceau: | |
| Plan horizontal (entre 9,3 et 9,8 GHz) | 20° à15° |
| Plan vertical (entre 9,3 et 9,8 GHz) | -1,8° à +1,8° |
| Largeur du lobe à mi-puissance en gisement et en site pour une bande de 40 MHz | < 2° |
| Niveau de lobes secondaires gisement | -30 dB ( premier lobe)<br>< -40 dB pour les autres |
| Niveau de lobes secondaires site | -30 dB ( premier lobe)<br>< - 36dB pour les autres |
| Gain | > 37 dB |
| Taux d'ondes stationnaires | < 1,4 |
| Niveau relatif du lobe diffus (*) | < -50 dB |
| Dimensions de l'antenne | 1,50 x 1,4 m |
| Dimensions du radome (partie fenêtre electromagnétique) | 1,75 x 1,5 m |

(*) Le lobe diffus est calculé sur ± 90° en gisement et en site excepté la zone angulaire ± 6° en gisement et site autour du maximum

Tableau 4 : *Caractéristiques de l'antenne du Radar ASTRAIA / ELDORA*

- sur contrat Météo, le développement d'un diffusiomètre,
- la fin des réalisations de certains éléments et les recettes des matériels développés à l'extérieur, destinés à la mesure du canal de liaison terre satellite Olympus.

### 6.2.1 SONDEUR DE CANAL DE LIAISON AVEC LES MOBILES A 2GHZ

Le sondeur de canal dont le développement s'achève est dérivé de celui précédemment réalisé à 900 MHz qui comprenait à l'émission un système fixe délivrant une porteuse à 890 MHz modulée en phase par un code pseudoaléatoire et à la réception un système de démodulation et traitement du signal permettant de reconstituer la réponse impulsionnelle du canal installé dans un véhicule mobile. Le nouveau sondeur présente des caractéristiques améliorées sur de nombreux points :

- la fréquence de fonctionnement passe autour de 2 GHz, c'est à dire dans la bande qui par suite de la redistribution qui doit intervenir à la CAMR 92, sera celle de "l'explosion" des services de communication avec les mobiles,
- la largeur de la bande analysée, et donc la résolution sont nettement améliorés et passent respectivement à 100 MHz et 20ns,
- la compacité et le poids : l'ensemble du récepteur tient dans une baie de 1m de hauteur
- la consommation électrique est très largement réduite,
- la convivialité de l'interface utilisateur.

Tout cela simplifiera l'exploitation de l'expérience dont la nouvelle souplesse devrait autoriser son usage dans les configurations très variées des nouvelles communications mirocellulaires.

### 6.2.2 DIFFUSIOMETRE

Lorsque l'on monte en fréquence au delà de 10 GHz, la propagation des ondes radioélectriques est perturbée par les hydrométéores. Le fait de mener des études sur ces particules pour déduire leur effet sur la propagation conduit naturellement à exploiter les résultats dans le sens inverse, c'est-à-dire à se servir de ces effets pour déterminer la nature des hydrométéores rencontrés sur le trajet, voire leur densité.

Suite à deux contrats passés avec l'Etablissement d'Etudes et de Recherches Météorologiques, le CRPE a été chargé d'une étude systématique dans le domaine millimétrique (1), puis a proposé un instrument qui permettrait à terme le remplacement des observations humaines permanentes dans les stations météorologiques du réseau français. Le diffusiomètre doit son nom au principe utilisé: celui de la diffusion des ondes par les hydrométéores. C'est en fait un radar Doppler bistatique sur une base de l'ordre de 2 m (voir Figure 6.5).

Un signal non modulé, émis à 35 GHz depuis l'antenne E, est diffusé par les particules du volume V vers l'antenne R. Le récepteur effectue le mélange du signal émis et du signal reçu et extrait l'information vitesse avec un simple filtre passe-bas. Un micro-ordinateur analyse le spectre des vitesses et détermine s'il s'agit de neige, brume, pluie, vent ou grêle.

Ce dispositif a fait l'objet d'une demande de brevet (2). Une particularité du diffusiomètre tient au fait que ce sont des besoins extérieurs au laboratoire qui ont conduit à l'étude et à sa mise au point. Celle-ci s'effectue actuellement sur le site du CNET et les essais sur des sites météorologiques (TRAPPES, stations de montagne) se dérouleront au cours du second semestre 91.

### 6.2.3 LES INSTRUMENTS DE MESURE IMPLIQUES DANS L'EXPERIENCE OLYMPUS

L'expérience OLYMPUS a pour objectif l'étude de l'influence de l'atmosphère sur la propagation oblique des ondes électromagnétiques (satellite-terre) à 12.5, 20 et 30 GHz. Une étude en diversité de lieu est aussi prévue. Cette dernière explique l'utilisation dans une première phase (1989-1991) de deux stations de réception et l'utilisation dans une seconde phase d'une station transportable qui sera déplacée d'un site à un autre pour une étude de diversité à une large échelle. Durant la première phase, les stations principales et transportables seront basées respectivement à et autour de Gometz-la-Ville. Le CRPE a pris la responsabilité de la station de réception transportable.

Deux types de mesures sont effectuées :

- radioélectriques correspondant à l'étude de la propagation des ondes,
- météorologiques associées à la caractérisation de l'atmosphère dont la connaissance est nécessaire pour modéliser les mécanismes d'affaiblissement de propagation.

Les instruments utilisés dans l'expérience et gérés par le CRPE apparaissent sur la figure 6.6.

• Domaine radioélectrique :

- Une station de réception transportable
- Un radiomètre

• Domaine météorologique :

- Un radar météorologique
- Une station météorologique
- Un spectropluviomètre

La fabrication des 3 premiers instruments a été sous traitée dans l'industrie. Deux équipements ont été entièrement conçus, réalisés et mis au point au CRP :

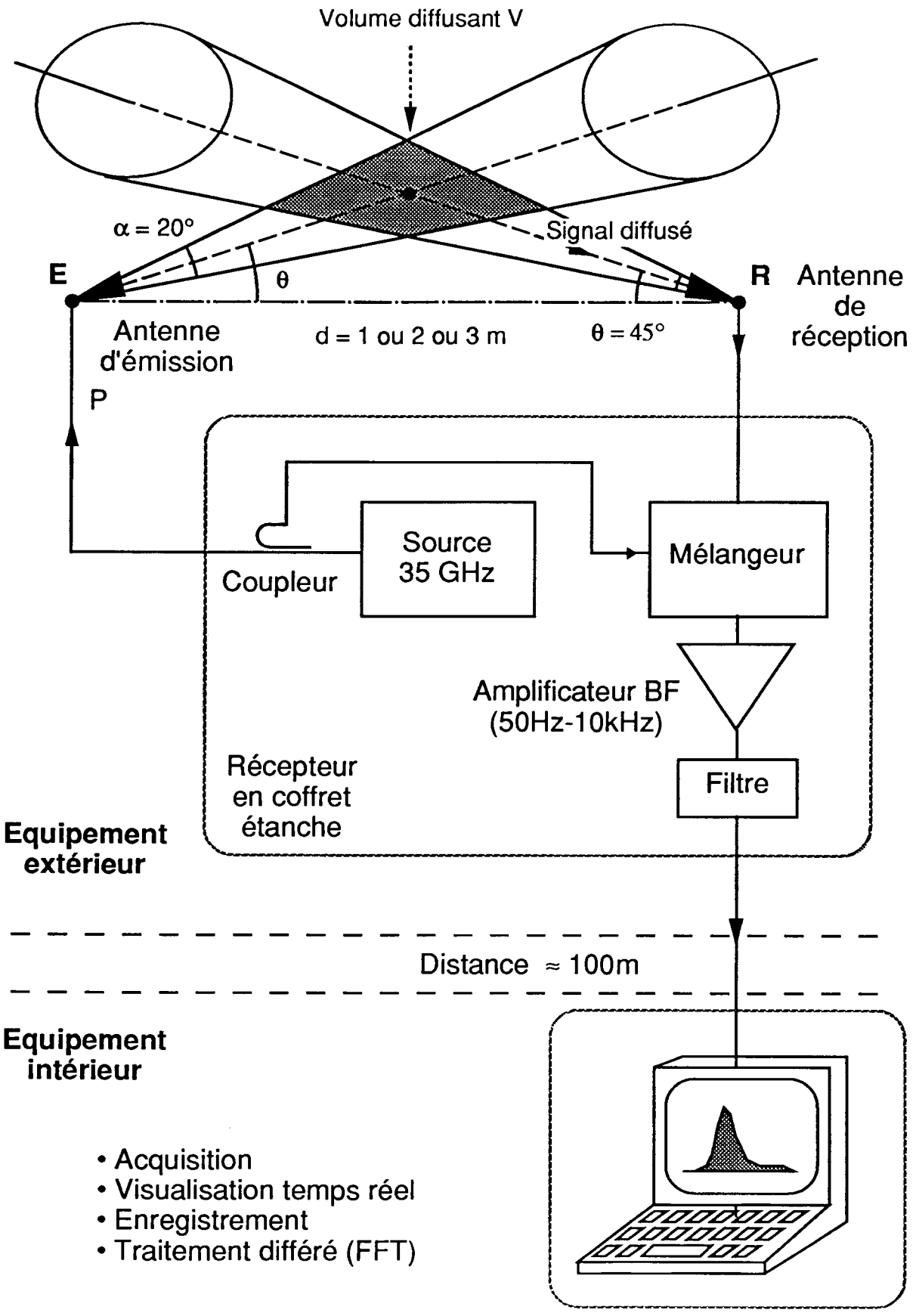



**Figure 6.5** : *Schéma synoptique du diffusiomètre*

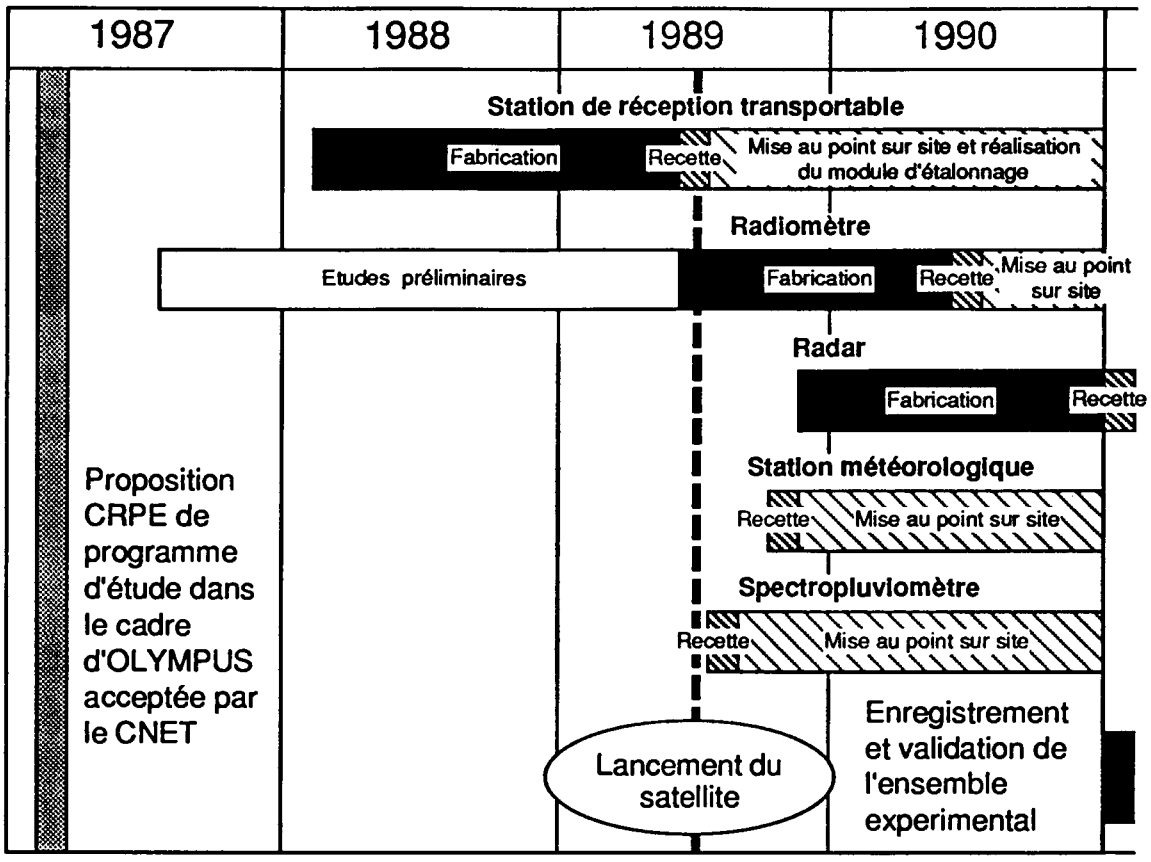



**Figure 6.6** : *Calendrier des opérations OLYMPUS. Les zones hachurées indiquent les périodes pendant lesquelles les ingénieurs et techniciens interviennent tout particulièrement.*

le spectropluviomètre qui a fait l'objet de plusieurs améliorations par rapport à la version de 1980 et le module d'étalonnage de la station de réception transportable, élément clé de la chaine de mesure.

En effet la précision ultime d'une mesure d'atténuation de propagation est donnée par celle de l'instrument assurant le transfert entre les étalons de puissance primaires (aux USA) ou secondaires (à Paris) et l'émetteur ainsi que le récepteur si l'on suppose les gains d'antennes connus. On a montré qu'à 20 et 30 GHz, cette précison est 0,1 dB. Mais si l'emploi d'un tel instrument est aisé à la sortie d'un émetteur, il est nécessaire de posséder une source stable intermédiaire pour attaquer le récepteur.

Cette source de référence, commandée automatiquement deux fois par jour pour étalonner le récepteur de mesure de l'atténuation de propagation sur le trajet satellite OLYMPUS-Terre, a fait l'objet d'une étude préliminaire en 1988. L'objectif de stabilité de 0,1 dB sur 6 mois en ambiance extérieure est atteint en particulier par l'emploi de techniques de refroidissement thermoélectrique à effet Peltier à haute puissance (300 W) pour stabiliser l'électronique à ± 1°C. Le niveau des sources à bruit de phase extrêmement faible pour les fréquences intermédiaires (80 et 105 MHz) et les hyperfréquences (20 et 30 GHz) est également régulé.

Le module simulant les caractéristiques de la balise émettrice du satellite OLYMPUS permet la recette de la station de réception et est ensuite incorporé afin de réaliser les étalonnages quotidiens.

## 6.3 EXPERIENCES EMBARQUEES SUR SATELLITE

### 6.3.1 Radiomètre ATSR/M

Le radiomètre hyperfréquence ATSR/M est embarqué sur le satellite ERS 1 de l'Agence Spatiale Européenne (lancement prévu en Juillet 1991). Il est destiné à mesurer le contenu en eau (vapeur ou liquide) de la colonne d'air au nadir du satellite pour corriger les données de l'altimètre et pour contribuer à l'étude des échanges océan-atmosphère.

L'instrument est constitué de 2 radiomètres de Dicke (comparaison à une température de référence) dont les caractéristiques sont les suivantes :

- fréquence : 23,8 et 36,5 GHz,
- bande passante : ± 200 MHz,
- temps d'intégration : 150 ms,
- résolution : 0.5°K
- étalonnage par mesure chaude (température de l'instrument) et froide (température de bruit du ciel),
- précision: 3°K
- antenne parabolique à 2 sources décalées
  . diamètre : 60 cm
  . ouverture à -3 dB : 1,5°.

Réalisé sous maîtrise d'oeuvre CRPE, trois sous-ensembles peuvent être distingués :

- la structure, l'antenne, les protections thermiques et le câblage (conçus et réalisés par la Société MATRA).
- le modèle électronique de commande et d'acquisition (étudié par le CRPE et réalisé par la Société MATRA).
- les 2 récepteurs hyperfréquences à 23,8 GHz et 36,5 GHz (conçus et réalisés par le CRPE).

D'autre part, le CRPE a défini les procédures d'étalonnage d'un tel instrument, mettant en oeuvre des corps noirs hyperfréquence de température variable (80° K à 300° K) en enceinte à vide.

Etalonné en Mai 1989, le radiomètre hyperfréquence a été intégré au satellite ERS1 qui, dès lors, a subi une série d'essais d'environnement et de performances jusqu'au tir prévu en 1991.

### 6.3.2 MESURE DU CHAMP MAGNETIQUE TERRESTRE (EXPERIENCES EMBARQUEES SUR SATELLITE)

Les réalisations techniques entreprises au cours des années 1989-1990 par le laboratoire pour l'étude des ondes magnétiques d'origine naturelle, ont porté sur la réalisation de prototypes d'équipements électroniques qui visent à équiper les satellites de recherche magnétosphérique de la décennie, INTERBALL, CLUSTER et MARS 94 sur lesquels notre laboratoire est impliqué, et les projets CRAF et CASSINI à l'horizon 2000. Les réalisations d'équipements de vol du projet CLUSTER ont commencées en 1991.

Les études et développements nouveaux ont porté principalement sur 4 points :

*Conception de capteurs magnétiques à contre réaction de flux à large bande*

Les capteurs que nous réalisions jusqu'ici présentaient une limitation contraignante du rapport entre les fréquences haute et basse de leur bande passante (de l'ordre de 10) qui obligeait à embarquer si nécessaire, plusieurs capteurs pour couvrir la bande de mesure intéressante d'un projet donné comme ce fut le cas pour les projets GEOS et GALILEO. Une étude a été entreprise pour définir les modifications à apporter aux capteurs et accroître leur bande utile sans modifier leur sensibilité en basse fréquence. Ce double objectif répond en effet à deux demandes:

- celle de notre laboratoire, orienté vers l'exploitation des signaux de basse fréquence et désireux d'avoir une grande sensibilité de mesure en dessous de 10 Hz,
- celle des laboratoires associés des projets spatiaux, qui analysent les composants haute fréquence des ondes électromagnétiques, naturelles ou artificielles.

Ces travaux ont conduit à la réalisation de prototypes dont la bande passante a été multipliée par 6 par rapport à celles obtenues avec les capteurs des générations antérieures, sans dégradation de la sensibilité. Les chiffres typiques obtenus pour un capteur couvrant simultanément les très basses et moyennes fréquences sont :

- bande utilisable : 0,01 Hz - 20 kHz,
- bande à 3 dB : 30 Hz - 18 kHz,
- sensibilité : 2.10-4 nT. Hz.1/2 à 0,1 Hz
  2.10-6 nT. Hz.1/2 à 10 kHz.

Une conséquence très intéressante de l'élargissement de la bande passante utile des capteurs a été la possibilité de placer les antennes à très grande distance de l'électronique. A cet effet, un cable spécial a été développé, qui permet d' éloigner antennes et préamplificateur de plus de 10 mètres. Cette particularité permet une plus grande souplesse pour l'installation des équipements à bord des satellites. De tels capteurs seront montés sur les projets en cours CLUSTER et MARS 94 de l'ESA et de l'IKI, et sur les projets CRAFet CASSINI de la NASA.

*Réalisation de capteurs magnétiques de petites dimensions*

L'étude de la répartition du flux le long des barreaux magnétiques a permis de réduire considérablement la dimension des capteurs sans changement de la bande passante mais en tolérant une réduction de la sensibilité de l'ordre de 3dB. Cette forme de capteurs permet d'implanter des expériences sur des satellites de petite taille sur lesquels les contraintes d'encombrement sont critiques et où la sensibilité requise par les expériences peut être moins élevée en raison de la propreté électromagnétique médiocre de ces satellites (due à la proximité des expériences avec les équipements embarqués). Des capteurs de cette forme seront montés sur le sous satellite tchécoslovaque de la mission INTERBALL.

*Réalisation d'amplificateurs sous forme de composants intégrés*

L'implantation des amplificateurs magnétiques sur des véhicules spatiaux interplanétaires a conduit le laboratoire à concevoir l'électronique associée aux antennes magnétiques sous la forme d'un composant de petite taille qui réduise les dimensions des parties exposées aux effets thermiques et radiatifs caractéristiques des missions en milieu interplanétaire. Cette étude a été entreprise avec succès en association avec une société de l'industrie spatiale. L'objectif a été d'adapter l'électronique existante sous la forme de couches épaisses et d'incorporer les protections thermiques et radiatives au sein même du composant. Par ailleurs, la conception est telle que le composant est adaptable à toutes les formes d'amplifications étudiées pour nos capteurs. Son utilisation immédiate est prévue dans le cadre du projet CLUSTER.

Deux brevets ont été déposés pour cette industrialisation, l'un portant sur la protection in situ contre les effets des radiations, l'autre sur l'intégration de réseaux de compensation thermique, magnétique.

*Réalisation d'un système d'analyse des ondes basse fréquence à grande dynamiqque.*

L'étude des ondes spatiales très basse fréquence (inférieures à 1 Hz) était jusqu'à présent rendue difficile à cause de la présence simultanée d'une composante de champ induite par la rotation des satellites dans les champs magnétiques des planètes. Le développement d'un analyseur multientrées, ayant une plus grande dynamique intrinsèque, a permis de rendre compatible la réception simultanée des champs induits parasites et des composantes magnétiques naturelles.

### 6.3.3 COORDINATION CLUSTER/WEC

Outre sa responsabilité directe sur l'expérience STAFF, le CRPE est trés largement intéressé par l'ensemble plus vaste que constitue le "Wave Experiment Consortium" (WEC) dans le projet spatial ESA/NASA CLUSTER dont il a la coordination technique.

WEC représente dans CLUSTER à peu près la moitié de la charge utile scientifique. Le consortium est composé de cinq expériences principales :

- EFW Champ et ondes électriques Uppsala (suède), Berkeley (USA)
- STAFF Ondes magnétiques,analyse spectrale CRPE, Observatoire de Meudon
- WHISPER Sondeur à relaxation LPCE Orléans, DSRI (Danemark)
- WBD Mesures large bande Iowa (USA)
- DWP Calculateur de bord Université de Sheffield (UK)

L'ESA a imposé une vision globale de cet ensemble dont les éléments sont largement interconnectés et qui apparait ainsi comme une expérience unique. Une coordination technique est donc indispensable pour régler les problèmes d'interfaces, obtenir et faire circuler l'information, gérer la documentation, suivre la cohérence des plannings et des méthodes, organiser les tests d'intégration au niveau WEC, puis dans les satellites. Liées à cette tache de coordination, de nombreuses responsabilités ont été prises par le laboratoire :

- réalisation d'un équipement de servitude (bloc d'alimentation WEC) sous traité dans une entreprise française
- réalisation d'une partie des équipements de tests communs (partagés avec l'Université de Sussex)
- préparation pour 1992 d'un site d'intégration correctement aménagé
- acceuil des expérimentateurs et conduite des intégrations WEC dans les locaux du laboratoire lorsque le site fonctionnera.

### 6.3.4 INTERBALL - HYPERBOLOID

Dans le cadre du projet INTERBALL (URSS) le CRPE a la responsabilité de la mesure de la composante de basse énergie des ions du plasma magnétosphérique. L'objectif de cette expérience est de fournir pour chacune des espèces d'ions majoritaires (H+,He+,O+,O++) une mesure de la fonction de distribution en angle et en énergie conduisant pour la partie thermique à la détermination des moments principaux (densité, vitesse d'ensemble, températures parallèle et perpendiculaire) et pour les ions suprathermiques à la connaissance des spectres en énergie et des distributions angulaires.

La réalisation de cette expérience a conduit à la mise au point d'un spectromètre de masse ionique de conception originale comportant deux plans de visée mutuellement orthogonaux dans lesquels l'axe de mesure de l'appareil peut être positionné suivant respectivement 16 directions distantes de 10° dans le cas du plan principal, et 10 directions distantes de 15° dans le cas du plan secondaire. Le plan principal comprend l'axe de rotation du satellite qui est perpendiculaire à la direction moyenne du secteur angulaire correspondant: ainsi, au cours d'une rotation complète du satellite, peut-on explorer l'ensemble des directions de l'espace ce qui permet une mesure complète de la fonction de distribution. Cependant la période de rotation du satellite est de l'ordre de 2 minutes, ce qui ne permet pas d'étudier les phénomènes rapides fréquents le long des lignes de forces aurorales, avec des temps de variations caractéristiques de l'ordre de la seconde aux altitudes explorées par le satellite INTERBALL. L'utilisation du plan de visée secondaire permet alors d'obtenir une mesure de la fonction de distribution dans deux plans orthogonaux susceptible de fournir des données essentielles pour l'analyse de ces phénomènes.

L'optique du spectromètre comporte 3 parties principales:

- les analyseurs en énergie, analyseurs électrostatiques sphériques situés immédiatement à la suite des fenêtres d'entrée, qui, pour chaque direction de visée, assurent le filtrage en énergie des ions incidents entre 0,1 et 100 eV avec une résolution minimale de 15% et un pas minimum de 50meV.
- les concentrateurs toriques, associés à chacun des plans de visée, qui rassemblent tous les ions entrant dans l'instrument, quelles que soient leurs directions d'arrivée, en un faisceau pratiquement cylindrique à l'entrée du secteur magnétique.
- le secteur magnétique qui assure la discrimination en masse des ions et leur focalisation dans le plan d'entrée des détecteurs et qui permet ainsi la détection simultanée de tous les ions majoritaires.

Dans le plan focal du secteur magnétique on trouve donc 4 détecteurs utilisant des GMC (galettes de micro-canaux) qui, pour assurer la dynamique globale recherchée de l'ordre de 1010, fonctionnent suivant deux modes distincts, soit en comptage d'impulsions dans le cas de flux inférieurs à 105 ions/s, soit en intégration de charge dans le cas contraire.

Le positionnement de l'axe de visée du spectromètre le long des 26 directions définies par les fenêtres d'entrée est effectué en polarisant de façon adéquate un certain nombre d'électrodes par l'intermédiaire d'amplificateurs haute tension rapides qui assurent des temps de commutation entre deux directions quelconques de l'ordre de 100ms.

L'électronique du spectromètre comprend deux parties principales :

- l'ensemble des circuits analogiques, comprenant le convertisseur basse tension de puissance, les convertisseurs haute tension et les amplificateurs associés délivrant les tensions de polarisation de l'optique électrostatique et magnétique,
- la partie numérique qui comporte, autour du microprocesseur (80C86 en version épitaxiée pour éviter la destruction par les ions lourds) utilisé pour le pilotage de l'expérience, l'ensemble des mémoires et des circuits pour la commande de l'optique ainsi que les circuits d'interfaces avec les télémesures et les télécommandes.

La complexité de l'optique du spectromètre et des modes de fonctionnement ainsi que la multiplicité des télémesures et des télécommandes expliquent l'importance de l'électronique dont le poids est de l'ordre de 6 kg. En outre, son étude, sa réalisation et son implantation ont été rendues très complexes par les contraintes imposées par les doses de radiations trés élevées auxquelles les instruments seront soumis pendant la durée de vie du satellite et l'obligation d'utiliser des composants non durcis.

Le modèle de qualification de l'expérience a été essayé et étalonné dans le caisson d'étalonnage du laboratoire au cours des derniers mois et a été livré pour intégration en mai 1991. La figure donne une vue d'ensemble de l'optique du spectromètre en configuration de vol.

# 7 - DEPARTEMENT INFORMATIQUE

## 7.1 ROLE, MISSION ET STRUCTURE DU DEPARTEMENT INFORMATIQUE

Le département Traitement Informatique des Données a une double mission: d'une part assurer la cohérence des moyens informatiques du laboratoire, et d'autre part assurer une activité de service vis à vis des départements scientifiques. A ce titre et en premier lieu le département définit et met en oeuvre la politique générale d'équipement, et donc préside au choix des matériels nouveaux, assure leur mise en service et leur maintenance, et assure leur intégration dans les moyens existants par l'intermédiaire du groupe "systèmes". La définition de cette politique est faite conjointement avec des représentants des départements scientifiques, par le biais d'une commission informatique, où les besoins et les opinions des équipes scientifiques sont exprimés. Les choix finaux tiennent compte simultanément des besoins individuels ou des équipes et du souci d'unification et de communication entre machines, à la fois au niveau du laboratoire mais également au niveau de ses organismes de tutelle, et donc le CNET qui offre au laboratoire l'utilisation de son centre de calcul, et le CNRS et l'INSU afin de contribuer à l'harmonisation des moyens du laboratoire au niveau TOAE.

En second lieu les informaticiens du groupe "dépouillement" effectuent des travaux de programmation, de calcul et de dépouillement scientifique; ils travaillent en étroite relation avec les équipes scientifiques qui ont défini les expériences et qui exploitent les données. Un troisième groupe est consacré aux activités "Temps Réel", qui est spécialisé dans la définition et la mise en oeuvre des systèmes d'acquisition des données et de prétraitement au niveau de l'instrumentation, qu'il s'agisse d'expériences au sol ou à bord de sondes ou satellites. Ce groupe travaille en collaboration avec les équipes scientifiques et les membres du département Instrumentation Terrestre et Spatiale.

## 7.2 L'EVOLUTION DES MOYENS INFORMATIQUES

Les moyens informatiques du laboratoire ont considérablement évolué depuis 5 ou 6 ans sous la pression d'une quantité croissante de données à traiter, et grâce à d'importants efforts financiers. La figure 7-1 représente le schéma actuel des moyens informatiques. On peut distinguer, en dehors des deux sites géographiques du CRPE, les centres de calcul extérieurs qui sont atteints soit au moyens de lignes spécialisées, soit par le réseau national Transpac, et à Issy les Moulineaux les calculateurs Convex-C2 et HP9000/850 du centre de calcul du CNET. Dans chacun des sites, un réseau Ethernet et un réseau X25 permettent l'accès aux machines, et un réseau Apple-Talk fédère une cinquantaine de micros Apple et plusieurs serveurs d'impression. On peut noter également des stations UNIX, principalement SUN, et un centre de calcul VAX/VMS à Issy les Moulineaux, actuellement constitué de cinq machines et de nombreux périphériques, dont le détail peut être examiné sur le schéma de la figure 7-2.

Cette croissance a dû être maîtrisée et dirigée convenablement dès le début afin d'éviter l'apparition anarchique et désordonnée de matériels incompatibles, le besoin de communication entre machines et l'intérêt des réseaux s'étant avéré rapidement primordial. Néanmoins les qualités concurrentes et parfois exclusives de certains matériels ne pouvaient conduire à une solution homogène sans perdre une richesse de fonctionnalité qui ne peut être obtenue qu'en considérant plusieurs types de matériel.

## 7.3 LES QUATRE MONDES INFORMATIQUES DU LABORATOIRE

Devant ce type de compromis, l'informatique du CRPE s'est développée autour de quatre mondes relativement standards, schématisés sur la figure 7-3, auprès desquels on s'est attaché à développer les passerelles de communication nécessaires.

D'un coté, on distingue l'interface standard homme-machine-réseaux, constitué d'un poste de travail personnel, et dont l'environnement est personnalisable, constitué par un micro-ordinateur choisi dans l'un des deux mondes de la micro informatique: le monde des Mac Intosh sous Mac/OS et le monde des PC-PS sous DOS/windows3. Pour ces derniers, l'interface Windows3 et les nombreux produits apparaissant dans cet intégrateur ont tendance à atténuer progressivement la différence avec l'interface Mac Intosh, ce que l'on renforce en s'efforçant d'acquérir dans ces deux mondes des logiciels semblables et dont les formats de données sont compatibles (Word, Excel, Math type, Wingz, etc...).

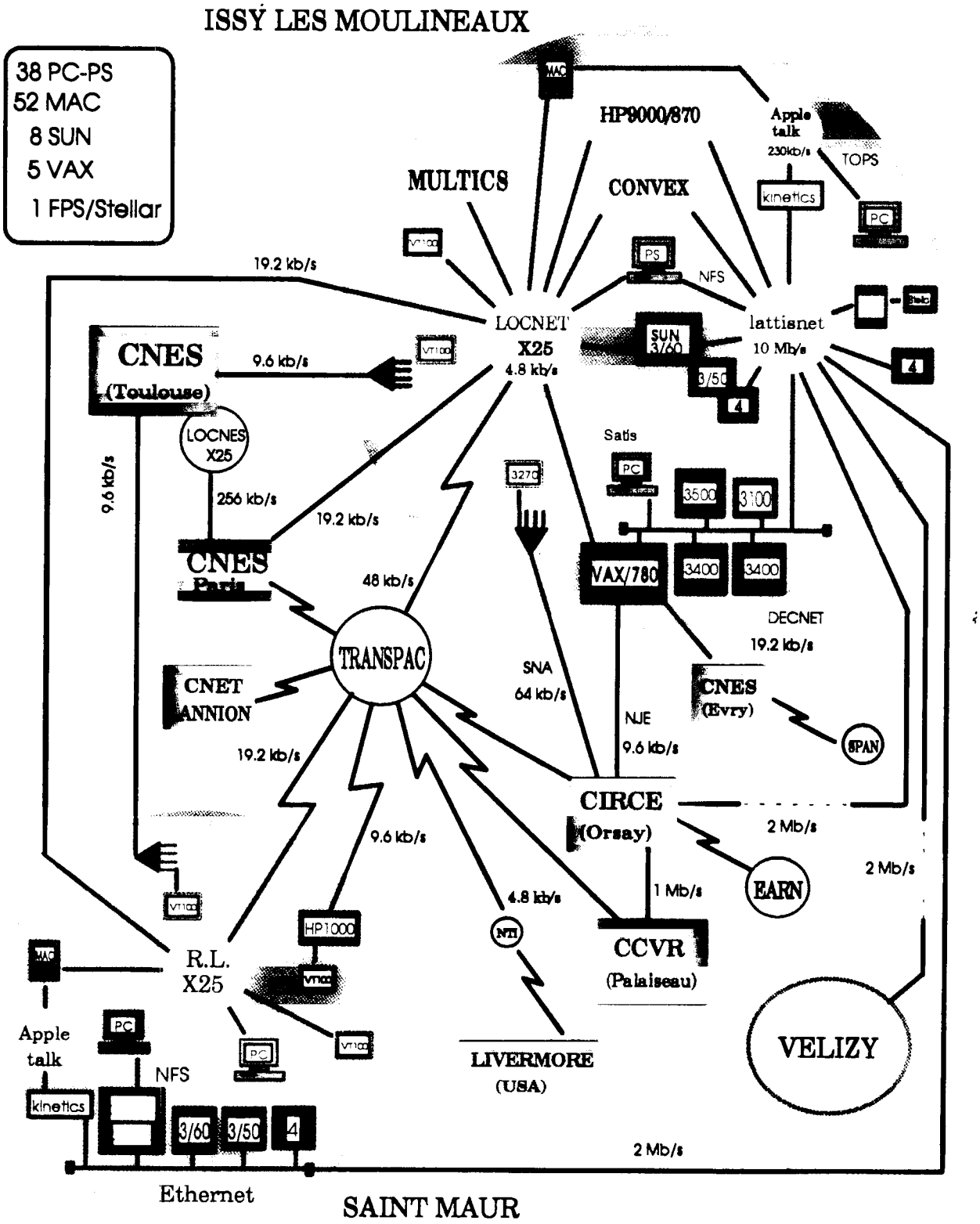



**figure 7.1** : *Schéma général des moyens informatiques du CRPE ; On distingue les sites d'Issy-les- Moulineaux et de Saint-Maur, ainsi que le futur site de Vélizy, les centres de calculs externes et internes, et les divers réseaux, liaisons et lignes spécialisées utilisées par le CRPE.*

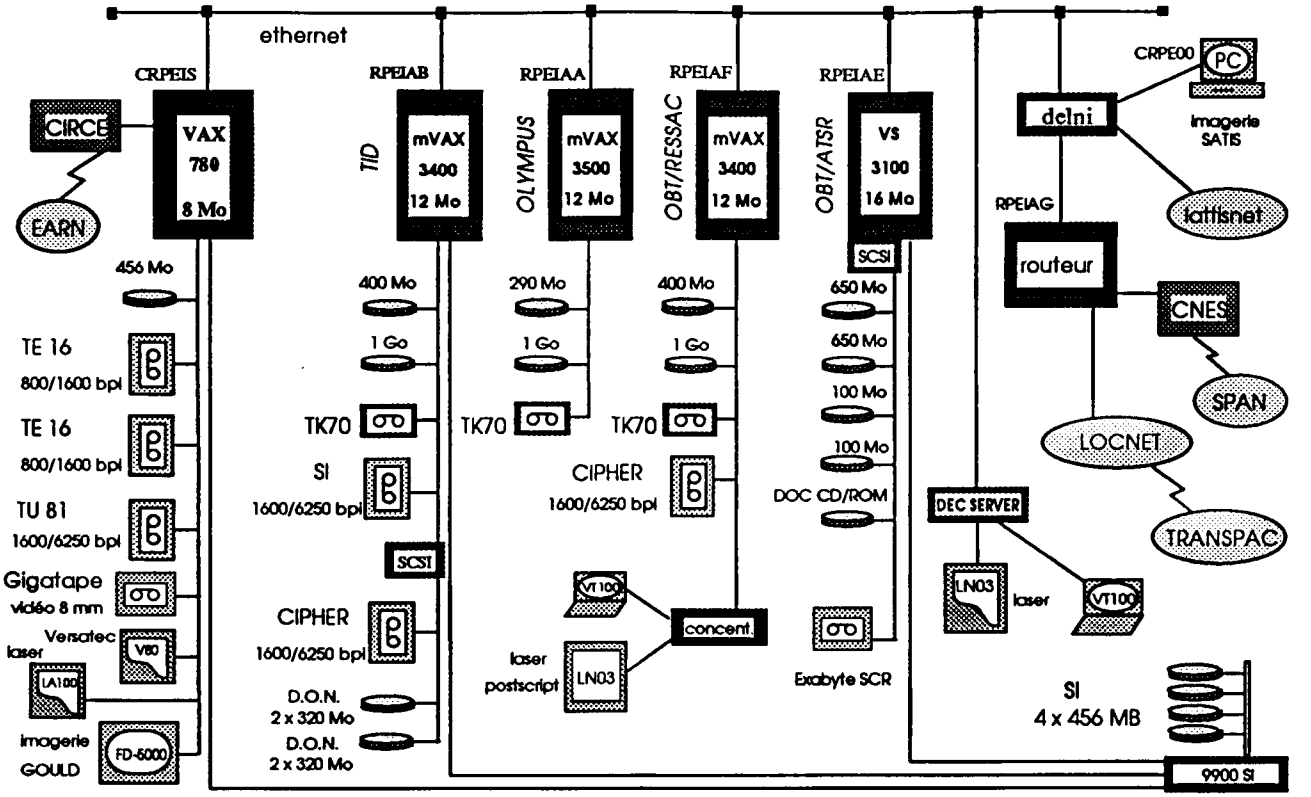



**Figure 7.2 :** *Schéma général du centre de calcul VAX du CRPE. Les machines, leurs configurations et leurs périphériques sont représentés, ainsi que les liaisons avec les réseaux extérieurs (SPAN, EARN, Transpac).*

Ces postes de travail ont une triple vocation : En premier lieu, en utilisation locale, ils permettent d'assurer les travaux de bureautique (principalement des traitements de texte et des production de documents incluant des résultats de tableurs, des graphiques et des images, etc...) et de faire des petites gestions personnelles (bases de données financières, matériels etc...). En second lieu, ils permettent de traiter un certain nombre de petits calculs scientifiques et de visualiser facilement des résultats sous formes de graphiques standards, ces opérations étant bien à leur place sur ce type de machine dans un environnement convivial avec une facilité d'emploi maximum grâce à la panoplie élevée de logiciels disponibles et généralement conçus pour des utilisateurs non informaticiens. Enfin, en troisième lieu, en émulation de terminal (VT100, T4014, X11, etc...) ils ouvrent une ou plusieurs fenêtres sur les moyens informatiques extérieurs au "bureau local" de l'utilisateur, et permettent le travail sur les mini-ordinateurs du laboratoire ou les centres de calcul distants, tout en accédant aux messageries internationales.

Ces trois types de travail se recoupent d'ailleurs la plupart du temps, et l'intégrateur du micro-ordinateur trouve là sa pleine justification: un texte saisi et mis en forme au traitement de texte peut être envoyé par un simple "copié-collé" dans une messagerie internationale, des résultats de calculs sur un site distant peuvent être introduits à l'entrée d'un tableur graphique, une source de programme sur un mini-calculateur retravaillé par un traitement de texte, des disques de données montés à distance et leur contenu traité localement, etc... . Il faut noter à ce sujet que l'implantation de la partie principale du laboratoire dans les locaux du CNET est un atout inestimable, car il bénéficie de l'infrastructure en matière de câblage informatique et surtout de la maintenance et de la supervision du réseau par les services centraux du CNET.

D'un autre coté, celui des minis et moyens calculateurs, on trouve deux mondes distincts: VAX/VMS et UNIX, qui assurent le calcul scientifique plus lourd, le traitement de données et la communication via les réseaux internationaux comme SPAN ou EARN. VAX/VMS a été nécessaire initialement pour le traitement des données spatiales et les échanges et communications avec les laboratoires spatiaux, historiquement équipés de matériel VAX et utilisant la messagerie SPAN, puis en liaison avec des systèmes d'acquisition temps réel pour l'expérience OLYMPUS. UNIX a été introduit, comme partout, d'une part pour l'excellent rapport performances/prix que l'on trouve dans ce monde non propriétaire où la concurrence peut pleinement s'exercer, et d'autre part pour l'universalité de ce système et la facilité de communication entre machines qu'il offre.

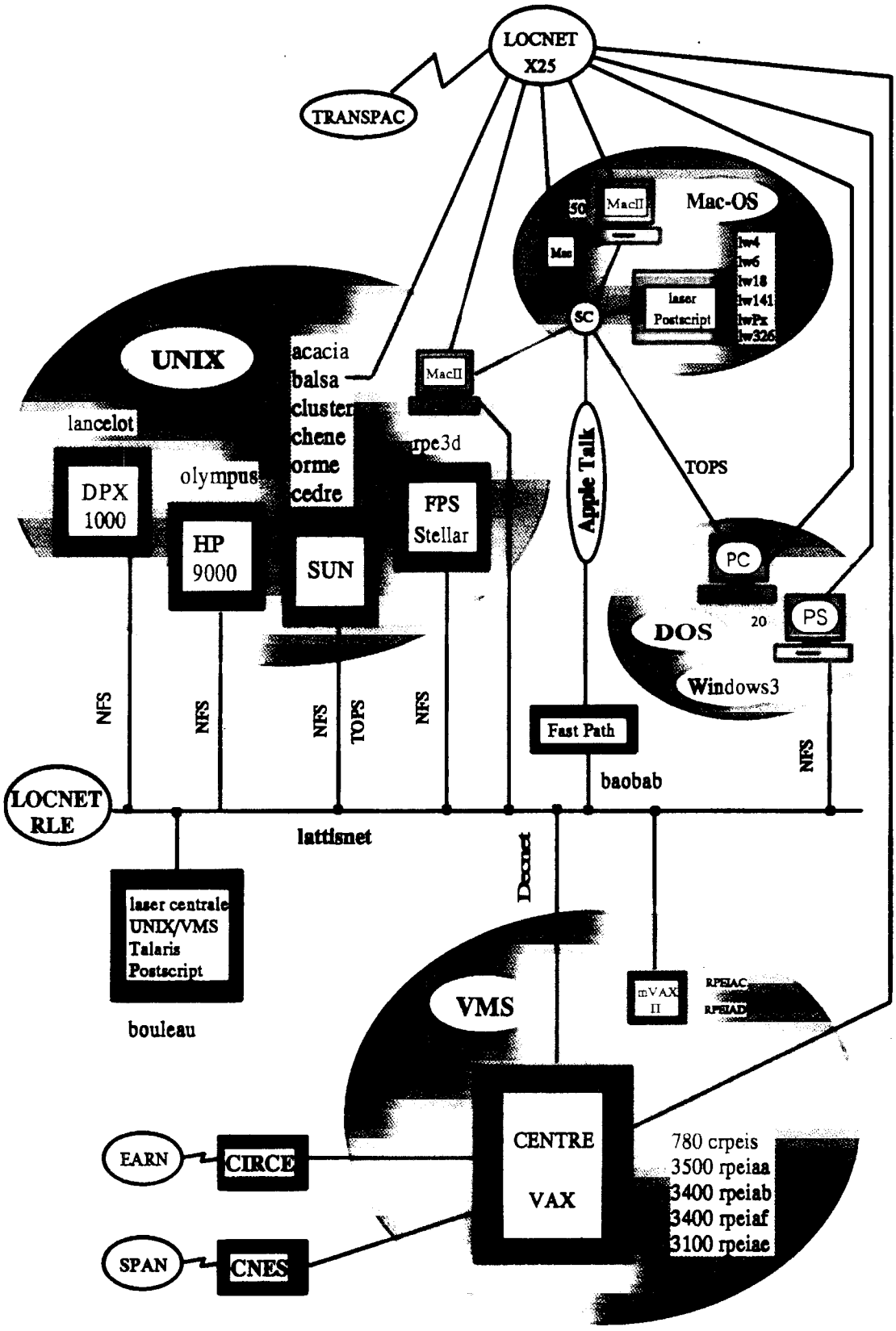



**figure 7.3 :** *Les quatre mondes informatiques du CRPE: UNIX et VMS, Mac-OS et DOS et leurs passerelles de communications.*

En se limitant à ces quatre mondes (deux mondes micros et deux mondes minis et moyens systèmes) on évite une trop grande difficulté de maintenance, d'utilisation et de communication, à une heure où les ingénieurs systèmes se font rares, tout en offrant une palette de fonctionnalités et de services étendue qui permet de couvrir à peu près tous les besoins du laboratoire (sauf ceux en temps humain), et principalement de pouvoir effectuer chaque travail sur la machine la mieux appropriée.

## 7.4 LES FAITS PRINCIPAUX DEPUIS DEUX ANS

### 7.4.1 MISE EN OEUVRE DE SYSTEMES INFORMATIQUES

L'informatisation du site s'est poursuivie selon la politique précédemment décrite. On peut noter tout d'abord l'arrivée d'un mini-super calculateur de type Stellar-FPS/350 sous UNIX (40 Mflops) destiné au traitement interactif des objets volumiques diversement éclairés produits notamment par des résultats de simulation numérique, grâce au logiciel AVS (Application Visualization System). Les premières applications développées sur cette machine ont été faites dans le domaine de la visualisations des lignes de forces du champ magnétique terrestre selon le modèle de Tsyganenko qui prends en compte l'influence du vent solaire. La figure 4.6 présentée dans le chapitre "Environnements Ionisés Terrestre et Planétaires" illustre le type d'objets 3D visualisés, que l'on peut découper, déformer, déplacer, animer et éclairer à volonté en temps réel avec la souris de l'appareil.

Du coté des machines classiques 5 nouvelles stations SUN ont été acquises et installées, dont 4 destinées aux traitements de données sols et spatiales et une pour des applications de CAO, ainsi qu'une station HP9000/425 pour l'expérience OLYMPUS. L'extension du centre VAX s'est poursuivie par la mise en place de deux nouvelles machines de type mVAX 3400, et de nombreux périphériques supplémentaires (2 Go de disques, 2 D.ON., 2 dérouleurs, un exabyte, un routeur pour les réseaux,...).

Du coté ligne et réseau, le réseau Ethernet s'est généralisé à toutes les machines UNIX du site et tous les IBM/PS2 (au total 50 machines environ) ; une ligne à haut débit (2Mb/s) viens d'être installée entre les sites d'Issy et de Saint Maur, ce qui va permettre l'interconnexion des réseaux Ethernet, et une opération similaire est prévue avec le centre de calcul du CIRCE; une passerelle Ethernet-Apple Talk a été mise en place sur chacun des sites, ce qui permet de partager toutes les imprimantes du réseau Apple avec les PS; une imprimante laser haut débit commune au monde UNIX et VMS a été installée à Issy les Moulineaux directement sur le réseau Ethernet, et sert de serveur central d'impression pour tous les calculateurs du site. Les messageries liées à VMS (comme SPAN) ont été interconnectées avec les messageries UNIX, ce qui permet notamment de router vers une machine UNIX les messages reçus par SPAN sur le centre VAX.

### 7.4.2 ETUDE DE L'INFORMATISATION DU SITE DE VELIZY

Le futur troisième site du laboratoire est entièrement à construire du point de vue informatique, depuis la mise en place du ou des réseaux locaux, des matériels à déménager, des matériels à acquérir. Le département s'est donc attelé cette année à définir les réseaux locaux, en utilisant au maximum les compétences du centre de calcul du CNET en la matière, à réfléchir à la restructuration du centre VAX, qui s'étalera sur les deux sites, et à définir les différents serveurs et matériels à mettre en place, en liaisons avec ceux existant ou restant à Issy les Moulineaux.

### 7.4.3 DEPOUILLEMENT SCIENTIFIQUE

Près de la moitié du département (une dizaine de personne) se consacre au traitement des données scientifiques. Ces traitements sont généralement limités à la réalisation de programme de lecture et de pré-traitement, associés à des programmes de visualisations ou de calculs scientifiques plus élaborés. Les travaux se font sur les moyens propres du laboratoire (centre VAX, stations UNIX, micro-ordinateurs) ou sur les centres de calculs externes (CNES et CNET principalement). Ces traitements se poursuivent de manière constante, bénéficiant chaque année des matériels nouveaux mis en place.

### 7.4.4 TEMPS REEL

Ces deux dernières années ont vu la réalisation de plusieurs logiciels sur de nombreuses expériences sol ou embarquées (INTERBALL, OLYMPUS, MARATHON, SODARS, radars ST, RONSARD, ERASME), et la plupart de ces travaux verront leur aboutissement d'ici la fin de cette année. En plus des logiciels d'exploitation des équipements scientifiques (pilotage, acquisition, pré-traitement, sauvegarde et contrôle) il a été mis au point une carte de traitement du signal (FFT) implantée sur LSI et compatible avec l'interface Q-bus. Le groupe Temps Réel a également entrepris une réflexion et une prospection sur de nouvelles méthodes de travail, organisées autour d'une station associée à une ou plusieurs stations cibles. Les nombreux outils disponibles dans une telle configuration devraient apporter à la fois une meilleure efficacité et une plus grande souplesse d'utilisation, qualités devenues nécessaires afin de pouvoir répondre correctement à la variété des problèmes posés. Les réalisations futures devront bien sûr prendre en compte les investissements financiers et humains nécessaires à la mise en place de ces moyens nouveaux.

### 7.4.5 EVOLUTION DU PERSONNEL

La répartition du personnel entre les travaux "systèmes", "dépouillement", et "Temps Réel" reste à peu près stable, car malgré une incitation à "faire du système" les départs se font presque toujours parmi l'équipe système, départs très difficiles à combler, les arrivées se faisant plutôt du coté "programmes et dépouillement". Il est certain que la croissance du parc informatique, malgré le respect de la limitation aux quatre mondes choisis, pose des problèmes constants au groupe système du département, dont le nombre limité d'ingénieurs ne permet pas de tirer parti au maximum des différentes possibilités tant matérielles que logicielles offertes par les nouveaux équipements.

## 7.5 PERSPECTIVES A PLUS LONG TERME

Le plan d'informatisation à long terme défini ces dernières années reste valable, dans la mesure où les quatre mondes précédemment cités vont rester vivant et continuer leur croissance, sauf imprévu toujours possible dans ce domaine. Néanmoins on peut noter dans le domaine de la micro-informatique un certaine stabilité dans l'acquisition des PC et PS, au profit des Mac Intosh (25 postes acquis contre 5 PC ces deux dernières années). Dans le domaine des mini, le centre VAX continue de croître pour des raisons de compatibilité avec des laboratoires étrangers, mais de plus en plus de stations de travail sous UNIX sont acquises pour des traitements au niveau "équipe scientifique", qui sont au fur et à mesure fédérées par le réseau Ethernet et les serveurs divers disponibles sur ce réseau (serveur de puissance, par le FPS du CRPE ou le Convex du CNET, d'archivage par le système Dorotech du CNET, d'impression par les diverses imprimantes du CRPE et le serveur Xerox du CNET, etc...).

Si le site d'Issy les Moulineaux est à peu près défini en matière de réseaux et de serveurs, des efforts restent à faire sur le site de Saint Maur, qui n'a pas pu bénéficier du câblage informatique initial du CNET. D'importants efforts financiers et humains ont été entrepris pour combler cette inégalité, qui devrait s'amenuiser à présent très prochainement.

Enfin le plus gros projet à court terme que devra affronter le département concerne l'informatisation du futur troisième site du CRPE à Velizy. En effet, tout est à faire sur ce site. Néanmoins le laboratoire et le département disposent de plusieurs atouts: d'une part, on peut espérer des moyens financiers à la hauteur du travail à entreprendre; en second lieu toute l'infrastructure réseau pourra être supervisée par les services du centre de calcul du CNET, avec lequel le CRPE collabore depuis toujours. Enfin, de par l'expérience acquise sur l'informatisation progressive du laboratoire depuis ces dernières années, une première étude montre que l'on peut relativement dupliquer les schémas mis en place sur le site d'Issy les Moulineaux et de Saint Maur, notamment en ce qui concerne les quatre mondes informatiques et leurs différentes passerelles. Enfin, ce site sera interconnecté à celui d'Issy les Moulineaux (et donc également avec Saint Maur) par une liaison à 2 Mb/s, ce qui permettra de connecter les deux réseaux Ethernet, et donc d'avoir un réseau informatique communs au 3 sites du CRPE. La seule ombre réside dans le fait que 3 sites impliquent pratiquement 3 équipes systèmes, avec des fonctions relativement dupliquées sur chaque site, ce qui risque donc de poser des problèmes de manque de personnel et de multi-compétences, de gestion, de maintenance du matériel et d'assistance aux utilisateurs, que l'on ne pourra amenuiser que par la mise en place d'architecture simples et éprouvées, et qui pourrait dans l'état actuel ne laisser que peu de place aux essais prospectifs ou aux innovations.

# ANNEXE 1

# BIBLIOGRAPHIE

# *A - PUBLICATIONS DANS DES REVUES A COMITE DE LECTURE*


[A/89.01] AUTRET M., BERNARD R., VIDAL-MADJAR D., Theoretical study of the sensitivity of the microwave backscattering coefficient to the soil surface parameters, *Int. J. Remote Sensing, **10** (I), 171-179, 1989*

[A/89.02] BELMONT G., CHANTEUR G., Advances in magnetopause Kelvin-Helmholtz instability studies, *Physica Scripta, **40** (1), 124-128, 1989*

[A/89.03] BERNARD R., VIDAL-MADJAR D., C-band radar cross section of the Guyana rain forest: Possible use as a reference target for spaceborne radars, *Remote Sensing Environm., 27 (1), 25-29, 1989*

[A/89.04] BLANCHETIERE-CIARLETTI V., LAVERGNAT J., SYLVAIN M., WEILL A., Experimental observation of horizontal refractivity gradients during periods of multipath propagation, *Radio Sci., **24** (6), 705-724, 1989*

[A/89.05] CANU P., Linear study of the beam-plasma interaction as a source mechanism for the broadband electrostatic emissions observed in the electron foreshock, *J. Geophys. Res., **94** (A7), 8793-8804, 1989*

[A/89.06] CAUDAL G., CONNERNEY J.E.P., Plasma pressure in the environment of Jupiter, inferred from Voyager I magnetometer observations, *J. Geophys. Res., **94** (A11), 15,055-15,061, 1989*

[A/89.07] CHMYREV V.M., BERTHELIER A., JORJIO N.V., BERTHELIER J.J., BOSQUED J.M., GALPERIN Yu.I., KOVRAZHKIN R.A., BEGHIN C., MOGILEVSKY M.M., BILICHENKO S.V., MOLCHANOV O.A., Non-linear Alfven wave generator of auroral particles and ELF/VLF waves, *Planet. Space Sci., **37** (6), 749-759, 1989*

[A/89.08] CHONG M., HAUSER D., A tropical squall line observed during the COPT 81 experiment in West Africa - Part II : Water budget, *Mon. Weather Rev., **117** (4), 728-744, 1989*

[A/89.09] CLERGEOT H., TRESSENS S., OUAMRI A., Performance of high resolution frequencies estimation methods compared to the Cramer Rao Bounds, *IEEE Trans. ASSP-37 (11), 1703-1720, 1989*

[A/89.10] EYMARD L., KLAPISZ C., BERNARD R., Comparison between Nimbus-7 SMMR and ECMWF model analyses : The problem of the surface latent heat flux, *J. Atmos. Oceanic Technol., **6** (6), 966-991, 1989*

[A/89.11] GALOPEAU P., ZARKA P., LE QUEAU D., Theoretical model of Saturn's kilometric radiation spectrum, *J. Geophys. Res., **94** (A7), 8739-8755, 1989*

[A/89.12] GODARD R., BERTHELIER J.J., Influence of nonuniform surface potential on the measurement of plasma parameters by electrostatic probes, *J. Geophys. Res., 94 (A12), 17,161-17,168, 1989*

[A/89.13] LE QUEAU D., LOUARN P., Analytical study of the relativistic dispersion : Application to the generation of the auroral kilometric radiation, *J. Geophys. Res.*, ***94*** *(A3), 2605-2616, 1989*

[A/89.14] LEMAITRE Y., SCIALOM G., AMAYENC P., A cold frontal rainband observed during the LANDES-FRONTS 84 experiment : Mesoscale and small scale structure inferred from dual Doppler radar analysis, *J. Atmos. Sci.*, ***46*** *(14), 2215-2235, 1989*

[A/89.15] LEMBEGE B., DAWSON J.M., Formation of double layers within an oblique collisionless shock, *Phys. Rev. Lett.*, ***62*** *(23), 2683-2686, 1989*

[A/89.16] LEMBEGE B., DAWSON J.M., Relativistic particle dynamics in a steepening magnetosonic wave, *Phys. Fluids B*, ***1*** *(5), 1001-1010, 1989*

[A/89.17] LEVY A., SYLVAIN M., Signatures et modèles de propagation pour faisceaux hertziens numériques, *Ann. Télécomm.*, ***44*** *(7-8), 347-362, 1989*

[A/89.18] LUDLOW G.R., CORNILLEAU-WEHRLIN N., HUGHES W.J., SINGER H.J., Simultaneous observation of a Pc I pulsation by the AFGL magnetometer network and GEOS-I, *J. Geophys. Res.*, ***94*** *(A6), 6633-6642, 1989*

[A/89.19] MAZAUDIER C., WEILL A., A method of determination of dynamic influence of the forest on the boundary layer using 2 Doppler sodars, *J. Appl. Meteo.*, ***28*** *(8), 705-710, 1989*

[A/89.20] OPGENOORTH H.J., BROMAGE B., FONTAINE D., LA HOZ C., HUUSKONEN A., KOHL H., LOVHAUG U.P., WANNBERG G., GUSTAFSSON G., MURPHREE J.S., ELIASSON L. MARKLUND G., POTEMRA T.A., KIRKWOOD S., NIELSEN E., WAHLUND J.E., Coordinated observations with EISCAT and the VIKING satellite : The decay of a westward travelling surge, *Ann. Geophysicae*, ***7*** *(5), 479-500 1989*

[A/89.21] OTTLE C., VIDAL-MADJAR D., GIRARD G., Remote sensing applications to hydrological modeling, *J. Hydrol.*, ***105*** *(3/4), 369-384, 1989*

[A/89.22] REZEAU L., MORANE A., PERRAUT S., ROUX A., SCHMIDT R., Characterization of Alfvenic fluctuations in the magnetopause boundary layer, *J. Geophys. Res.*, ***94*** *(AI), 101-110, 1989*

[A/89.23] SYLVAIN M., Experimental probing of multipath microwave channels, *Radio Sci.*, ***24*** *(2), 160-178, 1989*

[A/89.24] TAIEB C., Simulation of the plasma density in the polar cap F-region with a convection field obtained from EISCAT observations, *Ann. Geophysicae*, ***7*** *(4), 355-364, 1989*

[A/89.25] TEITELBAUM H., VIAL F., MANSON A.H., GIRALDEZ R., MASSEBEUF M., Non-linear interaction between the diurnal and semi-diurnal tides : terdiurnal and diurnal secondary waves, *J. Atmos. Terr. Phys.*, ***51*** *(5), 627-634, 1989*

[A/89.26] TESTUD J., AMAYENC P., Stereoradar meteorology : A promising technique for observation of precipitation from a mobile platform, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, *6 (1), 89-108, 1989*

[A/89.27] VETTERLI M., DUHAMEL P., Split-radix algorithms for length-pm DFT's, *IEEE Trans. ASSP-37 (1), 57-64, 1989*

[A/90.01] BERTHELIER A., Comment on 'The universal time variation of magnetic activity' by C.T. Russell, *Geophys. Res. Lett., 17 (3), 307-308, 1990*

[A/90.02] BIC. J.C., RAMAT P., MARCEL V., ROUSSEAU A., BERGSMA A., Distribution de signaux radiophoniques par satellite, *Commutation et Transmission, N° 1, 97-102, 1990*

[A/90.03] BRUN C., BERNARD R., VIDAL-MADJAR D., GASCUEL-ODOUX C., MEROT P., DUCHESNE, J., NICOLAS H., Mapping saturated areas with a helicopter-borne C-band scatterometer, *Water Resour. Res., 26 (5), 945-955, 1990*

[A/90.04] BRUNING K., BLOCK L.P., MARKLUND G.T., ELIASSON L., POTTELETTE R., MURPHREE, J.S., POTEMRA T.A., PERRAUT S., VIKING observations above a postnoon aurora, *J. Geophys. Res., 95 (AS), 6039-6049, 1990 [Edition Spéciale sur les Résultats du Satellite VIKING ]*

[A/90.05] CANU P., Oblique broadband electron electron plasma waves above the plasma frequency in the electron foreshock. Linear theory and spacecraft observations, *J. Geophys. Res., 95 (A8), 11,983-11,991, 1990*

[A/90.06] CHONG M., HAUSER D., A tropical squall line observed during the COPT 81 experiment in West Africa - Part III : Heat and moisture budgets, *Mon. Weather Rev., 118 (8), 1696-1706, 1990*

[A/90.07] DUBOIN M.L., LAFEUILLE M., E and F-region measurements at Saint-Santin during the September 1987 LTCS campaign, *Adv. Space Res., 10 (6), 179-182, 1990*

[A/90.08] DUHAMEL P., Algorithms meeting the lower bounds on the multiplicative complexity of length-2n DFT's and their connection with practical algorithms, *IEEE Trans. ASSP-38 (9), 1504-1511, 1990.*

[A/90.09] DUHAMEL P., A connection between bit-reversal and matrix transposition. Hardware and software consequences, *IEEE Trans. ASSP-38 (11), 1893-1896, 1990*

[A/90.10] DUHAMEL P., VETTERLI M., Fast Fourier Transform : A tutorial review and a state of the art [Invited Paper] , *Signal Processing, 19 (4), 259-299, 1990*

[A/90.11] EMERY B.A., RICHMOND A.D., KROEHL H.W., WELLS C.D., RUOHONIEMI J.M., LESTER, M., KNIPP D.J., RICH F.J., FOSTER J.C., BEAUJARDIERE (de la) 0., SENIOR C., SHIER, L.M., McKEE J.F., MAEDA S., Electric potential patterns deduced for the SUNDIAL period of September 23-26, 1986, *Ann. Geophysicae, 8 (6), 399-408, 1990*

[A/90.12] FAMBITAKOYE 0., MENVIELLE M., MAZAUDIER C., Global disturbance of the transient magnetic field associated to thermospheric storm winds on March 23, 1979, *J. Geophys. Res., 95 (A9), 15,209-15,218, 1990*

[A/90.13] FEJER B.G., KELLEY M.C., SENIOR C., BEAUJARDIERE (de la) 0., HOLT J.A., TEPLEY, C.A., BURNSIDE R., ABDU M.A., DSOBRAL J.H.A., WOODMAR R.F., KAMIDE Y., LEPPING R., Low- and mid- latitude ionospheric electric fields during the January 1984 GISMOS campaign, *J. Geophys. Res., 95 (A3), 2367-2377, 1990*

[A/90.14] ILLINGWORTH A.J., HAUSER D., AMAYENC P., A comparison of optical shadowgraph instruments for measuring raindrop-size spectra, *J. Atmos. Oceanic Technol., 7 (1), 175-176, 1990*

[A/90.15] KLAUS V., PETITDIDIER M., PETITPA A., MASSEBEUF M., Data reduction method for a S.T. radar in order to become a wind profiler ; application to the bifrequency INSU/METEO radar, *Meteorologische Rundschau, 42, 93-98, 1990*

[A/90.16] LAAKSO H., JUNGINGER H., ROUX A., SCHMIDT R., VILLEDARY (de) C., Magnetosonic waves above fc(H+) at geostationary orbit : GEOS results, *J. Geophys. Res., 95 (A7), 10,609-10,621, 1990*

[A/90.17] LAVERGNAT J., SYLVAIN M., BIC J.C., A method to predict multipath effects on a line-of-sight link, *IEEE Trans. on Communications, 38, 10, 1810-1822, 1990*

[A/90.18] LEGRAND J.P., LE GOFF M., MAZAUDIER C., On the climatic changes and the sunspot activity during the XVIIth century, *Ann. Geophysicae, 8 (10), 637-644, 1990*

[A/90.19] LEMAITRE Y., BROVELLI P., Role of a low level jet in triggering and organizing moist convection in a baroclinic atmosphere - A case study : 18 May 1984, *J. Atmos. Sci., 47 (1), 82-100, 1990*

[A/90.20] LILENSTEN J., FONTAINE D., KOFMAN W., ELIASSON L., LATHUILLERE C., ORAN E.S., Electron energy budget in the high-latitude ionosphere during VIKING/EISCAT coordinated measurements, *J. Geophys. Res., 95 (A8), 6081-6092, 1990*

[A/90.21] LOUARN P., ROUX A., FERAUDY (de) H., LE QUEAU D., ANDRE M., MATSON L., Trapped electrons as a free energy source for the Auroral Kilometric Radiation, *J. Geophys. Res., 95 (A8), 5983-5995, 1990 [Edition Spéciale sur les Résultats du Satellite VIKING]*

[A/90.22] MAZAUDIER C., VENKATESWARAN S.V., Delayed ionospheric effects of the geomagnetic storms of March 22, 1979 studied by the sixth coordinated data analysis workshop (CDAW-6), *Ann. Geophysicae, 8 (07-08), 511-518, 1990*

[A/90.23] PERRAUT S., FERAUDY (de) H., ROUX A., DECREAU P.M.E., PARIS J., MATSON L, Density measurements in key regions of the earth's magnetosphere: Cusp and auroral region, *J. Geophys. Res., 95 (A8), 5997-6014, 1990 [Edition Spéciale sur les Résultats du Satellite VIKING]*

[A/90.24] PETITDIDIER M., KLAUS V., BAUDIN F., BOURDIER C., CROCHET M., DESAUTEZ A., GUERIN C., NEY R., PENAZZI G., QUINTY P., The 961/45 MHz bifrequency INSU/METEO Stratospheric Tropospheric radar, *Meteorologische Rundschau, 42, 142-151, 1990*

[A/90.25] PETITDIDIER M., KLAUS V., NIANGORIAN C., MASSEBEUF M., PETITPA A., Some aspects of horizontal wind measurements with a Strato-Tropospheric radar, *Meteorologische Rundschau, 42, 174-179, 1990*

[A/90.26] POTTELETTE R., MALINGRE M., DUBOULOZ N., APARICIO B., LUNDIN R., HOLMGREN, G., MARKLUND G., High-frequency waves in the Cusp/Cleft regions, *J. Geophys. Res., 95 (A8), 5957-5971, 1990 [Edition Spéciale sur les Résultats du Satellite VIKING]*

[A/90.27] RICHMOND A.D., KAMIDE Y., AKASOFU S.I., ALCAYDE D., BLANC M., BEAUJARDIERE (de la) 0., EVANS D.S., FOSTER J.C., FRIIS-CHRISTENSEN E., HOLT J.M., PELLINEN R.J., SENIOR C., ZAITZEV A.N., Global measures of ionospheric electrodynamic activity inferred from combined incoherent scatter radar and ground magnetometer observations, *J. Geophys. Res., 95 (A2), 1061-1071, 1990*

[A/90.28] ROUX F., SUN J., Single-Doppler observations of a West-African squall-line on 27-28 May 1981 during COPT 81 : Kinemation, thermodynamics and water budget, *Mon. Weather Rev., 118 (9), 1826-1854, 1990*

[A/90.29] SCIALOM G., LEMAITRE Y., A new analysis for the retrieval of three-dimensional mesoscale wind fields from multiple Doppler radar, *J. Atmos. Oceanic Technol., 7 (4), 640-665, 1990*

[A/90.30] SENIOR C., FONTAINE D., CAUDAL G., ALCAYDE D., FONTANARI J., Convection electric fields and electrostatic potential over $61 < \Lambda < 73$ invariant latitude observed with the incoherent scatter facility : 2. Statistical results, *Ann. Geophysicae, 8 (04), 257-272, 1990*

[A/90.31] SOUBEYRAN A.E., COGGIOLA E., BERTHELIER J.J., Simulation numérique d'un écoulement de plasma en aval d'une sphère non équipotentielle, *Rev. Phys. Appl., 25, 395, 1990*

[A/90.32] SOUBEYRAN A.E., LEVY L., SARRAIL D., COGGIOLA E., BERTHELIER J.J., Sur les ions lents dans une chambre de simulation du plasma ionosphérique, *Rev. Phys. Appl., 25, 404, 1990*

[A/90.33] SUCKSDORFF Y., OTTLE C., Application of satellite remote sensing to estimate areal evapotranspiration over a watershed, *J. Hydrol., 121 (1-4) 321-333, 1990*

[A/90.34] THUILLIER G., LATHUILLERE C., HERSE M., KOFMAN W., DUBOIN M.L., ALCAYDE D., BARLIER F., FONTANARI J., Co-ordinated EISCAT-MICADO interferometer measurements of neutral winds and temperatures in E- and F-regions, *J. Atmos. Terr. Phys., 52 (6-8), 625-636, 1990*

[A/90.35] WEILL A., LEHMANN H.R., Twenty years of acoustic sounding - A review and some applications, *Z. Meteorol. 40 (4), 241-250, 1990*

[A/90.36] ZHANG H.M., DUHAMEL P., TRESSENS S., An improved Burg type recursive lattice method for autoregressive spectral analysis, *IEEE Trans. ASSP-38 (8), 1437-1445, 1990*

[A/90.37] ZHONG M., WEILL A., TACONET 0., Estimation of net radiation and surface heat fluxes using NOAA 7 satellite infrated data during fair weather cloudy situations of MESOGERS 84 experiment, *Bound Layer Meteo., 53 (4), 353-370, 1990*

[A/91.01] BERTHELIER A., CERISIER J.C., BERTHELIER J.J., REZEAU L., Low-frequency magnetic turbulence in the high-latitude topside ionosphere : low-frequency waves or field-aligned currents, *J. Atmos. Terr. Phys., 53 (3/4), 333-341, 1991*

[A/91.02] DUBOULOZ N., POTTELETTE R., MALINGRE M., HOLMGREN G., LINDQVIST P., Detailed analysis of broadband electrostatic noise in the dayside auroral zone, *J. Geophys. Res., 96 (A3), 3565-3579, 1991*

[A/91.03] DUBOULOZ N., POTTELETTE R., MALINGRE M., TREUMANN R.A., Generation of broadband electrostatic noise by electron acoustic solitons, *Geophys. Res. Lett., 18 (2), 155-158, 1991*

[A/91.04] FORGET B., CERISIER J.C., BERTHELIER A., BERTHELIER J.J., Ionospheric closure of small-scale Birkeland current, *J. Geophys. Res., 96 (A2), 1843-1847, 1991*

[A/91.05] GERA B.S., WEILL A., Doppler sodar observations of the boundary-layer parameters and a frontal system during the 'MESOGERS 84' experiment, *Bound Layer Meteo., 54 (1), 41-57, 1991*

[A/91.06] HANUISE C., VILLAIN J.P., CERISIER J.C., SENIOR C., RUOHONIEMI J.M., GREENWALD R.A., BAKER K.B., Statistical study of high-latitude E region Doppler spectral obtained with the SHERPA HF radar, *Ann. Geophysicae, 9 (4), 273-285, 1991*

[A/91.07] LOJOU J.Y., FROUIN R., BERNARD R., Comparison of Nimbus-7 SMMR and GOES-1 VISSR Atmospheric Liquid Water Content, *J. Appl. Meteo., 30 (2), 187-198, 1991*

[A/91.08] OTTLE C., SUCKSDORFF Y., BENMEHREZ M., Use of thermal infrared remote sensing for water budget studies, *Adv. Space Res., 11 (3), 163-167, 1991 [COSPAR, La Haye, 1991]*

[A/91.09] PEYMIRAT C., FONTAINE D., SENIOR C., Influence of the ion losses on the generation of region 2 field- aligned currents, *Ann. Geophysicae, 9 (2), 111 - 125, 1991*

[A/91.10] POTTELETTE R., Highlights from the VIKING wave experiments, *Radioscientist, 2, 36, 1991*

[A/91.11] SOLOMON J., TOUZIN F., Electrostatic noise measurements with a pair of spherical probes near interplanetary shocks, *J. Geophys. Res., 96 (A2), 1685-1695, 1991*

[A/acc.01] BEN MEHREZ M., TACONET 0., VIDAL-MADJAR D., SUCKSDORFF Y., Calibration of fluxes model over bare soil during HAPEX/MOBILHY experiment, *Agric. For. Meteor. [à paraître, 1991]*

[A/acc.02] BEN MEHREZ M., TACONET 0., VIDAL-MADJAR D., VALENCOGNE C., Estimation of canopy stomatal resistance during HAPEX-MOBILHY experiment, *Agric. For. Meteor. [à paraître, 1991 ]*

[A/acc.03] BENESTY J., DUHAMEL P., A fast constant modulus algorithm, *IEE Proc. E, Special Issue on Adaptive Filtering [à paraître, 1991]*

[A/acc.04] BENESTY J., DUHAMEL P., A fast exact least mean square adaptive algorithm, *IEEE Trans. ASSP [à paraître, 1991]*

[A/acc.05] BERTUZZI P., CHANZY A., VIDAL-MADJAR D., AUTRET M., The use of a microwave backscatter model for retrieving soil moisture over bare soil, *Int J. Remote Sensing [à paraître, 1991]*

[A/acc.06] FORGET B., BERTHELIER A., CERISIER J.C., BERTHELIER J.J., Ionospheric closure of small-scale Birkeland currents, *J. Geophys. Res. [à paraître, 1991]*

[A/acc.07] GIRARD L., SENIOR C., Combined EISCAT and all-sky camera observations of auroral structures, *Geophys. Res. Lett. [à paraître, 1991]*

[A/acc.08] GIRARDIN-GONDEAU J., BAUDIN F., TESTUD J., Comparison of coded waveforms for an airborne meteorological Doppler radar, *J. Atmos. Oceanic Technol. [à paraître, avril 1991]*

[A/acc.09] GONDOT P., GAYET J.F., HELLOCO F., Airborne measurements of the electric field and the charge precipitation particles in lower positive charge centers, *J. Geophys. Res. [à paraître, 1991]*

[A/acc.10] GURNETT D.A., KURTH W.S., SHAW R.R., ROUX A., GENDRIN R., KENNEL C.F., SCARF F.L., SHAWHAN S.D., The Galileo plasma wave investigation, *Space Sci. Rev. [à paraître, 1991]*

[A/acc.11] HEDIN A.E., BIONDI M.A., BURNSIDE R.G., HERNANDEZ G., JOHNSON R.M., KILLEEN T.L., MAZAUDIER C., MERIWETHER J.W., SALAH J.E., SICA R.J., SMITH R.W., SPENCER N.W., WICKWAR V.B., VIRDI T.S., Revised global model of thermosphere winds using satellite and ground based observations, *J. Geophys. Res. [à paraître, 1991]*

[A/acc.12] LAVERGNAT J., GOLE P., Statistical behaviour of a simulated microwave multipath channel, *IEEE Trans. Antennas and Propagation [à paraître, 1991]*

[A/acc.13] LIEWER P.C., DECYK V.K., DAWSON J.M., LEMBEGE B., Numerical studies of electron dynamics in oblique quasi-perpendicular collisionless shock wave, *J. Geophys. Res. [à paraître, 1991]*

[A/acc.14] LOUARN P., Planetary radio emission : theoretical aspects, *Adv. Space Res. [à paraître, 1991]*

[A/acc.15] LOUARN P., Emissions radio planétaires, *Publ. du CNFGG, Rapport 1991 [à paraître, 1991]*

[A/acc.16] LOUARN P., LE QUEAU D., ROUX A., Formation of trapped population and conics inside and near auroral acceleration regions, *Ann. Geophysicae [à paraître, 1991]*

[A/acc.17] MALLET C., LAVERGNAT J., On using multi-frequency radiometer for beacon calibration, *Radio Sci. [à paraître, 1991 ]*

[A/acc.18] MARZOUG M., AMAYENC P., Improved range profiling algorithm of rainfall rate from a spaceborne radar with path- integrated attenuation constraint, *IEEE Transachons for Geosciences and Remote Sensing (Special Issue IGARSS'90), GE-29 (4), [à paraître, juillet 1991]*

[A/acc.19] MASCART P., TACONET 0., PINTY J.P., BEN MEHREZ M., Canopy resistance formulation and its effects in mesoscale models - A HAPEX-perspective, *Agric. For. Meteor. [à paraître, 1991 ]*

[A/acc.20] MAZAUDIER C., BOUVET J., WEILL A., Sodar wind speed profiles over forested boundary layer during Hapex-Mobilhy campaign, *Ann. Geophysicae [à paraître, 1991]*

[A/acc.21] MAZAUDIER C., COHEN Y., L'électrojet équatorial : composante du circuit connectant le vent solaire, la magnétosphère, l'ionosphère, l'atmosphère et la terre, *Publ. CNFGG [à paraître, 1991]*

[A/acc.22] MAZELLE C., BELMONT G., GLASSMEIER K.M., LE QUEAU D., REME H., Ultra low frequency waves at the magnetic pile up boundary of Comet P/HALLEY, *Adv. Space Res. [à paraître, 1991]*

[A/acc.23] MENVIELLE M., BERTHELIER A., The K-Derived planetary indices ; Description and availability, *Rev. Geophys. [à paraître, 29 (3), 1991]*

[A/acc.24] MOTTEZ F., CHANTEUR G., Nonlinear bi-dimensional evolution of ion beam driven electrostatic instabilities in the auroral region, *J. Geophys. Res. [à paraître, 1991 ]*

[A/acc.25] MOU Z.J., DUHAMEL P., Short length FIR filters and their use in fast non-recursive filtering, *IEEE Trans. ASSP [à paraître, juin 1991 ]*

[A/acc.26] NASR J.M., VIDAL MADJAR D., Image simulation of geometric targets for spaceborne synthetic aperture radar, *IEEE Trans. GE-21 [à paraître, 1991]*

[A/acc.27] OTTLE C., STOLL M., Effect of atmospheric absorption and surface emissivity on the determination of land surface temperature using satellite NOAA9 data, *Ocean Air Interactions [à paraître, 1991]*

[A/acc.28] RIOUL 0., Dyadic up-scaling schemes : simple criteria for regularity, *SIAM J. Math Anal. [à paraître, 1991]*

[A/acc.29] ROUX A., PERRAUT S., ROBERT P., MORANE A., PEDERSEN A., KORTH A., KREMSER G., APARICIO B., RODGERS D., PELLINEN R., Plasmasheet instability related to the westward travelling surge, *J. Geophys. Res. [à paraître, 1991]*

[A/acc.30] SENIOR C., Solar and particle contributions to auroral height-integrated conductivities from EISCAT data : statistical study, *Ann. Geophysicae [à paraître, 1991]*

[A/acc.31] TAIEB C., Simulation of the polar cup thermal plasma and comparison with EISCAT measurements, *J. Atmos. Terr. Phys. [à paraître, 1991]*

[A/acc.32] TREUMANN R.A., LABELLE J., POTTELETTE R., Plasma diffusion at the magnetopause ? Lower hybrid waves, *J. Geophys. Rcs. [à paraître , 1991]*

[A/acc.33] ROUX A., PERRAUT S., ROBERT P., Plasmasheet instability related to the westward travelling surge, *J. Geophys. Res. [à paraître, 1991]*

[A/sou.01] AMAYENC P., MARZOUG M., TESTUD J., Analysis of cross-beam resolution effects in rainfall rate profile retrieval from a spaceborne radar, *IEEE Transactions for Geosciences and Remote Sensing [en révision, mai 1991]*

[A/sou.02] BEN MEHREZ M., TACONET 0., VIDAL-MADJAR D., WEILL A., Use of a one-dimensional boundary layer/vegetation/soil model during the night-time period on Beauce experiment : application to assimilation of infrared satellite data, *J. Appl. Meteo. [soumis, 1991]*

[A/sou.03] BOSQUED J.M., BERTHELIER A., ESCOUBET C.P., BERTHELIER J.J., A case study of the cusp electrodynamics by the AUREOL-3 satellite : evidence for FTE signatures ?, *Geophys. Res. Lett. [soumis, 1991]*

[A/sou.04] CLERGEOT H., TRESSENS S., Approximate maximum likelihood extension of music for correlated sources, *IEEE Trans. ASSP [soumis, 1989]*

[A/sou.05] DUHAMEL P., GUILLEMOT C., Polynomial transform computation of 2-D DCT algorithm, *IEEE Trans. Signal Processing [soumis, 1991]*

[A/sou.06] EYMARD L., BERNARD R., LOJOU J.Y., Validity of the SMMR geophysical parameters evaluated using the ECMWF forecast model analyses, *Remote Sensing of the Environment [soumis, 1990]*

[A/sou.07] FAMBITAKOYE 0., MENVIELLE M., MAZAUDIER C., Study of ionospheric electrodynamic process with magnetic observatory data : example of the ionospheric disturbance dynamo, *J. Atmos. Tcrr. Phys. [en cours de révision, 1991]*

[A/sou.08] HAUSER D., CAUDAL G., RIJCKENBERG G.J., VIDAL-MADJAR D., LAURENT G., LANCELIN P., RESSAC : A new airborne FM/CW radar ocean wave spectrometer, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing [soumis, 1991]*

[A/sou.09] HILGERS A., FERAUDY (de) H., LE QUEAU D., Measurement of the direction of the AKR electric field inside the sources, by the VIKING satellite, *J. Geophys. Res. [soumis, 1991]*

[A/sou.10] KRAFFT C., MATTHIEUSSENT G., THEVENET P., BELMONT G., Excitation of harmonics and half harmonics of the electron gyrofrequency in beam-plasma interactions, *J. Geophys. Res. [soumis, 1991]*

[A/sou.11] LAGOUTTE D., CERISIER J.C., VILLAIN J.P., PLAGNAUD J.L., FORGET R., High-latitude ionospheric turbulence studied by means of the wavelet transform, *J. Atmos. Terr. Phys. [soumis, décembre 1990]*

[A/sou.12] LE QUEAU D., ROUX A., RAUCH J.L., LEFEUVRE F., BOSQUED J.M., Heating and formation of H+ conics by resonant absorption in a multi-component plasma : 2.Theoretical model, *J. Geophys. Res. [soumis, 1991]*

[A/sou.13] LEMAITRE Y., SCIALOM G., Three-dimensional mesoscale circulation within a convective post-frontal system. Possible role of conditional symmetric instability for triggering convective motions, *Quart. J. Roy. Met. Soc. [en révision, mars 1991]*

[A/sou.14] LEMAITRE Y., SCIALOM G., Relevance of conditional symmetric instability and frontogenetic forcing to explain the banded organization of frontal precipitation observed on 9 January 88 during the FRONTS 87 experiment, *J. Atmos. Sci. [soumis, 1991]*

[A/sou.15] LOJOU J.Y., BERNARD R., EYMARD L., A simple method for validating brightness temperatures from satellite microwave radiometers, *J. Geophys. Res. [soumis, 1991]*

[A/sou.16] MARECAL V., HAUSER D., DUROURE C., Combined analysis of airborne microphysical measurements and radar observations near a cold frontal rainband observed during the Fronts 87 experiment, *Quart. J. Roy. Meteo. Soc. [soumis, avril 1991]*

[A/sou.17] MAYRARGUE S., An asymptotically unbiased estimate for the poles of a rational transfer function, *IEEE Trans. ASSP [à paraître, 1992 ou en révision, 1991]*

[A/sou.18] MAYRARGUE S., JOUVEAU J.P., A description of the central result of TAM (Toeplitz Approximation Method), leading to an improved TAM, *IEEE Trans. ASSP [soumis, 1990]*

[A/sou.19] MOTTEZ F., CHANTEUR G., ROUX A., Filamentation of the plasma in the auroral region by ion cyclotron waves : a process for the formation of bidimensionnal, *J. Geophys. Res. [soumis, 1991]*

[A/sou.20] MOUNIR H., CERISIER J.C., LAGOUTTE D., BERTHELIER A., BEGHIN C., The small scale turbulent structure of the high latitude ionosphere, *Ann. Geophysicae [soumis, 1991]*

[A/sou.21] PEDERSEN B.M., POTTELETTE R., ELIASSON L., MURPHREE J.S., BAHNSEN A.,ERLANDSON R.E., ELPHINSTONE R.D., High latitude terrestrial kilometric radiation sources, *Nature [soumis, 1990]*

[A/sou.22] POTTELETTE R., TREUMAN R.A., DUBOULOZ N., Generation of Auroral Kilometric Radiation in upper hybrid wave-lower-hybrid soliton interaction, *J. Geophys. Res. [soumis, avril 1991]*

[A/sou.23] RALPH M., MAZAUDIER C., CROCHET M., VENKATESWARAN S.V., Sodar and clear air Doppler radar observations of the meso and microscale structure of a cold front and associated gravity wave activity, *Mon. Wea. Rev. [soumis, 1991]*

[A/sou.24] RAUCH J.L., LEFEUVRE F., LEQUEAU D., ROUX A., BOSQUED J.M., Heating and formation of H+ conics by resonant absorption in a multi-component plasma : 1.Experimental evidences, *J. Geophys. Res. [soumis, 1991]*

[A/sou.25] RIJCKENBERG G.J., BERNARD R., Radar measurement of directional ocean wave spectra at low incidence angle, *Intern. J. Remote Sensing [soumis, 1990]*

[A/sou.26] RIOUL 0., DUHAMEL P., Fast algorithms for discrete and continuous wavelet transforms, *IEEE Trans. on Information Theory [soumis, 1991]*

[A/sou.27] RIOUL 0., VETTERLI M., Wavelet transforms in signal processing, *IEEE ASSP (Signal Processing Magazine) [soumis, 1991]*

[A/sou.28] STONE R.G., BOUGERET J.L., CALDWELL J., CANU P., CONCHY (de) Y., CORNILLEAU-WEHRLIN N., DESCH M.D., VILLEDARY (de) C., FENBERG J., GOETZ K., GOLDSTEIN M.L., HARVEY C.C., HOANG S., HOWARD R., KAISER M.L., KELLOGG P.J., KLEIN B., KNOLL R., LE CACHEUX A., LENGYEL-FREY D., MACDOWALL R.J., MANNING R., MEETRE C.A., MEYER A., MONGE N., MONSON S., NICOL G., REINER M.L.,STEINBERG J.L., TORRES E., WOUTERS F., ZARKA P., The unified radio and plasma wave investigation, *Astron. Astrophys. [soumis, 1991]*

[A/sou.29] TAIEB C., WU J., Comparative study of ions escape at high latitude with simulation and EISCAT observations, *Ann. Geophysicae [soumis, novembre 1990]*

[A/sou.30] TESTUD J., AMAYENC P., MARZOUG M., Rainfall rate retrieval from spaceborne radar : comparison between single frequency, dualfrequency and dual-beam techniques, *J. Atmos. Oceanic Technol. [soumis, mai 1991]*

[A/sou.31] ZHANG H.M., DUHAMEL P., An Unbiased split-burg lattice algorithm, *IEEE Trans. ASSP [soumis, 1990]*

[A/sou.32] ZHANG H.M., DUHAMEL P., On the methods for solving Yule-Walker equations, *IEEE Trans. ASSP [soumis, 1990]*

# *B - THESES*
# *PAPIERS DE REVUES INVITES*
# *PUBLIES DANS DES COLLOQUES INTERNATIONAUX*

[B/89.01] CIARLETTI V., Etude des phénomènes météorologiques qui donnent lieu à des situations de trajets multiples, *Thèse de l'Université Paris 6, 16 juin 1989*

[B/89.02] GHAHREMANI T., Modélisation d'un canal de transmission en diversité d'espace pendant les périodes de trajets multiples, *Thèse de l'Université Paris 7, 11 octobre 1989*

[B/89.03] HAUSER D., Etude des caractéristiques microphysiques et thermodynamiques des systèmes précipitants à partir d'observations par radars météorologiques Doppler, *Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris 6, 25 avril 1989*

[B/89.04] LOUARN P., Etude des émissions radioélectriques non thermiques des objets magnétisés, *Thèse de l'Université Paris 7, 22 mars 1989*

[B/89.05] MARZOUG M., Etude d'un radar spatial pour la mesure des précipitations : application au projet BEST, *Thèse de l'Université Paris 7, 5 septembre 1989*

[B/89.06] MOU Z.J., Filtrage RIF rapide : algorithmes et architectures, *Thèse de l'Université Paris-Sud, Orsay, 22 septembre 1989*

[B/89.07] MOUNIR H., Turbulence électrostatique dans l'ionosphère à haute latitude, *Thèse de l'Université Paris 6, 29 juin 1989*

[B/89.08] NASR J.M., Simulation d'images de cibles géométriques simples vues par radar à ouverture synthétique embarqué sur satellite, *Thèse de l'Université Paris 7, 2 février 1989*

[B/89.09] ROUX A., CHANTEUR G., FERAUDY (de) H., LE QUEAU D., LOUARN P., Electron parallel acceleration and coherent radiation in the high altitude auroral region, *in Proceedings of the International Workshop on 'Nonlinear Phenomena in Vlasov Plasmas, DOVEIL F. Ed., pp. 355-372, Editions de Physique, Orsay, 1989,* (Cargèse, France, 11-16 juillet, 1988 - Exposé de synthèse sur invitation)

[B/89.10] SOLOMON J., CORNILLEAU-WEHRLIN N., KORTH A., KREMSER G, Generation of ELF electromagnetic waves and diffusion of energetic electrons in steady and nonsteady state situations in the earth's magnetosphere, *in Proceedings of the Chapman Conference on 'Plasma Waves and Instabilities at Comets and in Magnetospheres', TSURUTANI B.T. & H. OYA Eds., pp. 119-133, Geophysical Monograph 53, A.G.U., 1989,* (Sendai/Mt Zao, Japon, 12-16 octobre, 1987 - Exposé de synthèse sur invitation)

[B/89.11] SUN J., Etudes cinématiques et thermodynamiques des parties stratiformes de lignes de grains observées pendant COPT 81, *Thèse de l'Université Paris 7, 4 juillet 1989*

[B/89.12] WEILL A., Indirect measurements of fluxes using Doppler sodar, *Actes de l'Ecole d'Automne Hapex on 'Measurement and Parameterization of Continental, Evaporation Fluxes', 15 pp., 1989,* (Banyuls, France, 10-21 octobre, 1988 - Exposé de synthèse sur invitation)

[B/89.13] ZHANG H.M., Algorithmes rapides et matrice Toeplitz, *Thèse de Docteur de l'Ecole Nationale Supérieure des Télecommunications, Paris, 12 septembre 1989*

[B/89.14] ZHONG M., Estimation des flux de couche limite en présence de petits nuages de beau temps au cours de l'expérience 'Mesogers 84', *Thèse de l'Université Paris 6, 19 décembre 1989*

[B/90.01] BEN MEHREZ M., Etalonnage et validation d'un modèle de flux de surface dans le cas de l'expérience HAPEX-MOBILHY. Application à l'estimation de la résistance d'un couvert, *Thèse de l'Université Paris 7, 29 juin 1990*

[B/90.02] EYMARD L., Observations par radars météorologiques, *Actes des Journées sur La Turbulence en Altitude, COANTIC M. Ed., pp. 81-88, IMST, 1990,* Marseille, France, 13-14 juin, 1989 - Exposé de synthèse sur invitation

[B/90.03] GIRARDIN J., Etude de faisabilité et définition des caractéristiques du schéma d'impulsion et du système de traitement de signal pour un radar Doppler météorologique aéroporté, *Thèse de l'Université Paris 7, 25 juin 1990*

[B/90.04] JUNG C., Etude et correction de l'influence du relief sur la radiométrie d'une image de radar à ouverture synthétique par simulation de la réponse radar à partir d'un modèle numérique de terre, *Thèse de l'Université Paris 7, 28 juin 1990*

[B/90.05] LI Y., Etude du comportement dynamique du canal hertzien pendant les periodes de trajets multiples, *Thèse de Doctorat de l'Université Paris 6, 14 septembre 1990*

[B/90.06] LOJOU J.Y., Algorithmie et méthodes de validation des instruments en radiométrie hyperfréquence, *Thèse de l'Université Paris 7, 6 avril 1990*

[B/90.07] TOUZIN F., Etude des émissions naturelles observées au voisinage des chocs interplanétaires dans le vent solaire, *Thèse de l'Université Paris 6, 16 novembre 1990*

[B/90.08] WEILL A., Mesoscale studies, *in Proceedings of the Fifth International Symposium on 'Acoustic Remote Sensing of the Atmosphere and Oceans', SINGAL S.P. Ed., pp. 259-271, Tata McGraw-Hill Publ. Co. Ltd, 1990,* (New Delhi, Inde, 06-09 février, 1990 - Exposé de synthèse sur invitation)

[B/90.09] WU Jian, Etude du développement des ions à haute altitude à l'aide d'observations du radar EISCAT-VHF et d'un code de simulation, *Thèse de l'Université 6, octobre 1990*

[B/91.01] BENESTY J., Algorithmes du type gradient à complexité de calcul réduite et à capacité de poursuite et vitesse de convergence accrues. Application à l'annulation d'écho acoustique, *Thèse de l'Université Paris XI, Orsay, 17 avril 1991*

[B/91.02] DUBOULOZ N., Structures d'accélération et turbulence dans la fente polaire, *Thèse de l'Université Paris 7, 6 mai 1991*

[B/91.03] MALLET C., Radiométrie multifréquence en ondes millimétriques. Application au programme Olympus, *Thèse de l'Université Paris 7, 23 janvier 1991,*

[B/91.04] MOTTEZ F., Effets non linéaires d'une instabilité cyclotronique ionique: striation du plasma et émergence de structures d'accélération, *Thèse de l'Université Paris XI, Orsay, 5 juin 1991*

[B/91.05] WEILL A., Indirect measurements of fluxes using Doppler sodar, *Actes de l'Ecole d'Automne Hapex on 'Measurement and Parameterization of Continental Evaporation Fluxes' in 'Land Surface Evaporation', SCHMUGGE TJ & JC ANDRE Eds. pp. 301-311, Springer-Verlag, 1991* (Banyuls, France, 10-21 octobre, 1988 - Exposé de synthèse sur invitation)

## *C - PRESENTATIONS DANS DES CONGRES PUBLIES PUBLICATIONS DIVERSES*


[C/89.01] AMAYENC P., MARZOUG M., TESTUD J., Non uniform beam filling effects in the measurements of rainfall rate from a spaceborne radar, *in Proceedings of the 24th Conference on 'Radar Meteorology', pp 569-572, A.M.S., 1989,* (Tallahassee, Fl, U.S.A., 27-31 mars, 1989)

[C/89.02] BELMONT G., CHANTEUR G., Kelvin-Helmholtz instability : Non-linear evolution, *in Proceedings of the International Workshop on 'Turbulence on Nonlinear Dynamics in MHD Flows', pp 69-75, 1989,* (Cargèse, France, 04-08 juillet, 1988)

[C/89.03] BERTHELIER A., CERISIER J.C., BERTHELIER J.J., BOSQUED J.M., KOVRAZHKIN R.A., The electrodynamic signature of short scale field aligned current and associated turbulence in the cusp and dayside auroral zone, *in 'Electromagnetic Coupling in the Polar Clefts and Caps', EGELAND A. & E. SANDHOLT Eds, pp, Kluwer Academic Publishers, 1989* (NATO Adv. Res. Workshop, Lillehammer, Norvège, septembre 1988)

[C/89.04] BESSEMOULIN P., PETITDIDIER M., PIRCHER V., ROUX F., URBAN B., Mesoscale structure of the cold front on 12-13 January 1988 during MFDP/FRONTS 87 experiment, *in Proceedings of the 24th Conference on 'Radar Meteorology', pp 451-454, 1989,* (Tallahassee, Fl, U.S.A., 27-31 mars, 1989)

[C/89.05] BIC J.C., MARCEL V., PERON F., ROUSSEAU A., MVR 20 : Un nouveau système de distribution de voies radiophoniques par l'intermédiaire du satellite Telecom I, *in Proceedings of the International Conference on 'Digital Satellite Communications 8', pp 407-413, 1989,* (Pointe à Pitre, Guadeloupe, 24-28 avril, 1989)

[C/89.06] CHANTEUR G., PORTENEUVE E., Vectorization and parallelization of a simulation code for magnetofluid dynamics, *in 'High Performance Computing', DELHAYE J.L. & E. GELENBE Eds, pp 311-326, Elsevier Science Publ., 1989,* (Montpellier, France, 22-24 mars, 1989)

[C/89.07] DELAHAYE J.Y., LAVERGNAT J., MALLET C., Beacon calibration by means of two-frequency radiometer, *in Proceedings of the UR SL Symposium [Commission F], pp. 661-665, 1989,* (La Londe-les-Maures, France, 11-15 septembre, 1989)

[C/89.08] DUHAMEL P., MOU Z.J., Algorithmes de filtrage de petite longueur et leur utilisation en filtrage non-récursif rapide, *Actes du 12ème Colloque GRETSI sur 'Le Traitement du Signal et des Images', Volume 1, pp 107-110, 1989,* (Juan les Pins, France, 12-15 juin, 1989)

[C/89.09] DUHAMEL P., MOU Z.J., BENESTY J., Une présentation unifiée du filtrage rapide fournissant tous les intermédiaires entre traitements temporels et fréquentiels, *Actes du 12ème Colloque GRETSI sur 'Le Traitement du Signal et des Images', Volume 1, pp 37-40, 1989,* (Juan les Pins, France, 12-15 juin, 1989)

[C/89.10] FONTAINE D., EISCAT experiments of elevation scan (CP-3) : examples of investigations of the auroral electrodynamics, *in Proceedings of the EISCAT Summer School, LA HOZ C. & A. BREKKE Eds., pp. 31-49, 1989,* (Kiruna, Suède, septembre 1989)

[C/89.11] GENDRIN R., How does magnetospheric plasma escape thermalization, *in 'Physics of Space Plasmas (1988)', CHANG I. , G.B. CREW & J.R. JASPERSE Eds., pp. 457-480, Scientific Pub. Inc., 1989,* (Tel-Aviv, Israël, Assemblée Générale de l'U.R.S.I., 24 août - 02 septembre, 1987) (Cambridge U.S.A., Symposium du M.I.T., 25-26 janvier, 1988)

[C/89.12] GONDEAU J., BAUDIN F., TESTUD J., Comparison of various pulse coding techniques for an airborne meteorological Doppler radar, *in Proceedings of the 24th Conference on 'Radar Meteorology', pp. 577-580, A.M.S., 1989,* (Tallahassee, Fl, U.S.A., 27-31 mars, 1989)

[C/89.13] GUILLEMOT Ch., DUHAMEL P., A new transform for image coding with reduced arithmetic complexity and same performance as DCT, *in Proceedings of the Third International Conference on 'Image Processing and its Applications', pp. 576-580, 1989,* (Warwick, G.B., 18-20 juillet, 1989)

[C/89.14] HANUISE C., GREENWALD R.A., BAKER K.B., RUOHONIEMI J.M., CERISIER J.C., SENIOR, Small-scale irregularities and global plasma dynamics in the high-latitude ionosphere, *in AGARD/NATO Conference Proceedings No. 441 on 'Ionospheric Structure and Variability on a Global Scale and Interactions with Atmosphere and Magnetosphere', 'Electromagnetic Wave Propagation Panel Symposium', pp. 35.1-35.14, avril 1989,* (Munich, R.F.A., 16-20 mai, 1988)

[C/89.15] LEMBEGE B., Introduction of tutorial courses, *in Proceedings of the Third International School for Space Simulation, pp. 9-15, C.R.P.E., Cepadues-Editions, 1989,* (La Londe les Maures, 15-20 juin, 1987)

[C/89.16] LEVY A., Combined effects of fast and selective fading on performance of PSK and MSK with coherent detection, *in Proceedings of the 43rd Panel Meeting/Symposium of the Electromagnetic Wave Propagation Panel on 'Propagation Effects and Circuit Performance of Modern Military Radio Systems with Particular Emphasis on those Employing Bandspreading' A.G.A.R.D., CPP 442, pp. 30.1-30.7, 1989,* (Arcueil, France, 17-21 octobre, 1988)

[C/89.17] LEVY A.J., ROSSI J.P., MARTIN J., The wideband urban mobile 900 MHz channel : A case study, *in Proceedings of the U.R.S.L Symposium [Commission F] , pp. 5.4.1-5.4.5, 1989,* (La Londe-les-Maures, France, 11-15 septembre, 1989)

[C/89.18] LI Y.K., SYLVAIN M., An application of AR model in analysis of multipath dynamic behaviour, *in Proceedings of the U.R.S.L Symposium [Commission F], pp. 3.6.1-3.6.5, 1989,* (La Londe-les-Maures, France, 11-15 septembre, 1989)

[C/89.19] LI Y., GOLE P., SYLVAIN M., Dispersion linéaire d'amplitude sur une liaison hyperfréquence, *in Proceedings of the 43rd Panel Meeting/Symposium of the Electromagnetic Wave Propagation Panel on 'Propagation Effects and Circuit Performance of Modern Military Radio Systems with Particular Emphasis on those Employing Bandspreading', A.G.A.R.D., CPP 442, pp. 13.1-13.11, 1989,* (Arcueil, France, 17-21 octobre, 1988

[C/89.20] LOUARN P., LE QUEAU D., ROUX A., Linear and non linear study of a possible mechanism for the generation of stellar radio-bursts : The synchrotron maser instability, *in Proceedings of the IAU Colloquium, N° 104, on 'Solar and Stellar Fares', HAISCH B.M. & M. RODONO Eds., pp. 329-332, 1989,* (Stanford University, California, U.S.A., 15-19 août, 1988)

[C/89.21] MARZOUG M., AMAYENC P., TESTUD J., KAROUCHE N., Conceptual design of the spaceborne rain radar of the BEST project, *in Proceedings of the 24th Conference on 'Radar Meteorology, pp. 597-600, A.M.S., 1989,* (Tallahassee, Fl, U.S.A., 27-31 mars, 1989)

[C/89.22] MAYRARGUE S., Estimation spectrale 2-D, *Actes du 12ème Colloque GRETSI sur 'Le Traitement du Signal et des Images', Volume I, pp. 237-240, 1989, (*Juan les Pins, France, 12-15 juin, 1989)

[C/89.23] MAZAUDIER C., On the Saint-Santin results (1966-1987), *in Proceedings of the Workshop WITS, FELDSTEIN A. Ed., pp. 84-105, Academy of Science of USSR, 1989*

[C/89.24] MENVIELLE M., BERTHELIER A. Eds., Geomagnetic data 1983 ; IAGA indices : aa, Am, Kp, Dst, AE, *IAGA Bulletin, N° 32 n, IUGG Publ.Off., Paris 1989*

[C/89.25] OTTLE C., VIDAL-MADJAR D., Hydrological modeling of Hapex region using satellite observations, *in Proceedings of the Conference on 'Climate and Water', pp. 272-281, The Publications of the Academy of Finland, 1989,* (Helsinki, Finlande, 11 - 15 septembre, 1989)

[C/89.26] PETITDIDIER M., What frequencies for an operational Stratospheric Tropospheric Radar, *in Proceedings of the First European Wind Profiler Workshop, COST 74, pp. E13-E20, 1989,* (Versailles, France, 06-08 mars, 1989)

[C/89.27] PETITDIDIER M., KLAUS V., BAUDIN F., BOURDIER C., CROCHET M., DESAUTEZ A., GUERIN C., NEY R., PENAZZI G., QUINTY P., The INSU/METEO bifrequency radar, *in MAP Handbook [4th M.S.T. Radar Workshop' Vol. 28, LIU C.H. & BELVA EDWARDS Eds., pp. 511-514, août 1989,* (Kyoto, Japon, 24 novembre - 02 décembre, 1988)

[C/89.28] ROUX A., Plasma turbulence resulting from the interaction between the solar wind and the earth magnetic field, *in Proceedings of the International & Workshop on 'Turbulence on Nonlinear Dynamics in MHD Flows', pp. 55-68, 1989,* (Cargèse, France, 04-08 juillet, 1988)

[C/89.29] ROUX F., HAUSER D., Kinematics, thermodynamics and microphysics of a narrow cold frontal rainband, *in Proceedings of the 24th Conference on 'Radar Meteorology', pp. 494-497, A.M.S., 1989, (*Tallahassee, Fl, U.S.A., 27-31 mars, 1989

[C/89.30] SUCKSDORFF Y., OTTLE C., Determination of areal evapotranspiration from satellite data using a temperature/surface fluxes inversion model, *in Proceedings of the Conference on 'Climate and Water', pp. 167-177, The Publications of the Academy of Finland, 1989,* (Helsinki, Finlande, 11-15 septembre, 1989)

[C/89.31] SUN J., ROUX F., Thermodynamics of a COPT 81 squall line retrieved from single Doppler radar data, *in Proceedings of the 24th Conference on 'Radar Meteorology', pp. 50-53, A.M.S., 1989,* (Tallahassee, Fl, U.S.A., 27-31 mars, 1989)

[C/89.32] TACONET 0., VIDAL-MADJAR D., Remote sensing measurements of relevant parameters, *in Proceedings of the Workshop on 'Parametrization of Fluxes over Land Surface', pp. 371-392, Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme, 1989* (Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme, Reading, G.B., 24-26 octobre, 1988)

[C/89.33] TESTUD J., AMAYENC P., MARZOUG M., Stereoradar meteorology - A promising technique to observe precipitation from a mobile platform, *in Proceedings of the 24th Conference on 'Radar Meteorology', pp. 630-633, A.M.S., 1989* (Tallahassee, Fl, U.S.A., 27-31 mars, 1989)

[C/89.34] VETTERLI M., DUHAMEL P., GUILLEMOT Ch., Trade-off's in the computation of mono- and multi-dimensional DCT's, *in Proceedings of ICASSP'89, Volume 2, pp. 999-1002, IEEE, 1989,* (Glasgow, G.B., 23-26 mai, 1989)

[C/89.35] ZHANG H.M., DUHAMEL P., Doubling Levinson/Schur Algorithm and its implementation, *in Proceedings of ICASSP'89, Volume 2, pp. 1115-1118, IEEE, 1989,* (Glasgow, G.B., 23-26 mai, 1989)

[C/90.01] AMAYENC P., MARZOUG M. TESTUD J., Analysis of cross-beam resolution effects in rainfall rate profile retrieval from a spaceborne radar, *in Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium [IGARSS'90'], pp. 433-436, 1990,* (College Park, Md., U.S.A., 20-24 mai, 1990)

[C/90.02] BENESTY J., DUHAMEL P., A fast constant modulus adaptive algorithm, *in Proceedings of the EUSIPCO 1990, Volume 1, pp. 241-244, Elsevier, 1990,* (Barcelone, Espagne, 18-21 septembre, 1990)

[C/90.03] BENESTY J., DUHAMEL P. A fast exact least mean square adaptive algorithm, *in Proceedings of the ICASSP'90, Volume 3, pp. 1457-1460, IEEE, 1990,* (Albuquerque, New Mexico, U.S.A., 03-06 avril, 1990)

[C/90.04] BERNARD R., Microwave atmospheric sounding (Water, vapour and liquid water), *Actes de NATO Summer School on 'Microwave Remote Sensing for Oceanographic and Marine, Weather Forecast Models', VAUGHAN R.A. Ed., pp. 191-216, NATO-ASI 298, Kluwer Acad. Publ., 1990,* (Dundee, G.B., août 1988)

[C/90.05] BERNARD R. Modélisation des mesures de surface de l'océan en télédétection, *Actes de l'Ecole d'Eté de Télédétection Spatiale : 'Aspects Physiques et Modélisation', C.N.E.S., pp. 567-604, Cepadues-Editions, 1990,* (Toulouse, France, 17 août - 03 septembre, 1988)

[C/90.06] CAND M., DUHAMEL P., MOU Z.J., Fast CMOS FIR filter, *in Proceedings of Euro-Asie 90, 1990,* (Paris, France, 29-31 mai, 1990)

[C/90.07] CARBONE R., FOOTE B., MONCRIEFF M., GAL-CHEN T., COTTON W., HJELMELT M., ROUX F., HEYMSFIELD G., BRANDES W., Panel report on convective dynamites, *in 'Radar in Meteorology', ATLAS D. Ed., pp. 391-400, A.M.S., Boston, 1990*

[C/90.08] CHANTEUR G., BELMONT G., Non-linear developments of the Kelvin-Helmholtz instability : Contraints on multipoint measurements, *in Proceedings of the International Workshop on 'Space Plasma Physics Investigations by CLUSTER and REGATTA', ESA Special Publication 306, pp. 91-94, 1990,* (Graz, Autriche, 20-22 février, 1990)

[C/90.09] CLERGEOT H., TRESSENS S., Comparison of two fast efficient algorithms for high resolution sources tracking, time recursive implementation, *in Proceedings of the ICASSP'90, pp. 2963-2966, 1990,* (Albuquerque, New Mexico, U.S.A., 03-06 avril, 1990)

[C/90.10] DECHAMBRE M., TACONET O., BERNARD R, VIDAL-MADJAR D., GAL S., NORMAND M., PREVOT L., First results of the ERASME radar observations during the AGRISCATT'88 campaign, *in Proceedings of the EARSel Symposium, pp. , 1990*

[C/90.11] DUHAMEL P., GUILLEMOT Ch., Polynomial transform computation of the 2-D DCT, *in Proceedings of the ICASSP'90, Volume 3, pp. 1515-1519, IEEE, 1990,* (Albuquerque, New Mexico, U.S.A., 03-06 avril, 1990)

[C/90.12] DUHAMEL P., GUILLEMOT Ch., CARLACH J.C., A DCT chip based on a new structured and computationally efficient DCT algorithm, *in Proceedings of the ISCAS 90, Volume 1, pp. 77-80, IEEE, 1990,* (New Orleans, U.S.A., avril 1990)

[C/90.13] EYMARD L., Mesures comparées des flux sur les océans, les terres émergées et les glaces, *Actes de l'Ecole d'Eté de Télédétection Spatiale : 'Aspects Physiques de Modélisation', C.N.E.S., pp. 1001-1031, Cepadues-Editions, 1990,* (Toulouse, France, 17 août - 03 septembre, 1988)

[C/90.14] EYMARD L., Etude des échanges d'énergie à la surface océanique, à partir d'observations spatiales, *Actes du 2ème Colloque 'Espace et Mer' de l'AAAF, ESA SP-312, pp. 241-246, décembre 1990*

[C/90.15] FILIBERTI M.A., EYMARD L., Assimilation de données de radiométrie hyperfréquence satellitaire dans un modèle de prévision météorologique, *Actes de l'Atelier de Modélisation de l'Atmosphère 'La Mésoéchelle et les Fronts' de la DMM, pp. 147-150, 1990,* (Toulouse, France, 27-28 novembre, 1990

[C/90.16] FLANDRIN P., RIOUL 0., Affine smoothing of the Wigner-Ville distribution, *in Proceedings of the ICASSP'90, pp. 2455-2458, 1990,* (Albuquerque, New Mexico, U.S.A., 03-06 avril, 1990)

[C/90.17] GIRARDIN J., BAUDIN F., TESTUD J., Rapid scan Doppler weather radar measurements, *in Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium [IGARSS 90], pp. 733-736, 1990,* (College Park, Md., U.S.A., 20-24 mai, 1990)

[C/90.18] HAUSER D., Intérêt du système RESSAC pour l'étude à l'interface océan-atmosphère à moyenne échelle, *Actes de l'Atelier 'Echanges Océan-Atmosphère à Moyenne Echelle', pp. 65-70, 1990,* (Meudon, France, juin 1990)

[C/90.19] LAGOUVARDOS C., LEMAITRE Y., SCIALOM G., Circulations agéostrophiques de moyenne échelle observées lors de l'expérience Fronts 87 : Interprétation, *Actes de l'Atelier de Modélisation 1990 de l'Atmosphère 'La Mésoéchelle Libre et les Fronts', pp. 37-45, 1990,* (Toulouse, France, 27-28 novembre, 1990)

[C/90.20] LAVERGNAT J., Caractérisation des émissions naturelles ou artificielles, *Actes de l'Ecole d'Eté de Télédetection Spatiale : 'Aspects Physiques et Modélisation', C.N.E.S., pp. 165-186, Cepadues-Editions, 1990,* (Toulouse, France, 17 août - 03 septembre, 1988)

[C/90.21] LE QUEAU D., La physique des plasmas spatiaux : perspectives à moyen et à long terme, *Actes du Colloque de Perspective du C.N.E.S., pp. 135-150, 1990,* (Cap d'Agde, France, 20-22 septembre, 1989)

[C/90.22] LEGRAND J.P., LE GOFF M., MAZAUDIER C., Is there a relationship between the Maunder minimum and the climatic changes observed during the XVIIth century, *in 'Advances in Geosciences' [Interdivisional Commission of History of LA.G.A.] ,SCHRODER W. Ed., pp. 15-27, 1990,* (Exeter, G.B., 24-04 août, 1989)

[C/90.23] LEVY A.J., ROSSI J.P., BARBOT J.P., MARTIN J., An improved channel sounding technique applied to wideband mobile 900 MHz propagation measurements, *in Proceedings of the 40th Vehicular Technology Conference, pp. 513-518, IEEE, 1990,* (Orlando, Fl, U.S.A., 07-10 mai, 1990)

[C/90.24] MARECAL V., HAUSER D., Intérêt des méthodes de restitution microphysique pour l'étude des situations frontales, *Actes de l'Atelier de Modélisation 1990 de l'Atmosphère 'La Mésoéchelle Libre et les Fronts', pp. 7-12, 1990,* (Toulouse, France, 27-28 novembre, 1990)

[C/90.25] MARZOUG M., AMAYENC P., Improved range profiling algorithms of rainfall rate from a spaceborne radar with path-integrated attenuation constraint, *in Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium [IGARSS'90], pp. 2463-2466, 1990,* (College Park, Md., U.S.A., 20-24 mai, 1990)

[C/90.26] MAYRARGUE S., A 2-steps spectral analysis method involving TAM and a simplified MUSIC method, *in Proceedings of the EUSIPCO 1990, VoL 1, pp. 345-348, Elsevier, 1990,* (Barcelone, Espagne, 18-21 septembre, 1990)

[C/90.27] MAZAUDIER C., TAGETT B., WEILL A., Recent studies on the forested boundary layer, using two Doppler sodars, *in Proceedings of the Fifth International Symposium on 'Acoustic Remote Sensing of the Atmosphere and Oceans', SINGAL S.P. Ed., pp. 357-362, Tata McGraw-Hill Publ. Co. Ltd, 1990,* (New Delhi, Inde, 06-09 février, 1990)

[C/90.28] MENVIELLE M., BERTHELIER A. Eds., Geomagnetic data, 1984 ; IAGA indices : aa, Am, Kp, Dst, AE , *IAGA Bulletin, N° 32 o, IUGG Publ. Off., Paris, 1990*

[C/90.29] MENVIELLE M., BERTHELIER A. Eds., Geomagnetic data, 1984 ; IAGA indices : aa, Am, Kp, Dst, AE ; Rapid variations , *IAGA Bulletin, N° 32 p, IUGG Publ. Off., Saint-Maur, France, 1990*

[C/90.30] MOU Z.J., DUHAMEL P., BENESTY J., Fast complex FIR filtering algorithms with applications to real FIR and complex LMS filters, *in Proceedings of the EUSIPCO 1990, Volume 1, pp. 549-552, Elsevier, 1990,* (Barcelone, Espagne, 18-21 septembre, 1990)

[C/90.31] NORMAND N., GALLE S., DECHAMBRE M., TACONET O., VIDAL-MADJAR D., PREVOT L., Applicability of the active microwaves remote sensing method in water ressources : the AGRISCATT'88 airborne campaign on the Orgeval watershed, *in Proceedings of the International Symposium on 'Remote Sensing and Water Ressources', pp.903-912, 1990,* (Enschede, NL, 20-24 août, 1990)

[C/90.32] REZEAU L., ROUX A., CORNILLEAU-WEHRLIN N., Multipoint study of small-scale structures at the magnetopause, *in Proceedings of the International Workshop on 'Space Plasma Physics Investigations by CLUSTER and REGATTA', ESA Special Publication 306, pp. 103-108, 1990,* (Graz, Autriche, 20-22 février, 1990)

[C/90.33] RIOUL 0., Structures and algorithms for the dimensional discrete wavelet transform, *in Proceedings of the 4th Digital Signal Processing [DSP] Workshop, pp. 3.3.1-3.3.2, 1990,* (Newpaltz, N.Y., U.S.A., 16-19 septembre, 1990)

[C/90.34] ROBERT P., ROUX A., Accuracy of the estimate of J via multipoint measurements, *in Proceedings of the International Workshop on 'Space Plasma Physics Investigations by CLUSTER and REGATTA', ESA Special Publication 306, pp. 29-35, 1990,* (Graz, Autriche, 20-22 février, 1990)

[C/90.35] ROSSI J.P., LEVY A.J., BIC J.C., A ray tracing method to study propagation in mobile urban environments, *in Proceedings of the 23th U.R.S.L General Assembly, p. 580, 1990,* (Prague, Tchécoslovaquie, 23 août - 05 septembre, 1990)

[C/90.36] ROUX A., LOUARN P., Nonthermal emissions from planets and stars, *Actes de la Semaine Scientifque Française, édités par le Centre Culturel Français, pp. 203-214,* 1990, (Helsinki, Finlande, 1989)

[C/90.37] SAND A., KLAPISZ C., PRIGENT C., Comparison of brightness temperatures from SSM/I and from a radiative transfer model in the presence of rain in a North Atlantic Cyclone, *in Proceedings of the Fifth Conference on 'Satellite Meteorology and Oceanography', pp. 253-256,* 1990, (A.M.S., Londres, GB, 3-7 septembre, 1990)

[C/90.38] TACONET 0., Complémentarité de l'infrarouge thermique et de l'hyperfréquence pour l'étude du bilan hydrique, *Actes de l'Ecole d'Eté de Télédétection Spatiale : 'Aspects Physiques et Modélisation', C.N.E.S., pp. 967-1000, Cepadues-Editions, 1990,* (Toulouse, France, 17 août - 03 septembre, 1988)

[C/90.39] VIDAL-MADJAR D., Diffusion d'une onde électromagnétique par une surface rugueuse aléatoire, *Actes de l'Ecole d'Eté de Telédétection Spatiale : 'Aspects Physiques et Modélisation', C.N.E.S., pp. 263-306, Cepadues-Editions, 1990,* (Toulouse, France, 17 août - 03 septembre, 1988)

[C/90.40] WEILL A., GOULAM F., Momentum fluxes measurements with Sodar and mini Sodar, *in Proceedings of the Fifth International Symposium on 'Acoustic Remote Sensing of the Atmosphere and Oceans', SINGAL S.P. Ed., pp. 161-166, Tata McGraw-Hill Publ Co. Ltd, 1990,* (New Delhi, Inde, 06-09 février, 1990)

[C/90.41] WEILL A., EYMARD L., BAUDIN F., BILBILLE J., FEVRE J.F., LAURENT G., The French acoustic programme of ocean - Atmospheric energy transfer study, *in Proceedings of the Fifth International Symposium on 'Acoustic Remote Sensing of the Atmospherc and Oceans', SINGAL S.P. Ed., pp. 294-299, Tata McGraw-Hill Publ Co. Ltd, 1990,* (New Delhi, Inde, 06-09 février, 1990)

[C/90.42] XIE Y., LAVERGNAT J., MON J.P., SYLVAIN M., 'Microwave Propagation', *Publishing House of Electronics Industry, Beijing, Chine, 1990*

[C/91.01] BERTHELIER J.J., La cavité ionosphérique et la surface de contact de la comète de Halley, *Actes du Séminaire GdR Plasmae 'Etude Comparative des Environnements Ionisés', pp. 101-lll,L.P.C.E., 1991,* (Ronce-les-Bains, France, 25-27 septembre, 1990)

[C/91.02] BLANCHETIERE-CIARLETTI V., SYLVAIN M., Physical interpretation of the effect of the antennas heights on multipath propagation occurence, *in Proceedings of the VIIth International Conference on 'Antennas and Propagation' ICAP 91, IEE CP-333, pp. 50-53, 1991,* (York, G.B., 15 - 18 avril, 1991)

[C/91.03] DUHAMEL P., MAHIEUX Y., PETIT J.P., A fast algorithm for the implementation of filter banks based on 'Time domain aliasing cancellation', *in Proceedings of ICASSP'91, pp. 2209-2212, IEEE, 1991,* (Toronto, Canada, 14-17 mai 1991]

[C/91.04] DUPUIS H., WEILL A., Modelling of omnidirectional response of an hydrophone in shallow water reflecting seabed, *in Proceedings I.A.O., NEAL G.W. Ed., Vol 13 (3), pp. 167-174, Institute of Acoustics, 1991*

[C/91.05] GOLE P., SYLVAIN M., BIC J.C., Estimating the selectivity of a radio channel from routine measurements on operational links, *in Proceedings of the VIIth International Conference on 'Antennas and Propagation' ICAP 91, IEE CP-333, pp. 661-664, 1991,* (York, G.B., 15-18 avril, 1991)

[C/91.06] LAVERGNAT J., GOLE P., PICARD A., Statistical behaviour of a simulated microwave multipath signal, *in Proceedings of the VIIth International Conference on 'Antennas and Propagation' ICAP 91, IEE CP-333, pp. 665-668, 1991,* (York, G.B., 15 - 18 avril, 1991)

[C/91.07] LEMBEGE B., Sources de dissipation résistive/visqueuse dans les chocs non-collisionnels : approches en simulation numérique [Exposé de synthèse sur invitation], *Actes du Séminaire GdR Plasmae 'Etude Comparative des Environnements Ionisés', pp. 147-164, L.P.C.E., 1991,* (Ronce-les-Bains, 25-27 septembre 1990)

[C/91.08] LEMBEGE B., LEBOEUF J.N., P. LIEWER, ASHOUR-ABDALLA M., Professor Dawson's pioneering work in computer simulations of space and astrophysical plasmas, *in 'From Fusion to High Surfing, Lectures on Plasma Physics honoring John M. DAWSON', KARSOULEAS Ed., Addison-Wesley PL Co., U.S.A,. 1991*

[C/91.09] LEMBEGE B., SAVOINI P., Resistive and non-resistive 2D quasi-perpendicular collisionless shocks [Exposé sur invitation], *in Proceedings of the 2nd Week Symposium ISSS-4, Part. 2, pp. 25-28, 1991,* (Kyoto, Nara, Japon, 25 mars - 06 avril 1991)

[C/91.10] LEMBEGE B., SIMONET F., GASQUE A.M., OELHOFFEN F., SAUSSEDE F., Effects of spatial gradients and of the presence of multi-species ions on the dynamics of release plasma in an ambient magnetized plasma, *in Proceedings of the 2nd Week Symposium, ISSS-4, Part. 2, pp. 179-181, 1991,* (Kyoto, Nara, Japon, 25 mars - 06 avril 1991 )

[C/91.11] LEMBEGE B., SOLOMON J., Parametric study of the electron-whistler interaction generated by an hot anisotropic electron population, *in Proceedings of the 2nd Week Symposium, ISSS-4, Part 2, pp. 182-185, 1991,* (Kyoto, Nara, Japon, 25 mars - 06 avril 1991)

[C/91.12] LE QUEAU D., Stabilité des queues magnétosphériques, *Actes du Séminaire GdR Plasmae 'Etude Comparative des Environnements Ionisés', pp. 17-24, L.P.C.E., 1991,* (Ronce-les-Bains, 25-27 septembre 1990)

[C/91.13] MAYRARGUE S., BLU T., Relationship between high-resolution methods and discrete Fourier transform, *in Proceedings of ICASSP'91, pp. 3321-3324, IEEE, 1991,* (Toronto, Canada, 14 - 17 mai, 1991)

[C/91.14] McGARRITY J.S., SORAGHAN J.J., DURRANI T.S., MAYRARGUE S., The ESPRIT and MUSIC algorithms using the covariance matrix, *in Proceedings of ICASSP'91, pp. 2385-2388, IEEE, 1991,* (Toronto, Canada, 14 - 17 mai, 1991)

[C/91.15] OELHOFFEN F., SAUSSEDE F., CHENET J., SIMONET F., GASQUE A.M., LEMBEGE B., Hawaï: a quasi-neutral multi-species hybrid code with post-processing animation, *in Proceedings of the 2nd Week Symposium ISSS-4, Part. 2, pp. 226-228, 1991,* (Kyoto, Nara, Japon, 25 mars - 06 avril 1991)

[C/91.16] OLIVIER P., Analytical formulation of the Doppler parameters for spaceborne SAR processing, *in Proceedings of IGARSS'91, pp., IEEE 1991,* (Espoo, Finlande, 03-06 juin, 1991)

[C/91.17] OTTLE C., VIDAL-MADJAR D., Introduction of a realistic soil/vegetation component in an hydrological model: Application to HAPEX-MOBILHY experiment, *In Land Surface Evaporation, Measurement and Parameterization, pp. 137-143, SCHMUGGE I.J. & J.C. ANDRE Eds., Springer Verlag, 1990*

[C/91.18] POTTELETTE R., Théorie non linéaire du rayonnement kilométrique terrestre, *Actes du Séminaire GdR Plasmae 'Etude Comparative des Environnements Ionisée', pp. 69-70, L.P.C.E., 1991,* (Ronce-les-Bains, France, 25-27 septembre, 1990)

[C/91.19] RIOUL 0., Fast Algorithms for the continuous wavelet transform, *in Proceedings of ICASSP'91, pp. 2213-2216, IEEE, 1991,* (Toronto, Canada, 14-17 mai, 1991)

[C/91.20] ROUX F., Les orages : météorologie des grains, de la grêle et des éclairs *Editions Payot, 345 p., Paris, 1991*

[C/91.21] ROUX F., MARKS F.D. Jr, Eyewall evolution in hurricane Hugo deduced from successive airborne Doppler observations, *in Proceedings of the 19th Conference on 'Hurricanes and Tropical Meteorology', pp. 538-543, A.M.S., 1991,* (Miami, FL, U.S.A., 06-10 mai, 1991)

[C/91.22] SAVOINI P., LEMBEGE B., Comparative study of electron dynamics in 1D and 2D oblique collisionless magnetosonic shocks, *in Proceedings of the 2nd Week Symposium ISSS-4, Part 2, pp. 268-271, 1991,* (Kyoto, Nara, Japon, 25 mars - 06 avril 1991)

[C/91.23] SOLOMON J., LEMBEGE B., Simulation of quasi-thermal electrostatic noise due to a mixed cold-hot electron populations, *in Proccedings of thc 2nd Week Symposium, ISSS-4, Part 2, pp. 277-279, 1991,* (Kyoto, Nara, Japon, 24 mars - 06 avril 1991)

[C/91.24] SYLVAIN M., LAVERGNAT, BIC J.C., A method to predict line-of sight link outages due to multipath conditions, *in Proceedings of the VIIth International Conference on 'Antennas and Propagation' ICAP 91, IEE CP333, pp. 804-807, 1991,* (York, G.B , 15 - 18 avril, 1991 )

[C/91.25] YOUSSEF A., MEYER A., DUCROCQ J.B., ROUX A., New technologies for integrating thermal control, and radiation protection in hybrid technology, *in Proceedings ESA Electronic Components Conference, ESA SP-313, pp. 243-245, ESTEC, March 1991* (Noordwijk, NL, 12-16 novembre, 1990)

[C/acc.01] BEAUFORT D., HAWKINS P.W., LEUENBERGER K., MEYER J., ORDANO L., RICHMAN G.D., SYLVAIN M., Certification of radio performance prediction models in ETSI, *in Proceedings of 3rd European Conference on 'Radio Relay System' [ECRR] [à paraître, 1991],* (Paris, France, décembre 1991)

[C/acc.02] BEN MEHREZ M., TACONET 0., VIDAL-MADJAR D., Etalonnage et validation d'un modèle de flux de surface dans le cas de l'expérience HAPEX-MOBILHY. Application à l'estimation de la résistance d'un couvert *in Proceedings of E.S.A., Vème Colloque International 'Mesures Physiques et Signatures en Télédétection' [à paraître, 1991],* (Courchevel, France, 14-18 janvier, 1991)

[C/acc.03] BENESTY J., DUHAMEL P., Algorithmes du type LMS à capacité de poursuite et vitesse de convergence accrues, *in Proceedings of GRETSI'91 [à paraître, 1991],* (Juan-les-Pins, France, 16-20 septembre, 1991)

[C/acc.04] BERTIN F., NEY R., DESAUTEZ A., CREMIEU A., Observation of the fine structure of vertical wind and turbulence in the troposphere and lower stratosphere using a UHF S.T. radar, *in Proceedings of the 25th Conference on 'Radar Meteorology A.M.S. [à paraître, 1991],* (Paris, France, 24-28 juin, 1990)

[C/acc.05] DOU X.K., SCIALOM G., LEMAITRE Y., Three-dimensional analytical mesoscale wind field retrieval from airborne Doppler radar data, *in Proceedings of the 25th Conference on 'Radar Meteorology', A.M.S. [à paraître, 1991],* (Paris, France, 24-28 juin, 1990)

[C/acc.06] DUHAMEL P., YVON G., FFT's of length N = 2n : Theory and implementation, *in Proceedings of IMSL User Group European Conference [à paraître, 1991],* (Paris, France, 17 - 19 avril, 1991 )

[C/acc.07] DUPUIS H., WEILL A., Is sea surface ambient noise correlated to wind turbulence ?, *in Proceedings of the Workshop on 'Physical Source of Underwater Sounder', Cambridge University Press, [à paraître, 1991]*

[C/acc.08] EYMARD L., FILIBERTI M.A., Comparison between frontal systems observed by SSM/I and analyzed by a mesoscale forecast model, *in Proceedings of the IAPSO Conference: Venice 1990 - Oceans from Space [à paraître, 1991]*, (Venise, Italie, 22-26 mai, 1990)

[C/acc.09] GAMACHE J.F., ROUX F., MARKS F.D. Jr, Comparison of three methods to deduce three-dimensional wind fields in a hurricane with airborne Doppler radar, *in Proceedings of the 25th Conference on 'Radar Meteorology', A.M.S. [à paraître, 1991]*, (Paris, France, 24-28 juin, 1991)

[C/acc.10] GASQUE A.M., OELHOFFEN F., LEMBEGE B., SIMONET F., SAUSSEDE F., Simulation of plasma releases in a magnetized plasma: application to laboratory experiments, *in Proceedings of the European Workshop on 'Colisionless Shocks', pp. 53-54, 1991*, (CNET/CRPE, Issy-les-Moulineaux, France, 11-13 mars, 1991)

[C/acc.11] HAUSER D., CAUDAL G., RIJCKENBERG G.J., Mesurements of ocean wave spectra with the Ressac airborne radar, *in Proceedings of the International Geoscience and Remote Scnsing Symposium [IGARSS'91], [à para;tre, 1991]* (Espoo, Finlande, 3-6 juin, 1991)

[C/acc.12] HILAL K., DUHAMEL P., Amélioration de la convergence de l'algorithme 'à module constant' pour la déconvolution aveugle, *in Proceedings of GRETSI'91 [à paraître, l991]*, (Juan-les-Pins, France, 16-20 septembre, 1991)

[C/acc.13] LAGOUVARDOS K., LEMAITRE Y., SCIALOM G., Mesoscale ageostrophic circulations observed during FRONTS 87 experiment. Interpretation, *in Proceedings of the Conference on 'Fronts and Orography' [à paraître, 1991]*, (Burghausen, R.F.A., 11-14 juin, 1991)

[C/acc.14] LAGOUVARDOS K., LEMAITRE Y., SCIALOM G., Three-dimensional mesoscale circulation within a wide cold frontal rainband deduced from dualDoppler radar data obtained during FRONTS 87 field experiment, *in Proceedings of the 25th Conference on 'Radar Meteorology', A.M.S. [à paraître, 1991]*, (Paris, France, 24-28 juin, 1990)

[C/acc.15] LAVERGNAT J., GOLE P., Computer simulation of the effect of AOA distribution on the statistical characteristics of a microwave hop, *in Proceedings of UWO IEEE/AP-S Symposium [à paraître, 1991]*, (London, Ontario, Canada, 24-28 juin, 1991)

[C/acc.16] LE QUEAU D., Cyclotron instabilities in space plasmas [Exposé de synthèse sur invitation] *in Proceedings of EPS8 - Eighth General Conference of the European Physical Society [à paraître, 1991]*, (Amsterdam, Pays-Bas, 04-08 septembre, 1990)

[C/acc.17] LOJOU J.Y., BERNARD R., EYMARD E., Algorithm development and validation for microwave radiometers, using numerical weather forecast model data, *in Proceedings of the IAPSO Conference : Venice 1990 - Oceans from Space [à paraître, 1991]*, (Venise, Italie, 22-26 mai 1990)

[C/acc.18] MALLET C., LAVERGNAT J., Zero level retrieval by means of a two-frequency radiometer, *in Proceedings ESEC, OPEX Workshop N° 1 [à paraître, 1991]*, (Noordwijk, Pays-Bas, 23 avril 1991)

[C/acc.19] MARECAL V., HAUSER D., Retrieval of thermodynamic and microphysical variables from dual-Doppler radar measurements in frontal rainbands, *in Proceedings of the 25th Conference on 'Radar Meteorology', A.M.S. [à paraître, 1991]*, (Paris, France, 24-28 juin, 1990)

[C/acc.20] MARZOUG M., AMAYENC P., Experimental tests of an improved single frequency algorithm for rain rate profiling using airborne radar data, *in Proceedings of the 25th Conference on 'Radar Meteorology', A.M.S. [à paraître, 1991]*, (Paris, France, 24-28 juin, 1991)

[C/acc.21] MASSEBEUF M., PETITDIDIER M., LAGOUVARDOS K., Ageostrophic frontal circulation deduced from a UHF/VHF radar and radiosoundings during FRONTS 87/MFDP experiment. Comparison with the Sawyer-Eliassen equation prediction, *in Proceedings of the 25th Conference on 'Radar Meteorology', A.M.S. [à paraître, 1991]*, (Paris, France, 24-28 juin, 1991)

[C/acc.22] MOUNIR H., BERTIN F., LEROUX C., SCIALOM G., Evaluation of clear-air radar Proust and Doppler radar Ronsard, *in Proceedings of the 25th Conference on 'Radar Meteorology', A.M.S. [à paraître, 1991]*, (Paris, France, 24-28 juin, 1991)

[C/acc.23] NIANGORAN C., PETITDIDIER M., RICHMOND A., Waves observed by means of a UHF/VHF S.T. radar on January the 12-13, 1988 during FRONTS 87/MFDP experiment, *in Proceedings of the 25th Conference on 'Radar Meteorology', A.M.S. [à paraître, 1991]*, (Paris, France, 24-28 juin, 1991)

[C/acc.24] NORMAND M., GALE S., BENALLEGUE M., DECHAMBRE M., TACONET 0., VIDALMADJAR D., PREVOT L., Télédétection en hyperfréquences actives et état hydrique superficiel du sol. La campagne aéroportée AGRISCATT'88 sur le besoin de l'Orgeval, *in Proceedings of ESA., Vème Colloque International 'Mesures Physiques et Signatures en Télédétection' [à paraître, 1991 ]*, (Courchevel, France, 14-18 janvier, 1991)

[C/acc.25] PREVOT L., DECHAMBRE M., TACONET 0., VIDAL-MADJAR D., NORMAND M., GALLE, Estimation de caractéristiques de couverts végétaux à l'aide d'un diffusiomètre hyperfréquence aéroporté *in Proceedings of ESA., Vème Colloque International 'Mesures Physiques et Signatures en Télédétection' [à paraître, 1991]*, (Courchevel, France, 14-18 janvier, 1991)

[C/acc.26] RALPH M., MAZAUDIER C., CROCHET M., VENKATESWARAN S.V., Combined clear-air radar and sodar observations of mesoscale and microscale structures in a cold front, *in Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, [à paraître, 1991]*, (Espoo, Finland, 03-06 juin, 1991)

[C/acc.27] RIOUL 0., DUHAMEL P., Transformées en ondelettes discrètes et continues: comparaison et algorithmes rapides, *in Proceedings of GRETSI'91 [à paraître 1991]*, (Juan-les-Pins, France, 16-20 septembre, 1991)

[C/acc.28] ROSSI J.P., LEVY A.J., BIC J.C., GABILLET Y., ROSSEN M., A ray launching method for radiomobile propagation in urban area, *in Proceedings of UWO IEEE/AP-S Symposium [à paraître, 1991]*, (London, Ontario, Canada, 24-28 juin, 1991)

[C/acc.29] ROUX F., MARKS F.D. Jr, GAMACHE J.F., Three-dimensional circulation in a hurricane from airborne Doppler radar data: extended velocity track display, *in Proceedings of the 25th Conference on 'Radar Meteorology', A.M.S. [à paraître, 1991]*, (Paris, France, 24-28 juin, 1991)

[C/acc.30] SAVOINI P., LEMBEGE B., A bounded 2D particle code; a problem of limits, *in Proccedings of thc European Workshop on 'Collisionless Shocks', pp. 75-76, 1991*, (CNET/CRPE, Issy-les-Moulineaux, France, 11-13 mars, 1991)

[C/acc.31] SAVOINI P., LEMBEGE B., Recent 2D simulations of quasi-perpendicular supercritical shocks, *in Proceedings of thc Europcan Workshop on 'Collisionkss Shocks', pp. 13-14, 1991*, (CNET/CRPE, Issy-les-Moulineaux, France, 11-13 mars, 1991)

[C/acc.32] SCIALOM G., LEMAITRE Y., Pressure and temperature perturbations analytical retrieval from dual Doppler radar data, *in Proccedings of the 25th Conference on 'Radar Meteorology', A.M.S. [à paraître, 1991]*, (Paris, France, 24-28 juin, 1991)

[C/acc.33] TESTUD J., AMAYENC P., MARZOUG M., The dual beam radar: a promising instrument to measure rain from space *in Proceedings of the 25th Confercnce on 'Radar Meteorology', A.M.S. [à paraître, 1991]*, (Paris, France, 24-28 juin, 1991)

[C/acc.34] TESTUD J., HILDEBRAND P., A technique to correct airborne Doppler data for coordinate transformation errors using surface clutter, *in Proceedings of the 25th Conferencc on 'Radar Meteorology' A.M.S. [à paraître, 1991]*, (Paris, France, 24-28 juin, 1991)

[C/acc.35] WEILL A., BAUDIN F., A shipborne minisodar and sodar, *in Proceedings of thc 7th Symposium on 'Instrumentatlon', A.M.S. [à paraître, 1991]*, (New Orleans, U.S.A., 1991)

[C/acc.36] DECREAU P.M.E., PERRAUT S., FERAUDY (de) H., MATSON L., RANDRIAMBOARISON O., Electron density and temperature in the cusp and polar cap regions. Contribution from the wave and particle experiments on Viking, *A.G.U. Monograph on 'Plasma Modelling', Second Huntsville Workshop on 'Magnetosphere-Ionosphere Plasma Models', [à paraître, 1991]* (University of Alabama in Hunstville, U.S.A., octobre, 1989)

[C/acc.37] YOUSSEF A., MASGRANGEAS M., MEYER A., New technology for integrating radiation spot shielding in hybrid technology, *in Proceedings on 'Radiations : Effects on Components and Systems' [RADECS 91], IEEE [ à paraître, 1991]* (Montpellier, France, 09-12 septembre, 1991)

[C/acc.38] KORTH A., PU Z.Y., KREMSER G., ROUX A., A statistical study of substorm onset conditions at geostationary orbit, *Actes de la Conférence Chapman 'Magnetospheric Substorms', POTEMRA T.A. Ed., AGU Book [à paraître, 1991]*, (Hakone, Japon, 03-07 septembre, 1990)

[C/acc.39] ROUX A., PERRAUT S., KORTH A., KREMSER G., PEDERSEN A., PELLINEN R., Role of the near Earth plasmasheet at substorms, *Actes de la Conférence Chapman 'Magnetospheric Substorms', POTEMRA T.A. Ed., AGU Book [à paraître, 1991]*, (Hakone, Japon, 03-07 septembre, 1990)

## *E - VULGARISATION*


[E/89.01] CHANTEUR G., BELMONT G., Kelvin-Helmholtz instability at the magnetopause of the earth, *Film Vidéo CCVR, [durée 7 mn], juillet 1989*

[E/89.02] FERAUDY (de) H., LE QUEAU D., LOUARN P., ROUX A., Le rayonnement kilométrique auroral terrestre et son observation par le satellite VIKING, *Bull. Sté Fse Phys., N° 72, 3-9, 1989*

[E/89.03] LEVY A., Les problèmes de la propagation radioélectrique pour les radiocommunications avec les mobiles, *Télécommunicant (Revue Technique des Elèves Ingénieurs de l'I.N.T.), N° 4, 94-98, 1989*

[E/89.04] ROUX A., Etude in situ de la plus proche des radiosources : la Terre, *Images de la Physique, 62-67, 1989*

[E/89.05] VIDAL-MADJAR D., BERNARD R., L'Observation de la terre par radar, *Echo Rech (L'), N° 136, 3-14, 1989*

[E/89.06] ALCAYDE D., BLANC M., FONTAINE D., MOLLER-PEDERSEN B., Night of auroras : the relationships Sun-Earth, *Produced by D. PEDERSEN, ALPHASCOPE, mai 1989*

[E/90.01] CHANTEUR G., Kelvin-Helmholtz instability at the magnetospheric boundary layer, *Film Vidéo CCVR, [durée 7 mn], mai 1990*

[E/91.01] GENDRIN R.,IAGA 6th Scientific Assembly: the Address of the President, *IUGG Chronicle, 204, 23-27, 1991*

[E/acc.01] BIC J.C., Codage et cryptographie ou comment protéger la transmission de l'information, *Courrier du CNRS (Le) [à paraître, 1991]*

[E/acc.02] CERISIER J.C., Analyse en ondelettes de la structure du plasma de l'ionosphère, *Courrier du CNRS (Le) [à paraître, 1991]*

[E/acc.03] LEGRAND J.P., LE GOFF M., MAZAUDIER C., SCHRODER W., L'activité solaire et l'activité aurorale au XVIIème siècle,*Vie des Sciences (La) [à paraître, 1991]*

# *F - RAPPORTS INTERNES*


[F/89.01] AMAYENC P., MARZOUG M., Etude analytique de la contamination des échos de pluie par les échos de surface via les lobes secondaires d'antenne dans le cas d'un radar spatial, *Document de Travail, DT/CRPE/1187, décembre 1989*

[F/89.02] BARBOT-CADURAL J.P., Mesure en réponse impulsionnelle du canal radiomobile urbain : amélioration de la résolution, *Document de Travail DT/CRPE/1182, septembre 1989*

[F/89.03] BAUDIN F., Simulations du traitement du signal pour un projet de radar embarqué sur avion [ Projet ASTERIX ], *Note Technique CRPE/175, juillet 1989*

[F/89.04] BOUVARD M., MARECHAL E., MAZAUDIER C., LAFEUILLE M., Base de données FRONTS 87, *Document de Travail DT/CRPE/1185, novembre 1989*

[F/89.05] CAUNEAU F., La mesure du flux de chaleur latente par radiométrie hyperfréquence satellitaire, *Note Techniquc CRPE/176, juillet 1989*

[F/89.06] CORNILLEAU-WEHRLIN N., CANU P., Document ISPM/ULYSSE N° 10 - Définition des besoins en traitement de masse et logiciels clef en main pour ondes de plasma et sondeur (International Solar Polar Mission Unified Radio and Plasma Wave Experiment), *Document de Travail DT/CRPE/1183, octobre 1989*

[F/89.07] DELAHAYE J.Y., GLOAGUEN C., LAVERGNAT J., Identification automatique des hydrométeores au moyen de micro-ondes, *Document de Travail DT/CRPE/1184 [Convention DMN N° 03/89 - Rapport d'Avancement N°1], novembre 1989*

[F/89.08] DELAHAYE J.Y., LAVERGNAT J., MALLET C., Radiométrie multifréquences et étalonnage des balises satellitaires : Application au programme OLYMPUS, *Note Technique CRPE/177, juillet 1989*

[F/89.09] DONIER J.M., Radar Stratosphérique-Troposphérique : classification et analyse spectrale des spectres de puissance du signal rétrodiffusé, *Rapport de Stage du DEA 'Traitement du Signal et Architectures Electroniques', Paris XI, Orsay, 18 septembre 1989*

[F/89.10] DUHAMEL P., Fast Fourier Transforms : A tutorial review and a state of the art, *Note Technique CRPE/172, janvier 1989*

[F/89.11] FERAUDY (de) H., FONTAINE D., Proceedings of the Second VIKING Workshop, *Document de Travail DT/CRPE/1176, mai 1989*

[F/89.12] GENDRIN R., Environnement Terrestre et Planétaire - Conséquences sur la conception et la mise en oeuvre des satellites artificiels, *Note Technique CRPE/173, mai 1989 [Cours de Formation Société ALCATEL - avril 1989]*

[F/89.13] GOULAM F., WEILL A., Programme opérationnel de mesure de flux de quantité de mouvement, *Mémoire de Fin d'Etudes, E.C.L. - CNET/CRPE, avril-juin 1989*

[F/89.14] GUILLEMOT C., CARLACH J.C., DUHAMEL P., Algorithme DCT à complexité arithmétique minimale et à structure régulière, *Note Technique CCETT/STM/TSA/T/01/89/CG - CCETT/CAL/CCI/T/07/89/JCC - CRPE/174, mai 1989*

[F/89.15] HILGERS A., Etude des sources du rayonnement kilométrique auroral terrestre, *Rapport de Stage pour l'obtention du Magistère, Interuniversitaire de Physique, Université Paris 7, Année Universitaire 1988-1989*

[F/89.16] JUNG C., VIDAL-MADJAR D., REBILLARD P., Influence du relief sur la radiométrie et la résolution d'une image SAR, *Document de Travail DT/CRPE/1179, août 1989*

[F/89.17] KOTRONI V., Etude paramétrique du facteur de réflectivité radar des hydrométéores observées par un radar S.T. et UHF (961 MHz), *Rapport de Stage du DEA 'Océanologie et Météorologie', Université Paris 6, 26 juin 1989*

[F/89.18] LAGOUVARDOS K., Notice d'utilisation des logiciels graphiques de la base de données FRONTS 87, *Document de Travail DT/CRPE/1186, novembre 1989*

[F/89.19] LAGOUVARDOS K., Identification de l'Instabilité Symétrique à partir des mesures par radars RONSARD et par radiosondages au cours de l'expérience FRONTS 87, *Rapport de Stage du DEA 'Océanologie et Météorologie', Université Paris 6, 23 juin 1989*

[F/89.20] LATIEULE S., Elimination d'échos parasites dans les radars 'air-clair', *Mémoire de Fin d'Etude pou l'obtention du diplôme d'ingénieur des Etudes et de l'Exploitation de l'Aviation Civile, juillet 1989*

[F/89.21] LE QUEAU D., La physique des plasmas spatiaux : perspectives à moyen et à long terme, *Note Technique CRPE/178, décembre 1989 [Rapport presenté au colloque de prospective du C.N.E.S. - Cap d'Agde, 20-22 septembre 1989]*

[F/89.22] LEMBEGE B., Numerical simulation of collisionless shocks, *Note Technique CRPE/180, décembre 1989*

[F/89.23] LEMBEGE B., DAWSON J.M., Dynamics of a relativistic electron-positron plasma in a nonlinear magnetosonic wave, *Document de Travail DT/CRPE/1173, mars 1989*

[F/89.24] MARECAL V., Etude microphysique d'une bande de précipitations frontales à partir d'observations réalisées par des radars météorologiques Doppler lors de l'expérience FRONTS 87, *Rapport de Stage du DEA 'Méthodes Physiques en Télédétection', Université de Paris 7, 26 juin 1989*

[F/89.25] MAZAUDIER C., On the relationship between ionospheric phenomena and the day to day variability of the earth's magnetic field regular variation 'Sr' [Exposé de synthèse sur invitation - I.A.G.A., Vancouver, Canada, 1987], *Document de Travail DT/CRPE/1177, juillet 1989*

[F/89.26] MAZAUDIER C., On the role of French women in the development of science and technology : two case studies, *Document de Travail DT/CRPE/1181, septembre 1989*

[F/89.27] MAZAUDIER C., Exposé de synthèse sur les résultats de Saint-Santin, *Document de Travail DT/CRPE/1174, avril 1989*

[F/89.28] MAZAUDIER C., BOUVET J., BOUVARD M., LAFEUILLE M., La base de données de Saint-Santin au NCAR - The NCAR Saint-Santin data base, *Document de Travail DT/CRPE/1172, février 1989*

[F/89.29] MAZAUDIER C., TAGETT B., BOUVET J., ZHONG M., HANG-JEONG K., LAFEUILLE M., TIFFON C., Notice d'utilisation de la base de données HAPEX-MOBILHY (Réseaux sol durant la phase intensive d'observation) [Version - avril 1989], *Document de Travail DT/CRPE/1175, mai 1989*

[F/89.30] OLIVIER P., Principes de l'imagerie haute résolution au moyen d'un radar à ouverture synthétique embarqué sur satellite, *Note Technique CRPE/179, décembre 1989*

[F/89.31] PIOT P., Etude d'une technique stéréoradar, *Rapport de Stage de fin d'étude, I.U.T. de statistique et traitement numérique, Université de Paris 5, 25 juin 1989*

[F/89.32] RANA D., Propagation radiomobile à 900 MHz : Corrélation statistique entre l'énergie des premiers paquets et les paramètres locaux au récepteur, d'après les données expérimentales en réponses impulsionnelles, *Rapport de Stage de 3ème année de l'Ecole Nationale Supérieure d'Electronique et de Radioélectricité' de Bordeaux, septembre-novembre 1989*

[F/89.33] VIDAL-MADJAR D., Application de la mesure régionale de l'humidité de surface par radar, *Document de Travail DT/CRPE/1180, août 1989*

[F/89.34] VIDAL-MADJAR D., Quelques notions de base sur les capteurs utilisés en observation de la terre, *Document de Travail DT/CRPE/1178, juillet 1989*

[F/90.01] AMAYENC P., MARZOUG M., Mesure de la pluie avec un radar spatial : Etude de la contamination par l'écho de surface dans les lobes secondaires d'antenne, *Note Technique CRPE/185, mai 1990*

[F/90.02] CARLACH J.C., DUHAMEL, Rapport de Mission, *Document de Travail DT/CRPE/1193, juin 1990*

[F/90.03] CIARLETTI V., Etude des phénomènes météorologiques qui donnent lieu à des situations de trajets multiples, *Note Technique CRPE/183, avril 1990*

[F/90.04] COLLECTIF ETP, Articles 'Traitement du Signal' soumis par le département ETP, *Note Technique CRPE/188, juin 1990*

[F/90.05] CORNILLEAU-WEHRLIN N., 'Ulysse - Microfiche CDF', *Document de Travail DT/CRPE/1190, juin 1990*

[F/90.06] DECHAMBRE M., Radar measurements over agricultural areas - The AGRISCATT'88 campaign report, *Note Technique CRPE/190, décembre 1990*

[F/90.07] DELAHAYE J.Y., GLOAGUEN C., LAVERGNAT J., Identification automatique des hydrométéores au moyen de micro-ondes, *Note Technique CRPE/182, mars 1990*

[F/90.08] DOU X.K., Circulation tridimensionnelle de l'air au sein de systèmes précipitants déduite de mesures radar aeroporté - Qualification d'une méthode de restitution au moyen de simulations, *Rapport de Stage du DEA 'Méthodes Physiques en Télédétection', Université de Paris 7, juin 1990*

[F/90.09] FILIBERTI M.A., Préparation de l'ajustement du profil d'humidité du modèle de prévision PERIDOT au moyen des données du radiomètre SSM/I, *Rapport de Stage de DEA 'Méthodes Physiques en Télédétection, Paris, juin 1990*

[F/90.10] GHAHREMANI T., Modélisation d'un canal de transmission en diversité d'espace pendant les périodes de trajets multiples, *Note Technique CRPE/184, avril 1990*

[F/90.11] GODEFROY M., Essai du logiciel de routage automatique de la CAO de circuits imprimés PCAD (Version 4), *Document de Travail DT/CRPE/1196, décembre 1990*

[F/90.12] JAULIN L., Optimisation de traitement des données dans la méthode 'stéréoradar' pour restituer le champ d'atténuation, *Rapport de Stage de DEA 'Automatique et Traitement du Signal', Université Paris 6, septembre 1990*

[F/90.13] KNOLL L., Radar stratosphérique-troposphérique : analyse spectrale en vue de l'extraction des caractéristiques géophysiques des différentes composantes contenues dans les spectres de puissances du signal retrodiffusé, *Rapport de Stage de DEA 'Automatique et Traitement du Signal', Université Paris 6, septembre 1990*

[F/90.14] LEBLANC A., Analyse des données du Sodar de la campagne PACEM 3 (1986), *Document de Travail DT/CRPE/1188, janvier 1990*

[F/90.15] LEGRAND J.P., LE GOFF M., MAZAUDIER C., On the solar cycle evolution during the XVIIth century sunspot minimum, *Document de Travail DT/CRPE/1195, novembre 1990*

[F/90.16] LELOCH N., Etude d'un radar polarimètre, *Rapport de Stage de DEA, Université Paris 7, juin 1990*

[F/90.17] LEMBEGE B., Rapport intermédiaire d'avancement sur la cinétique du plasma et l'étude des instabilités, *Document de Travail DT/CRPE/1192, juin 1990*

[F/90.18] MAGARET-MARY C., Variation temporelle de la convection déduite des cartes vectorielles de vitesse obtenues par radars HF, *Rapport de Stage, Maîtrise de Physique, Université Paris 6, juillet 1990*

[F/90.19] MAUROY E., PETITDIDIER M., Base de données du radar S.T. INSU/METEO (45/961 MHz) durant Fronts 87/MFDP (octobre 1987 - janvier 1988) - Catalogue des observations, *Document de Travail DT/CRPE/1194, août 1990*

[F/90.20] MAZAUDIER C., 'Bases de donnees scientifiques' et physique de l'environnement terrestre et planétaire, *Document de Travail DT/CRPE/1191, juin 1990*

[F/90.21] MOU S.J., Algorithmes rapides de filtrage et leurs implantations, *Note Technique CRPE/187, juin 1990*

[F/90.22] OLIVIER P., Analyse de la qualité image et inter-étalonnage des radars à ouverture synthétique aéroportés du J.P.L. (U.S.A.) et du D.L.R. (R.F.A.), *Note Technique CRPE/189, octobre 1990*

[F/90.23] PETITDIDIER M., MAUROY E., PARIS J., Notice d'utilisation du logiciel de traitement des bandes magnétiques expérimentales du radar S.T. bifréquence INSU/METEO, *Document de Travail DT/CRPE/1197, décembre 1990*

[F/90.24] PLAGNAUD J.L., La transformée en ondelettes : application à l'étude de signaux électromagnétiques, *Rapport de Stage, Ecole Nationale Supérieure des Télecommunications, Option Traitement du Signal, février 1990*

[F/90.25] SYLVAIN M., Ondes électromagnétiques, *Note Technique CRPE/181, janvier 1990*

[F/90.26] VILLEDARY (de) C., CORNILLEAU N., ROBERT P., Réactualisation de la définition des visualisations systématiques des données des expériences 'Récepteur Radio', 'Sondeur' et 'Ondes de Plasma' - Microfiche de routine, *Document de Travail DT/CRPE/1189, juin 1990*

[F/90.27] ZHANG H.M., Algorithmes rapides et matrices de Toeplitz, *Note Technique CRPE/186, juin 1990*

[F/90.28] MEYER A., YOUSSEF A., Fabrication des préamplificateurs de l'expérience magnétique STAFF du projet CLUSTER, *Rapport CLUSTER 1/Rev.A, Cahier des charges définitif, juin 1990*

[F/91.01] BENESTY J., Algorithmes du type gradient à complexité de calcul réduite et à capacité de poursuite et vitesse de convergence accrues. Application à l'annulation d'écho acoustique, *Note Technique CRPE/193, juin 1991*

[F/91.02] BERTHELIER A., MENVIELLE M., GUERIN C., Trente ans d'indices Km présentés sous forme de diagrammes musicaux, 1959-1989, *Note CNET/CRPE, 1991*

[F/91.03] COLLECTIF - Groupe 'Traitement du Signal', Articles sur les transformées en ondelettes soumis par le département ETP, *Note Technique CRPE/192, avril 1991*

[F/91.04] GLOAGUEN C., RAFIZADEH M., LAVERGNAT J., CHLOE - Charmant Logiciel d'Electromagnétisme, *Document de Travail DT/CRPE/1202, juin 1991*

[F/91.05] LEMBEGE B., Rapport d'avancement sur le développement de nouveaux codes numériques 'super-hybrides' 1D et, 2D et les tests de fiabilité numérique, *Document de Travail DT/CRPE/1200, mars 1991*

[F/91.06] LEMBEGE B., LEBOEUF J.N., P. LIEWER, M. ASHOUR-ABDALLA, Professor Dawson's pioneering work in computer simulations of space and astrophysical plasmas, *Note Technique CRPE/191, mars 1991*

[F/91.07] MEYERFELD Y., Présentation du réseau informatique du CRPE SAINT-MAUR, *Document de Travail DT/CRPE/1198, janvier 1991*

[F/91.08] OLIVIER P., Compte-Rendu de mission au Jet Propulsion Laboratory, février-juillet 1990, *Document de Travail DT/CRPE/1201, mars 1991*

[F/91.09] GIRARDOT P., Contribution à la validation des mesures du radiomètre ATSR/M, embarqué sur le satellite ERS-1, *Rapport de Stage de fin d'Etudes de l'Ecole Centrale Paris, juin 1991*

# *G - RAPPORTS EXTERNES*


[G/89.01] BERTIN F., MALHERBE C., Etude expérimentale de la détection des cisaillements de vent en visée quasi horizontale avec le radar PROUST associé à l'antenne PBI de Pleumeur-Bodou, *Contrat d'Etude C.N.E.T./S.T.N.A., juin 1989*

[G/89.02] BERTIN F., MALHERBE C., *Rapport de Synthèse de la phase 1 du Contrat d'Etude C.N.E.T./S.T.N.A. 87-C0008, septembre, 1989*

[G/89.03] CHANTEUR G., Instabilité de Kelvin-Helmholtz de la magnétopause Terrestre, *Rapport d'activité du Centre de Calcul Vectoriel pour la Recherche (CCVR), pp. 447-453, 1989*

[G/89.04] COLLECTIF, [Contributions C.R.P.E. de AMAYENC P., MARZOUG M., BERNARD R.], B.E.S.T. : Spécifications de mission, *Document BEST : C.N.E.S./CT/SCM/ESM/BE - N° 066, 44 pp., juin 1989*

[G/89.05] MALHERBE C., Détermination des 'Facteurs de Sévérité' des cisaillements de vent à partir des mesures spectrales obtenues par radar 'air clair' observant le long de la ligne de descente des avions, *Contrat d'Etude C.N.E.T./S.T.N.A., septembre 1989*

[G/89.06] MALHERBE C., BERTIN F, Détermination des profils verticaux de vent à partir de mesures Doppler dans des directions fixes à faible élévation, *Contrat d'Etude C.N.E.T./S.T.N.A., juin 1989*

[G/89.07] MALHERBE C., BERTIN F., Simulation de la réponse 'air-clair' d'un radar Doppler à des modèles de cisaillements de vent, *Contrat d'Etude C.N.E.T./S.T.N.A., juin 1989*

[G/89.08] PETITDIDIER M., Frequency allocation. What frequencies for an operational Stratospheric-Tropospheric radar ?, *COST74 3rd Management Committee, Working Document 74/WD/31, revised version of 74/WD/09, 15 juin 1989*

[G/89.09] PETITDIDIER M., Stratospheric-Tropospheric radar activity in France - Status Report, *COST74 3rd Management Committee, Working Document 74/WD/32, 15 juin 1989*

[G/89.10] PETITDIDIER M., CZECHOWSKY P., STEINER A., Confidence value for wind measurements by S.T. radars, *COST74 7th Management Committee, Working Document 74/WD/91, 20-21 novembre 1989*

[G/89.11] WEILL A., EYMARD L., DURAND P., DRUILHET A., EZRATY R., Le programme SOFIA (La Surface Océanique : Flux et Interactions avec l'Atmosphère), *Rapport, septembre 1989*

[G/90.01] BERNARD R., LE CORNEC A., EYMARD L., ATSR-MWR data processing, specifications and performances, *Document ER-TN-CRP-AT-045, décembre 1990*

[G/90.02] COLLIER C., SZEJWACH G., TESTUD J., Rain radar, *Report of a Consultancy Group, ESA. Publ. Div. SP-1119, 80 pp., avril 1990*

[G/90.03] HUET B. (avec la collaboration de P. AMAYENC), Review of microwave instruments contribution to GEWEX, *Rapport d'Etude (WP 2211) sur contrat ESA, Note Technique Aerospatiale Doc. N° EA/IS/T427, 66 pp., septembre 1990*

[G/90.04] MOUNIR H., BERTIN F., Etude expérimentale de la détection des cisaillements de vent en visée quasi horizontale et en milieu aéroportuaire, à l'aide d'un radar 'air clair', *Contrat d'Etude C.N.E.T./S.T.N.A., juillet 1990*

[G/90.05] NAZ P., WEILL A., Paramètres micrométéorologiques de la campagne AMIZ, *Contrat D.R.E.T./I.S.L., 1990*

[G/90.06] PETITDIDIER M., CZECHOWSKY P., STEINER A., Confidence value for wind measurements by S.T. radars, *COST 74 - 7th Management Committee, 20-21 novembre, 1989 - Working, Document 74/WD/91, 1990*

[G/90.07] PETITDIDIER M., PETERS G., S.T. radars above 1 Ghz, *COST 74 - 8th Management Committee - Working Document 74/WD/111, 04-05 mars 1990*

[G/90.08] TESTUD J., AMAYENC P., MARZOUG M., Study of dual-beam spaceborne radar, *ESA-ESTEC Contract N° 8127/NL/BI/SG, Final Report, 159 pp., octobre 1990*

[G/90.09] TESTUD J., AMAYENC P., MARZOUG M., Study of dual-beam spaceborne radar, *ESA-ESTEC Contract N° 8127/88/NL/BI/SG - Executive Summary, octobre 1990 (13 pages)*

[G/91.01] MAZAUDIER C., COHEN Y., L'électrojet équatorial: composante du circuit électrique global connectant le vent solaire, la magnétosphère, l'ionosphère, l'atmosphère, la terre, *Rapport de Synthèse préparé dans le cadre de la section IV du C.N.F.G.G., 1991*

[G/91.02] OLIVIER P., FREEMAN A., Comparative calibration of the NASA/JPL Aircraft SAR and the DLR E-SAR, during the European campaign in Summer 1989, *JPL document D-8506, mai 1991*

[G/91.03] GROUPE "Campagne en mer à moyenne échelle du PAMOS/INSU [EYMARD L., LE VISAGE C., PLANTON S., WEILL A.], The Semaphore Mesoscale air-sea experiment (1993), *Rapport, mars 1991*

[G/91.04] WEILL A., *Compte Rendu Final du Contrat DRET N° 89126, 1991*

## *H - BREVETS*

[H/89.01] GUILLEMOT C., CARLACH J.C., DUHAMEL P., Procédé et dispositif de compression de données d'image par transformation mathématique à coût réduit de mise en oeuvre, notamment pour la transmission à débit réduit de séquences d'images, *Demande dc brevet français CNET/TDF N° FR 89 05298, déposé le 18 avril 1989,* France(CNET/TDF)

[H/90.01] DELAHAYE J.Y., Pluviometre à dispositif de détection de colmatage, *Demande de brevet français N° 90 01470, déposé le 8 février 1990,* France (CNET)

[H/90.02] DELAHAYE J.Y., GLOAGUEN C., LAVERGNAT J., Dispositif et procédé d'identification et de quantification des hydrométéores par effet Doppler, *Demande de brevet français N° 90 02471, déposé le 22 février 1990,* France (CNET)

[H/90.03] YOUSSEF A., DUCROCQ J.B., MEYER A., Méthode de protection de composants électroniques d'un circuit contre les radiations, et dispositif utilisant cette méthode, *Demande de brevet français N° 90 13802, déposé le 7 novembre 1990,* France (ALCATEL ESPACE)

[H/90.04] YOUSSEF A., DUCROCQ J.B., MEYER A., Circuit électronique contrôlé en température, *Demande de brevet français N° 90 13803, déposé le 7 novembre 1990,* France (ALCATEL ESPACE)

[H/91.01] MAHIEUX Y., DUHAMEL P., Procédé et dispositif de codage-décodage d'un signal numérique, *Demande de brevet français N° 91 05064, déposé le 24 avril 1991,* France (CNET)

# ANNEXE 2

# LISTE DU PERSONNEL

PERSONNELS A STATUT PERMANENT

| NOM | Prénom | Année de Naissance | Grade Catégorie | BAP ** | Qualification | Statut | Section * | N° d'agent | Année d'arrivée | Année de départ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***Chercheurs CNRS*** | | | | | | | | | | |
| GENDRIN | Roger | 1932 | DRCLE | | | CNRS | 14 | 37938 | 1982 | |
| ROUX | Alain | 1943 | DR1 | | | CNRS | 14 | 47183 | 1982 | |
| TESTUD | Jacques | 1944 | DR1 | | | CNRS | 12 | 46750 | 1982 | |
| AMAYENC | Paul | 1941 | DR2 | | | CNRS | 12 | 44113 | 1982 | |
| CORNILLEAU | Nicole | 1945 | DR2 | | | CNRS | 14 | 48381 | 1982 | |
| LEQUEAU | Dominique | 1950 | DR2 | | | CNRS | 14 | 183160 | 1984 | |
| PERRAUT | Sylvaine | 1940 | DR2 | | | CNRS | 14 | 45622 | 1982 | |
| PETITDIDIER | Monique | 1941 | DR2 | | | CNRS | 12 | 46224 | 1982 | |
| POTTELETTE | Raymond | 1945 | DR2 | | | CNRS | 14 | 47834 | 1982 | |
| SOMMERIA | Gilles | 1945 | DR2 | | | CNRS | 14 | 46059 | 1990 | |
| TAIEB | Charley | 1927 | DR2 | | | CNRS | 14 | 41875 | 1982 | |
| VIDAL-MADJAR | Daniel | 1947 | DR2 | | | CNRS | 12 | 24420 | 1982 | |
| WEILL | Alain | 1941 | DR2 | | | CNRS | 12 | 43676 | 1982 | |
| BERTHELIER | Annick | 1943 | CR1 | | | CNRS | 14 | 45257 | 1982 | |
| CANU | Patrick | 1955 | CR1 | | | CNRS | 14 | 55484 | 1982 | |
| CHANTEUR | Gérard | 1949 | CR1 | | | CNRS | 14 | 55107 | 1982 | |
| EYMARD | Laurence | 1954 | CR1 | | | CNRS | 12 | 51612 | 1982 | |
| FONTAINE | Dominique | 1955 | CR1 | | | CNRS | 14 | 55023 | 1982 | |
| HAUSER | Danièle | 1955 | CR1 | | | CNRS | 14 | 55355 | 1982 | |
| LEMAITRE | Yvon | 1955 | CR1 | | | CNRS | 12 | 55694 | 1983 | |
| LEMBEGE | Bertrand | 1951 | CR1 | | | CNRS | 14 | 51424 | 1982 | |
| MAZAUDIER | Christine | 1949 | CR1 | | | CNRS | 13 | 51225 | 1982 | |
| OTTLE | Catherine | 1959 | CR1 | | | CNRS | 12 | 183029 | 1985 | |
| ROUX | Franck | 1955 | CR1 | | | CNRS | 12 | 55011 | 1982 | |
| SENIOR | Catherine | 1953 | CR1 | | | CNRS | 12 | 55317 | 1982 | |
| LOUARN | Philippe | 1961 | CR2 | | | CNRS | 14 | 183185 | 1985 | |

PERSONNELS A STATUT PERMANENT

| NOM | Prénom | Année de Naissance | Grade Catégorie | BAP ** | Qualification | Statut | Section * | N° d'agent | Année d'arrivée | Année de départ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***Universitaires*** | | | | | | | | | | |
| MON | Jean-Pierre | 1931 | PR1 | | | MEN | 8 | | 1982 | |
| CERISIER | Jean-Claude | 1941 | PR2 | | | MEN | 14 | | 1982 | |
| KLAPISZ | Claude | 1940 | PR2 | | | MEN | 12 | | 1982 | |
| LAVERGNAT | Jacques | 1944 | PR2 | | | MEN | 8 | | 1982 | |
| CREMIEU | Annette | 1932 | MCF1 | | | MEN | 14 | | 1982 | |
| DE FERAUDY | Hervé | 1943 | MCF1 | | | MEN | 14 | | 1982 | |
| DUBOIN | Marie-Louise | 1931 | MCF1 | | | MEN | 14 | | 1982 | |
| FRANGI | Jean-Pierre | 1952 | MCF1 | | | | | | 1991 | |
| MALINGRE | Michel | 1947 | MCF1 | | | MEN | 14 | | 1982 | |
| SOLOMON | Jacques | 1942 | MCF1 | | | MEN | 14 | | 1982 | |
| CIARLETTI | Valérie | 1961 | MCF2 | | | MEN | 8 | | 1986 | |
| REZEAU | Laurence | 1961 | Ag. Prép. | | | MEN | 14 | | 1985 | |
| ***Chercheurs CNET contractuels*** | | | | | | | | | | |
| BELMONT | Gérard | 1949 | IG III C | | | CNET/ACO | 14 | | 1982 | |
| BERTHELIER | Jean-Jacques | 1940 | IG III C | | | CNET/ACO | 14 | | 1982 | |
| BERTIN | François | 1932 | IG III B | | | CNET/ACO | 12 | | 1982 | |
| BIC | Jean-Claude | 1950 | IG III B | | | CNET/ACO | 7 | | 1986 | |
| DUHAMEL | Pierre | 1953 | IG III A | | | CNET/ACO | 7 | | 1982 | |
| LEVY | Armand | 1956 | IG III A | | | CNET/ACO | 7 | | 1982 | |
| TACONET | Odile | 1956 | IG III A | | | CNET/ACO | 12 | | 1982 | |
| BARBOT | Jean-Pierre | 1964 | IG II | | | CNET/ACO | 8 | | 1990 | |
| GIRARD | Laurent | 1956 | IG II | | | CNET/ACO | 14 | | 1982 | |
| GLOAGUEN | Catherine | 1958 | IG II | | | CNET/ACO | 8 | | 1983 | |
| GOLE | Peter | 1952 | IG II | | | CNET/ACO | 8 | | 1984 | |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MARZOUG | Mongi | 1961 | IG II | | | CNET/ACO | 12 | | 1986 | |
| OLIVIER | Philippe | 1957 | IG II | | | CNET/ACO | 12 | | 1982 | |
| ROSSI | Jean-Pierre | 1959 | IG II | | | CNET/ACO | 8 | | 1988 | |
| TRESSENS | Sara | 1944 | IG II | | | CNET/ACO | 7 | | 1982 | |
| ***Chercheurs CNET titulaires*** | | | | | | | | | | |
| BLU | Thierry | 1964 | IG2 | | | CNET/Titu | 7 | | 1988 | |
| RIOUL | Olivier | 1964 | IG2 | | | CNET/Titu | 7 | | 1989 | |
| CAUDAL | Gérard | 1953 | IGC | | | CNET/Titu | 12 | | 1982 | |
| MAYRARGUE | Sylvie | 1955 | IGC | | | CNET/Titu | 8 | | 1982 | |
| ***ITA*** | | | | | | | | | | |
| DE LA PORTE | Bertrand | 1938 | IRO | 1 | CALS | CNRS | 14 | 21734 | 1982 | |
| DELAHAYE | Jean-Yves | 1945 | IR1 | | CALS | CNRS | | 75956 | 1982 | |
| GOGLY | Gérard | 1938 | IR 1 | 2 | ETU | CNRS | 14 | 21722 | 1982 | |
| ILLIANO | Jean-Marie | 1942 | IR 1 | 7 | ETU | CNRS | 14 | 22146 | 1982 | |
| MEYER | Alain | 1940 | IR 1 | 7 | ETU | CNRS | 14 | 21751 | 1982 | |
| NEY | Richard | 1941 | IR 1 | 2 | ETU | CNRS | 12 | 24004 | 1982 | |
| ROBERT | Patrick | 1949 | IR 1 | 1 | CALS | CNRS | 14 | 6500039 | 1982 | |
| SCIALOM | Georges | 1944 | IR 1 | 1 | CALS | CNRS | 12 | 24427 | 1982 | |
| SYLVAIN | Michel | 1946 | IR 1 | 7 | ETU | CNRS | 8 | 24027 | 1982 | |
| DE VILLEDARY | Claude | 1940 | IR 2 | 1 | CALS | CNRS | 14 | 21570 | 1982 | |
| DECHAMBRE | Monique | 1951 | IR 2 | 7 | ETU | CNRS | 14 | 6300052 | 1982 | |
| ETCHETO | Jean-Marie | 1932 | IR 2 | 2 | ETU | CNRS | 12 | 21723 | 1982 | |
| GUERIN | Christine | 1945 | IR 2 | 1 | CALS | CNRS | 14 | 21729 | 1982 | |
| MASSEBEUF | Monique | 1939 | IR 2 | 7 | ETU | CNRS | 12 | 24402 | 1982 | |
| PAWELA | Edmond | 1942 | IR 2 | 1 | INFS | CNRS | 14 | 6800003 | 1982 | |
| PORTENEUVE | Elzbieta | 1949 | IR 2 | 1 | INFS | CNRS | 14 | 6800004 | 1982 | |
| RIGUET | Roger | 1939 | IR 2 | 1 | CALS | CNRS | 14 | 12751 | 1982 | |
| COVINHES | Jean | 1946 | IE 1 | 7 | ETU | CNRS | 14 | 22947 | 1982 | |

PERSONNELS A STATUT PERMANENT

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LAURENT | Georges | 1937 | IE 1 | 2 | ETU | CNRS | 12 | 16965 | 1982 | |
| MARIMONT | Claire | 1940 | IE 1 | 1 | CALS | CNRS | 14 | 22375 | 1988 | |
| PARIS | Josette | 1942 | IE 1 | 1 | INFS | CNRS | 14 | 24921 | 1982 | |
| BOUABDELLAH | Abdelkrim | 1954 | IE 2 | 7 | ETU | CNRS | 14 | 6501851 | 1990 | |
| DAUTRICHE | Michel | 1947 | IE 2 | 1 | CALS | CNRS | 14 | 21262 | 1982 | |
| FAROUX | Jacques | 1946 | IE 2 | 2 | ETU | CNRS | 12 | 6500036 | 1982 | |
| GABISON | Alfred | 1942 | IE 2 | 2 | ETU | CNRS | 12 | 75959 | 1982 | |
| MELLUL | Lida | 1962 | IE 2 | | CALS | CNRS | | 8001683 | 1991 | |
| MEYERFELD | Yves | 1956 | IE 2 | 1 | CALS | CNRS | 14 | 6300243 | 1984 | |
| PIRON | Brigitte | 1953 | IE 2 | 1 | CALS | CNRS | 12 | 6500084 | 1982 | |
| BORIE | Daniel | 1944 | AI | 2 | TEC | CNRS | 8 | 24422 | 1982 | |
| LEBLANC | Frédéric | 1961 | AI | 2 | TEC | CNRS | 14 | 650861 | 1988 | |
| VINSON | Jean-Paul | 1949 | AI | 2 | ETU | CNRS | 12 | 650729 | 1982 | |
| BOUVET | Josette | 1938 | T1 | 7 | ANA | CNRS | 14 | 24019 | 1982 | |
| GODEFROY | Michel | 1948 | T1 | 2 | TEC | CNRS | 14 | 6489 | 1982 | |
| JABOIN | Josette | 1937 | T1 | 4 | BIB | CNRS | 14 | 76003 | 1982 | |
| KOSSA | Paulette | 1944 | T1 | 1 | INF | CNRS | 14 | 24401 | 1982 | |
| ADANE | Nicole | 1946 | T2 | 5 | SEC | CNRS | 14 | 21542 | 1982 | |
| CASADEMONT | Georges | 1934 | T2 | 5 | GES | CNRS | 14 | 24400 | 1982 | |
| HUC | Caroline | 1967 | T3 | | SECA | CNRS | | 8001727 | 1991 | |
| LE GOFF | Françoise | 1938 | T3 | 7 | TEC | CNRS | 14 | 13582 | 1989 | |
| LEMAULF | Evelyne | 1947 | T3 | 1 | INF | CNRS | 14 | 5417 | 1982 | |
| MOREAU | Brigitte | 1957 | T3 | 1 | INF | CNRS | 14 | 19151 | 1982 | |
| CHAUVET | Françoise | 1943 | AGT2 | 4 | BIB | CNRS | 14 | 6501312 | 1982 | |
| HASSON | Marie | 1937 | AARO | 5 | GES | CNRS | 14 | 15503 | 1982 | |
| DUPIN | Nicole | 1931 | SAR1 | 5 | SEC | CNRS | 14 | 21748 | 1982 | |
| LACAS | Suzette | 1943 | SAR1 | 5 | COM | CNRS | 14 | 16755 | 1987 | |
| ROBIN | Catherine | 1945 | SAR3 | 5 | SEC | CNRS | 14 | 78127 | 1982 | |
| SEDONI | Michèle | 1941 | SAR3 | 5 | SECA | CNRS | 14 | 6300186 | 1982 | |

PERSONNELS A STATUT PERMANENT

| NOM | Prénom | Année de Naissance | Grade Catégorie | BAP ** | Qualification | Statut | Section * | N° d'agent | Année d'arrivée | Année de départ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***ITA non CNRS*** | | | | | | | | | | |
| BAUDIN | François | 1943 | IG III C | 2 | ETU | | 12 | | 1982 | |
| BILBILLE | Jacques | 1939 | IG II | 2 | ELT | | 12 | | 1982 | |
| BOUJEMAA | Fayçal | 1957 | IG II | 1 | CALS | | 8 | | 1987 | |
| BOUTON | Bruno | 1966 | IG I | 1 | INFS | | 14 | | 1989 | |
| BOUVARD | Mireille | 1940 | ATAP | 1 | INF | | 8 | | 1982 | |
| CELIN | Patrick | 1962 | AT3 | 2 | ETU | | 12 | | 1986 | |
| CHAUVEAU | Pascal | 1959 | INT | 2 | ETU | | 14 | | 1987 | |
| COURTOIS | Patrick | 1951 | INT | | ETU | | | | 1991 | |
| DEGOULET | Christian | 1963 | TINT | 2 | TEC | | 8 | | 1990 | |
| DUBOIS | Serge | 1929 | ATP | 2 | TEC | | 12 | | 1982 | |
| DUBOYS | Bernard | 1934 | IG II | 7 | ETU | | 14 | | 1982 | |
| FEVRE | Jean-François | 1934 | CTINT | 2 | ETU | | 12 | | 1982 | |
| FOULON | Madeleine | 1934 | CMAIP | 5 | GES | | 14 | | 1982 | |
| FROMAGER | Brigitte | 1957 | AEX | 5 | COM | | 14 | | 1982 | |
| GUITTARD | Janine | 1931 | CT | 5 | GES | | 14 | | 1982 | |
| JEZEQUEL | François | 1962 | INT | 1 | INFS | | 14 | | 1989 | |
| LAFEUILLE | Mireille | 1937 | A S | 1 | CALS | | 14 | | 1982 | |
| LANCELIN | Philippe | 1956 | ATP | 2 | ETU | | 12 | | 1983 | |
| LATAPIE | Bruno | 1966 | IG II | | CALS | | | | 1991 | |
| LE CORNEC | Alain | 1960 | IG II | 2 | ETU | | 12 | | 1983 | |
| LEBLANC | Agnès | 1944 | IG II | 1 | CALS | | 14 | | 1986 | |
| MORANE | Aliette | 1958 | IG II | 1 | CALS | | 14 | | 1985 | |
| MORLON | Chantal | 1958 | AEX | 7 | SEC | | 14 | | 1988 | |
| MOUNIR | Hassane | 1960 | IG I | 7 | ETU | | 14 | | 1986 | |
| NICOLAS | Thérèse | 1942 | AJT 1 | 2 | TEC | | 12 | | 1982 | |
| NORTIER | Bernard | 1958 | PRE | 6 | ENT | | 14 | | 1988 | |

PERSONNELS A STATUT PERMANENT

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PENFORNIS | Denise | 1932 | 3 S T | 5 | GES | | 14 | | 1982 | |
| PENNEC | Michèle | 1958 | AEX | 4 | DOC | | 14 | | 1982 | |
| PROVOST | Claude | 1932 | 2 ATP | 7 | ETU | | 14 | | 1982 | |
| REGIS | Maurice | 1938 | MONET | 6 | GAR | | 14 | | 1982 | |
| ROSIER | Jacques | 1954 | INT | 2 | ETU | | 8 | | 1989 | |
| ROUGER | Jean-Michel | 1959 | IG II | 2 | ETU | | 8 | | 1989 | |
| RUSSEIL | Gérard | 1930 | AAPDA | 6 | ENT | | 14 | | 1982 | |
| STZEPOURGINSKI | Wladimir | 1950 | ATP | 1 | INFS | | 14 | | 1982 | |
| SUBSOL | Jean | 1932 | ATP | 7 | TEC | | 14 | | 1982 | |
| TIFFON | Claude | 1944 | ATA | 1 | TEC | | 14 | | 1982 | |
| TOURNET | Jean-Louis | 1953 | INT | 2 | ETU | | 12 | | 1985 | |
| TRAN | Christian | 1956 | AT3 | 1 | INF | | 14 | | 1990 | |
| VACHER | Simone | 1935 | CION | 5 | SECA | | 12 | | 1982 | |
| YOUSSEF | Abdul | 1962 | IG II | 1 | INFS | | 14 | | 1988 | |
| YVON | Gérard | 1948 | INT | 7 | ETU | | 7 | | 1989 | |

* SECTION
7 - Sciences et technologies de l'information (informatique, automatique, traitement du signal)
8 - Electronique, semi-conducteurs, photonique, génie électrique
9 - Mécanique, Génie des Matériaux, Acoustique
12 - Planète Terre : enveloppes superficielles
13 - Physique et chimie de la Terre
14 - Système solaire et univers lointain

** BAP
1 - Informatique et calcul scientifique
2 - Electronique, Electrontechnique
5 - Gestion scientifique et technique
7 - Instrumentation scientifique, techniques de laboratoires et sciences des matériaux

PERSONNELS A STATUT NON PERMANENT

| NOM | Prénom | Année de Naissance | Année d'arrivée | Section | Mode Financement | Qualification |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ***ITA*** | | | | | | |
| GOULLAM ALY | Farouk | 1967 | 1989 | 12 | CDD - Contrat MATRA | ETU |
| JEGU | Catherine | 1967 | 1991 | 14 | CDD - CNES | GES |
| NAPPA | Jean-Marc | 1965 | 1990 | 14 | CDD - CNES | TEC |
| RAFIZADEH | Mehrad | 1960 | 1989 | 8 | CDD - Contrat Météo | INF |
| TABARY | Luc | 1966 | 1990 | | CDD - CNES | Thésard |
| TROST | Michel | 1964 | 1989 | 12 | CDD - CNES | |
| VAN VELTHOVEN | Peter | 1958 | 1990 | 12 | CDD - CEE | ETU |

## Figure du haut

*Instruments mis en oeuvre dans le cadre de l'expérience OLYMPUS et installés provisoirement sur le toit du Centre National d'Etudes des Télécommunications.*

*La photo représente à gauche le radar météorologique en bande X et à droite le récepteur des balises 20/30 GHz*

## Figure du bas

*Représentation tridimensionnelle des lignes de force du champ magnétique terrestre selon le modèle de Tsyganenko, obtenue sur la machine Stellar-FPS 350 avec le logiciel AVS. On a représenté plusieurs "demi-coquilles" magnétiques creuses, définies par le départ de lignes de force sur un demi cercle de latitude magnétique constante à la surface nord de la Terre.*

*L'éclairage est constitué de 8 sources de lumière, dont 4 sont directionnelles et en provenance du Soleil. Le corps est vu sous un angle légèrement incliné par rapport au plan, de coupe des coquilles. Ce type de modélisation est destiné à préparer la mission CLUSTER de l'Agence Spatiale Européenne.*

INIST
3 5400 00285261 5
CNET-IMP-91/7272

| Sections | Cochage | | | Date du dépouillement | | | Cote R_ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 527 H.R. | | | | | | | Année, vol., n° : |
| 526 Arch | | | | | | | |
| 525 Préhis | | | | | | | Urgence : |
| 519 Philo | | | | | | | Priorité (1re section après 527) : |
| 522 H.S. | | | | | | | Direct : |
| 529 Ethno | | | | | | | Retour : |
| 521 Socio | | | | | | | Descente à la MSH : |
| 520 Pédag | | | | | | | |
| 523 Litt | F | P | MP | F | P | MP | Pour lecture<br>Nom : Rendu le : |
| 524 Ling | | | | | | | |
| 528 Adm | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

**Figure du**

*Inst nstallés provisoi ns.*

*La p droite le récepteu*

**Figure du**

*Rep nétique terrestre PS 350 avec le étiques creuses, latitude magnéti*

*L'éc elles et en prov iné par rapport estiné à préparer la mission CLUSTER de l'Agence Spatiale Européenne.*

INIST
3 5400 00285261 5
CNET-IMP-91/7272