



HAL
open science

Rapport d'activité CRPE années 1985-1988

- 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 1985-1988. 1989. hal-02192676

HAL Id: hal-02192676

<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02192676v1>

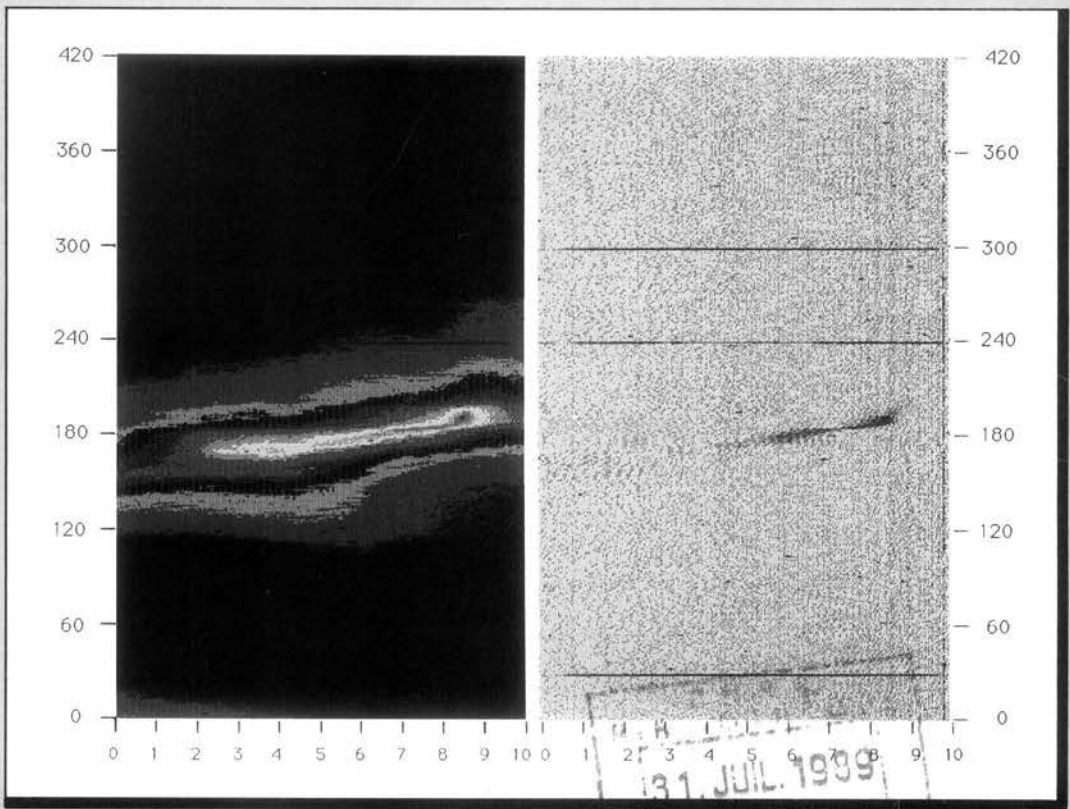
Submitted on 24 Jul 2019

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.

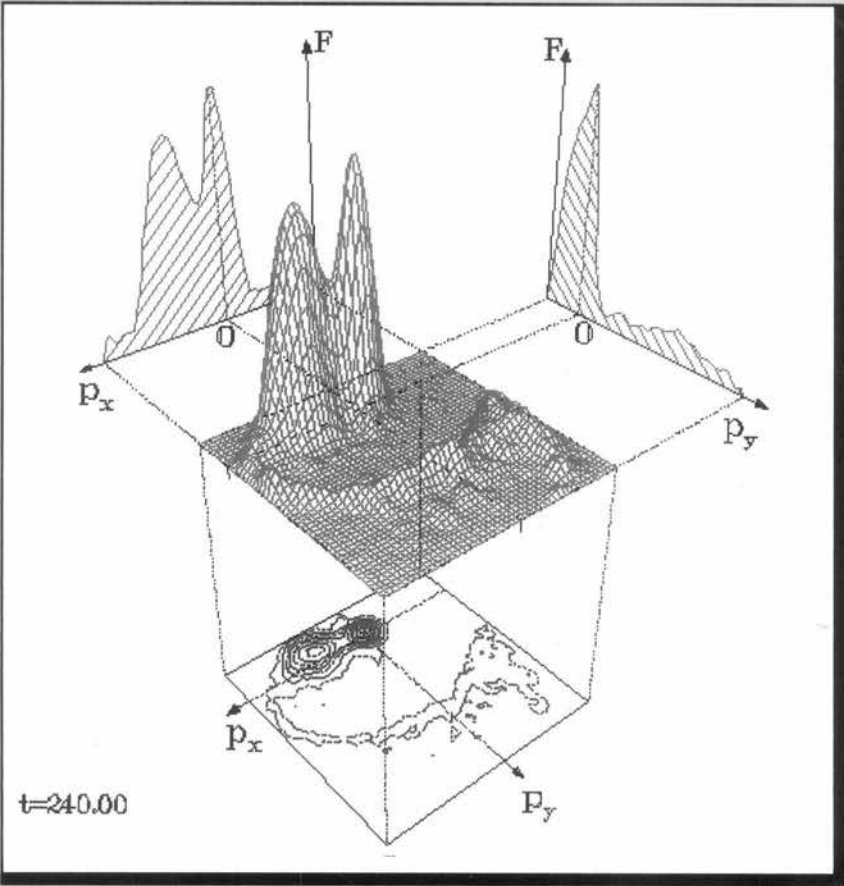
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RP 11444

RAPPORT D'ACTIVITE



ARRIVEE
FRANCE TELECOM



ARRIVEE
01. AOUT 1989

1985

1988

G 86238

CENTRE NATIONAL D'ETUDES
DES TELECOMMUNICATIONS
Centre Paris B

CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Département TOAE

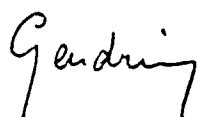
CENTRE DE RECHERCHES EN PHYSIQUE DE
L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE ET PLANETAIRE
Unité Mixte CNET/CNRS

RAPPORT D'ACTIVITE CRPE

ANNEES 1985 - 1988

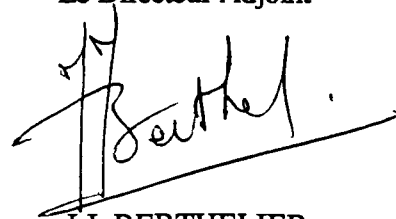
38-40 rue du Général Leclerc
92131 ISSY-LES-MOULINEAUX

Le Directeur



R. GENDRIN

Le Directeur Adjoint



J.J. BERTHELIER

Mai 1989

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 Michelle PENNEC.

L'imprimerie du CNET et le service de dessin du Centre Paris-B en ont réalisé l'iconographie et l'impression.

LABORATOIRES FRANCAIS

LSEET
 M. BROCHE
 M. CROCHET
 M. HANUISE

Université Paris VI
 M. DELLOUE
 M. GARNIER

Laboratoire
 Aérologie Toulouse Directeur M. GUEDALIA

Observatoire
 Meudon Président M. CHARVIN

DAEC
 DASOP
 M. HEYVAERTS
 Mme GENOVA
 M. LECACHEUX
 Mme PICK

DESPA
 M. COMBES
 M. LENA
 M. HARVEY

ENS
 M. ENCRENAZ
 Mme LAVAL

LMD Directeur
 M. SADOURNY
 M. DUBOIS
 M. TEITELBAUM

Observatoire
 Toulouse Directeur M. BLANC
 M. MINSTER

LODYC Directeur
 Mme MERLIVAT
 Mme ETCHETO

Université Pierre et Marie Curie
 UFR 24 "EEA et
 Applications de la Physique" M. ALQUIE

LABORATOIRES ETRANGERS

Max Plank Garching
 M. HAERENDEL
 M. BAUMJOHANN
 M. DUM

Max Plank Lindau
 M. AXFORD
 M. KORTH
 M. KREMSER

Max Plank Heidelberg
 M. KRANKOWSKY

Université IOWA
 M. GURNETT
 M. FRANK
 M. GOERTZ

Université Alaska
 M. AKASOFU
 M. ROEDERER

John Hopkins Lab.
 M. POTEMRA
 M. WILLIAMS

Université Minnesota
 M. KELLOG
 M. WINKLER

NCAR

NOAA

MSFC
 M. CHAPPELL
 M. MOORE

SWRI
 M. BURCH
 M. YOUNG

Bibliothèques

CNET-SDI (2)
 CNET-EDB
 CNET-RPE (Issy) (5)
 CNET-RPE (St Maur) (2)
 Observatoire de Meudon
 CNRS-SA
 CNRS-CDST
 CNRS-LPCE

CNET/ISSY

Directeur
 Directeur adjoint
 Directeur des programmes
 Adjoint Militaire

M. POITEVIN
 M. THEBAUD
 M. MERLIN
 M. COLONNA

DICET

M. BLOCH
 Mme BARANOWSKY
 Mme HENAFF
 Melle PILLET
 M. THUE

PAB/BAG
 PAB/STS
 PAB/SHM
 PAB/STC
 PAB/SAD

M. NOBLANC
 M. THEBAUT
 M. ABOUDARHAM
 M. HOCQUET
 M. BAES

CNET/LANNION

Directeur Lannion B
 Adjoint

M. LE MEZEC
 M. PAPET-LEPINE

LAB/MER

M. LE FAOU
 M. JOINDOT
 M. HANBABA
 M. LASSUDRIE-DUCHENE
 M. MARTIN
 M. MEREL

LAB/TSF

M. LECLERT

CNRS

Directeur du Départ. TOAE
 et de l'INSU
 Directeurs Adjoints INSU

M. BERROIR
 M. AUBERT
 M. CHESSELET
 M. COUTURIER
 M. TOURRES
 Mme LEFEBVRE
 M. DUVAL
 Mme SAHAL
 M. CADET
 M. CHARPENTIER

Adjoint Administratif INSU
 Administration Déléguée 3ème
 Administration Déléguée 5ème
 Chargé de Mission CNRS
 Chargé de Mission INSU
 Directeur du Département SPI

Président de la section 8
 Président de la section 9
 Président de la section 18
 Président de la section 19

M. BERTRAND
 M. MARTINOT
 M. CREZE
 M. LAUBIER

CNES

Président du CNES
 Directeur Général
 Directeur des Programmes

M. LIONS
 M. LUTON
 M. REVAH

DP/SU

M. FELLOUS
 Mme AMMAR
 M. AZOULAY
 M. RATIER
 M. ROCARD

DP/OT

Mme CHEVREL
 M. BEAUDOIN
 M. GRANIER
 Mme TABARIE
 M. AUGER

Affaires Internationales

M. TRAISET
 Mme DEBOUZY
 M. NUTTEN

ETABLISSEMENTS, ECOLES ET MINISTERES**MRT**

M. LOMBARD
 Mme PRADERIE
 M. WALDTEUFEL

METEOROLOGIE

Directeur
 Directeur Ajoint

M. LEBEAU
 M. PASTRE

EPRM

M. DELSOL

CNRM (Toulouse)

M. ANDRE
 M. CHALON
 M. CHONG
 M. GILET
 M. PILON
 M. SETIM

ENST

Directeur

M. GUEGUEN

ENSG

Directeur
 Responsable 3ème cycle

M. TESTARD
 M. MOTTET

MEN

M. ALLEGRE
 M. COURTILLOT
 M. MEGIE

MPTE

M. PETIT
 M. GIRAUD
 M. GLAS

DRET

M. FURKSER
 M. LALLEMAND
 Mme SPIZLEI

Communautés Européennes DG XII

Mme CHABREUIL

LABORATOIRES FRANCAIS**CESR**

Directeur

M. VEDRENNE
 M. ALCAYDE
 M. BOSQUED
 M. REME
 M. SAUVAUD

LPCE

Directeur

M. BEGHIN
 Mme DECREAU
 M. HAMELIN
 M. LEFEUVRE
 M. PARROT
 M. TROTIGNON

PMMS

Directeur

M. FEIX
 M. FIJALCOV
 M. JAMIN

CEPHAG

Directeur

M. LACOUME
 M. GLANGEAUD
 M. KOFMAN
 M. LATHUILLIERE

L2S

Directeur

Mme MACCHI
 M. PICINBONO

LAMP

Directeur

M. RAMON
 M. MASCART

OPGC

Directeur

M. KORNPROBST

SA

Directeur

M. BAUER

PLAN

1.	INTRODUCTION	1
	1.1 Les missions du CRPE	1
	1.2 Les structures	2
	1.3 Activités, résultats, développements et évolution	2
	1.3.1 Physique de l'atmosphère neutre	2
	1.3.2 Sciences d'observation de la terre	2
	1.3.3 Physique de l'environnement ionisé	3
	1.3.4 Sciences pour les Télécommunications	4
	1.4 Publications, enseignement et formation	5
	1.5 Problèmes	5
	1.6 Conclusion	6
2.	PHYSIQUE DE L'ATMOSPHERE NEUTRE	15
	Introduction	15
	A. Résultats	15
	2.1 Processus de moyenne échelle dans l'atmosphère terrestre	15
	2.1.1 Les lignes de grains tropicales	15
	2.1.2 Les fronts atmosphériques	16
	2.1.3 Ondes de gravité et turbulence	19
	2.2 Applications	20
	2.2.1 Radar Stratosphérique Troposphérique	20
	2.2.2 Radar RONSARD	23
	B. Perspectives	23
	2.3 Le projet de radar météorologique Doppler aéroporté "ASTERIX"	23
	2.4 Radar spatial pour la mesure des précipitations (projet BEST)	26

3.	SCIENCES POUR L'OBSERVATION DE LA TERRE	29
	Introduction	29
	A. Résultats	29
	3.1 Instrumentation et méthodologie	29
	3.1.1 Radiométrie hyperfréquence	29
	3.1.2 Radar	31
	3.1.3 Applications informatiques et traitement d'images	37
	3.1.4 Techniques acoustiques	38
	3.2 Applications géophysiques	39
	3.2.1 Applications géophysiques - surfaces continentales	39
	3.2.2 Surface océanique	40
	3.2.3 Etudes de la couche limite atmosphérique	43
	B. Perspectives	44
	3.3 Etudes de l'environnement	45
	3.3.1 Océan	45
	3.3.2 Hydrologie de surface continentale	45
	3.4 Instrumentation ERS-1	46
	3.4.1 Radiomètre ATSR-M	46
	3.4.2 Radiométrie infrarouge	46
	3.4.3 Observations radar sur l'océan	46
	3.5 Instrumentation en hyperfréquences	46
	3.5.1 Radar "ressources renouvelables"	46
	3.5.2 Traitement des signaux des radars imageurs	46
	3.5.3 Eventuelle participation au projet CASSINI	47
4.	ENVIRONNEMENTS IONISES PLANETAIRES	49
	Introduction	49
	A. Résultats	49
	4.1 Electrodynamique et transport à grande et moyenne échelle	49
	4.1.1 Couplage ionosphère/magnétosphère	49
	4.1.2 Observation à haute latitude	50
	4.1.3 Observations en moyenne latitude	52
	4.1.4 Transport vertical du plasma et couplage avec la convection	53
	4.2 Structures laminaires et turbulentes à petite échelle	54
	4.2.1 Développement des arcs auroraux	54
	4.2.2 Accélération des électrons auroraux	55

4.2.3	Turbulence électromagnétique d'Ultra Basse Fréquence	55
4.2.4	Turbulence électrostatique	56
4.3	Interactions entre ondes et particules	56
4.3.1	Rayonnement kilométrique auroral	56
4.3.2	Rayonnement cohérent des étoiles	61
4.3.3	Diffusion angulaire des électrons énergétiques	61
4.3.4	Ondes cyclotroniques ioniques	61
4.3.5	Ondes magnéto-sonores de forte amplitude	61
4.4	Etudes des frontières magnétosphériques	62
4.4.1	Le choc	62
4.4.2	La magnétopause	63
4.4.3	La couche de plasma	63
4.5	Mesures et expériences actives	64
4.5.1	Diagnostic du plasma	64
4.5.2	Expériences actives	64
4.6	Exploration du système solaire	64
4.7	Conclusion	68
B.	Perspectives	68
5.	ELECTROMAGNETISME, THEORIE DES COMMUNICATIONS ET PROPAGATION	71
	Introduction	71
A.	Résultats	71
5.1	Propagation	71
5.1.1	Etudes des trajets multiples sur les liaisons hertziennes	71
5.1.2	Effets des hydrométéores	73
5.1.3	Effets de la troposphère sur les mesures de distance terre-satellite	79
5.1.4	Propagation radioélectrique en milieu urbain	79
5.2	Théorie du signal	80
5.2.1	Algorithmes rapides	80
5.2.2	Evaluation de la qualité des liaisons sur des canaux de propagation perturbés	82
5.2.3	Analyse spectrale haute résolution et traitement d'antennes	83
5.3	Valorisations et collaborations	84
B.	Perspectives	85
5.4	Propagation	85
5.4.1	Trajets multiples	85

5.4.2	Effets des hydrométéores	85
5.4.3	Propagation radioélectrique en milieu urbain	86
5.5	Théorie du signal	86
5.5.1	Algorithmes rapides	86
5.5.2	Analyse spectrale haute résolution et traitement d'antennes	87
6.	DEVELOPPEMENTS INSTRUMENTAUX	89
6.1	Radars et instruments associés	90
6.1.1	Radars strato-troposphériques (PROUST et INSU/METEO)	90
6.1.2	Les radars d'observation de la terre (ERASME)	91
6.1.3	Les études sur oscillateurs	91
6.1.4	Les systèmes de traitement temps réel	92
6.2	Liaisons hertziennes et instruments associés	97
6.2.1	Liaison 35 GHz	97
6.2.2	Liaison 94 GHz	98
6.2.3	Liaison avec les mobiles	99
6.2.4	OLYMPUS	99
6.3	Les expériences embarquées sur satellites	101
6.3.1	Radiomètre ATSR/M	101
6.3.2	Spectrométrie de masse : moyens sol et expériences embarquées	101
6.3.3	Mesure du champ magnétique terrestre : moyens au sol et expériences embarquées sur satellite	102
6.4	Brevets et industrialisation	107
6.4.1	Banc de mesure pour liaison hertzienne à large bande	107
6.4.2	Réfractomètre	108
6.4.3	Spectropluviométrie	108
7.	MOYENS INFORMATIQUES	109
7.1	L'évolution des moyens informatiques de 1985 à 1989	109
7.1.1	Les moyens en 1985	109
7.1.2	L'évolution entre 1985 et 1989	110
7.2	Le dépouillement scientifique	113
7.3	Le temps réel	113
7.4	Les moyens humains	114
8.	ANNEXE	115
	Place des Femmes au CRPE	115
9.	BIBLIOGRAPHIE	119

1. INTRODUCTION

Le présent rapport doit fournir aux Sections du Comité National de la Recherche Scientifique qui ont à en connaître les éléments indispensables pour proposer ou non le renouvellement du CRPE en tant que Laboratoire Propre du CNRS. Il est également soumis à l'examen du Comité Scientifique et du Conseil d'Administration de la structure mixte CNET-CNRS. Ce rapport, dit "à quatre ans" couvre donc les activités, poursuivies de 1985 à 1988. Les chercheurs ingénieurs, techniciens et administratifs qui ont participé à ces activités et à la rédaction de ce rapport ont donc tenu à présenter, dans une optique à la fois globale et prospective, les activités de recherche, de développement et/ou de formation auxquelles ils ont concouru durant ces quatre années.

Le rapport est divisé en 6 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,

ou décrivant les réalisations techniques marquantes dans les domaines de

- l'instrumentation terrestre et spatiale
- l'informatique.

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.

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

Dans la présente introduction, on rappelle brièvement les missions et structures du laboratoire, on donne un aperçu des réalisations et des résultats saillants, effectués ou obtenus

durant les quatre années écoulées et l'on dresse les grandes lignes de la politique de recherche proposée aux instances de direction pour les années à venir.

Un exposé des problèmes les plus importants rencontrés dans l'exécution des missions du laboratoire clôt cette introduction.

1.1 LES MISSIONS DU CRPE

En tant que laboratoire propre du CNRS, le CRPE a pour mission

- d'effectuer des recherches sur les processus physiques qui interviennent dans la constitution et la dynamique de l'environnement terrestre et planétaire (atmosphère neutre et atmosphère ionisée), 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 ;

- de former aux techniques de la recherche de jeunes diplômés d'Université ou d'Ecoles d'Ingénieurs.

En tant que Division du CNET, le CRPE a pour mission

- d'étudier les mécanismes liés à l'environnement, naturel ou artificiel (urbain), qui ont une influence sur la qualité des transmissions radioélectriques en espace libre,

- de contribuer à l'élaboration de nouveaux algorithmes du traitement du signal permettant d'améliorer les techniques de transmission de l'information.

De fait, il n'existe pas de séparation marquée entre ces deux types de mission, le CNET ayant à coeur, de par son rôle d'organisme interministériel, de favoriser, là où sa compétence le permet, le développement d'équipements nouveaux utiles aux recherches sur l'environnement, et le CNRS ayant quelque intérêt pour les recherches en électromagnétisme et en traitement du signal.

1.2 LES STRUCTURES

Le laboratoire est divisé en 5 départements scientifiques⁽¹⁾ et trois départements techniques (Table 1) :

Atmosphère Basse et Moyenne (ABM) : 14 agents
 Observation de la Terre (OBT) : 18 agents
 Electrodynamique des Milieux Ionisés (EMI) : 17 agents
 Ondes dans les Plasmas Naturels (OPN) : 18 agents
 Electromagnétisme, Théorie de la Communication et Propagation (ETP) : 20 agents
 Instrumentation Terrestre et Spatiale (ITS) : 35 agents
 Traitement Informatique des Données (TID) : 21 agents
 Moyens Généraux et Comptabilité (MGC) : 19 agents

La liste des personnels affectés à chaque département est donnée dans le rapport administratif et financier⁽²⁾.

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 (94). Le CRPE est également responsable d'un site d'expérimentation à Saint-Santin-les-Maures (15) pour les expériences atmosphériques mettant en jeu des émissions radioélectriques à forte puissance⁽³⁾, et d'une station d'étalonnage d'antennes magnétiques sur les terrains de l'Observatoire de Chambon-la-Forêt (45).

1.3 ACTIVITES, RESULTATS, DEVELOPPEMENTS ET EVOLUTION

1.3.1 Physique de l'atmosphère neutre

Dans le prolongement des activités antérieures, les recherches en ce domaine ont été orientées vers une approche plus détaillée des échanges thermodynamiques (au voisinage ou à l'intérieur même des nuages) liés au cycle de l'eau (vapeur ↔ liquide), de même que vers l'insertion des données acquises dans le cadre plus général de l'étude des processus météorologiques à moyenne échelle. Ces études sont effectuées principalement grâce à l'utilisation des 2 radars Doppler (RONCARD) du CRPE, dont la modernisation a été partiellement effectuée et doit être poursuivie (cf. chapitre 2).

(1) Le 5^{ème} département : "Observation de la Terre" ayant été créé en 1988

(2) Les chiffres indiqués ci-dessus comprennent les chercheurs ITA (toutes origines confondues) ainsi que les thésards ou les visiteurs dont le stage est supérieur à 6 mois présents au CRPE à la date de rédaction du rapport

(3) Les stations de réception associées de Mende (48) et Monpazier (24) ont été fermées en 1986. Le personnel en charge de ces stations a été réaffecté par les soins de l'INSU et du CNET à d'autres laboratoires. La station de Saint-Santin ne sera plus utilisée comme station permanente à partir de la fin 1989

A ce titre plusieurs campagnes d'expérimentation ont été menées, dont la plus importante a été celle de FRONTS-87, menée en Bretagne (octobre 1987 - février 1988) en collaboration étroite avec la communauté scientifique française et les offices météorologiques de France et de Grande-Bretagne.

Parallèlement, s'est poursuivi le développement d'un ou de plusieurs nouveaux instruments de mesure destinés à l'étude de la dynamique des échanges entre la troposphère et la stratosphère. Le CRPE est impliqué, et joue parfois le rôle de "leader" aux plans scientifique et/ou technique, dans plusieurs projets de radars strato-troposphériques (radars ST) :

- le réseau "recherche" INSU/Météo
- le réseau opérationnel de la Météorologie Nationale (avec ses implications européennes : action COST 74)
- le radar PROUST du CRPE, dont la résolution en distance est 20 fois meilleure (30 m au lieu de 600 m).

La réalisation et la mise en oeuvre de ces instruments a posé de nombreux problèmes techniques, financiers et de personnel. Mais une coopération saine au plan national (laboratoires, INSU, Météo) garantit un bon développement de ces différents équipements, avec toutefois une incertitude en ce qui concerne le potentiel technique nécessaire à la mise en oeuvre des nombreuses campagnes d'expérimentation prévues.

On notera que la technique des radars ST a paru très intéressante au Service Technique de la Navigation Aérienne (STNA), puisqu'un contrat important a été accordé au CNET pour étudier les potentialités de ce type de radar pour la détection des cisaillements de vent au voisinage des aéroports (cf. chapitres 2 et 6).

Au plan des perspectives on notera le projet de radar aéroporté bi-faisceau ASTERIX pour l'étude détaillée du développement temporel et spatial des cellules de pluie, et le projet de radar spatial pour l'étude des précipitations en région tropicale (projet BEST).

1.3.2 Sciences d'observation de la terre

En 1988, un nouveau département a été créé au sein du CRPE, à partir principalement des deux groupes "couche limite" et "télé-détection" du département "Atmosphère Basse et Moyenne" dans son ancienne constitution, auxquels se sont adjoints, par reconversion interne, quelques chercheurs et ingénieurs d'autres départements. La réorganisation qui a entraîné la création de ce département était rendue nécessaire pour plusieurs raisons.

Depuis 1982, les études liées à l'observation de la Terre étaient principalement fondées sur l'utilisation du radar ERASME (en bande C) dans le but de détecter l'humidité des sols, et sur l'utilisation d'images satellitaires (visible et infrarouge) pour étudier les problèmes de bilan hydrique liés

à la végétation. Après la campagne HAPEX-MOBILHY (1986) où l'utilisation des sodars du CRPE avait permis d'étudier la structure à méso-échelle des échanges d'humidité entre le sol, la végétation et l'atmosphère, l'insertion de la thématique du groupe "couche limite" dans les études poursuivies au moyen de la télédétection est apparue nécessaire.

Parallèlement, l'implication de plus en plus importante du groupe "télédétection" dans les études océaniques (campagnes TOSCANE T et 2, préparation du dépouillement des données du radiomètre embarqué ATSR-M) ainsi que les besoins de plus en plus exprimés par la communauté des météorologistes et des physiciens de l'atmosphère ou de l'océan d'obtenir des données sur les échanges entre l'océan et l'atmosphère, ont amené le groupe "couche limite" à définir de nouvelles expériences à la mer (hydrophones pour la mesure des vents, sodar embarqué pour la caractérisation de la couche limite océanique) et à se rapprocher du groupe "télédétection".

Une dernière raison avait contribué à la création de ce nouveau département : le souhait, un moment exprimé par le CNES, de voir le CRPE s'impliquer, avec le soutien du CNET, dans la définition d'un radar spatial imageur. Les discussions (1987-1988) engagées entre le CNES et son Centre Spatial de Toulouse, le CRPE et le CNET n'ont malheureusement pas permis de voir aboutir un projet commun concernant cet instrument. La dynamique engagée s'est cependant poursuivie et le département a été créé.

Les résultats obtenus, tant sur la forêt amazonienne (campagne GUYANE pour valider les méthodes d'étalonnage sur milieu naturel des radars d'ERS-1), que sur l'océan ont conduit le CRPE à étendre les caractéristiques de son radar ERASME en lui associant un radar en bande X et en transformant les antennes réceptrices pour leur permettre de recueillir les deux polarisations. Cet équipement est pratiquement achevé. Hydrophones et sodar "marin" sont également en cours d'installation et d'essais.

Au niveau de la prospective, et indépendamment de l'utilisation de ces trois types d'appareil dans les campagnes décidées par l'Agence Spatiale Européenne pour l'étude des océans (notamment projet RESSAC d'un radar à vagues) ou proposées par la communauté scientifique française (campagnes FLORENCE, ROME, SOFIA), on peut être certain que le département OBT sera impliqué dans les activités suivantes :

- dépouillement des données du radiomètre ATSR-M aux plans opérationnel (correction des données de l'altimètre de ERS-1) et scientifique (suivi du contenu en vapeur d'eau au-dessus des océans et de la température de brillance de ceux-ci),
- participation à l'exploitation des données du radiomètre imageur embarqué sur la mission américaine SIR-C,

- mise en oeuvre de nouvelles méthodes de traitement de ces données ou de données similaires, et simulations du fonctionnement des radars de la future génération, que ceux-ci s'intègrent aux programmes de l'ASE ou à ceux de la NASA.

Il est important de rappeler dans ce cadre que le CRPE a continué de jouer son rôle de "laboratoire-pilote" du DEA "Méthodes Physiques en Télédétection" qu'il avait contribué à créer en 1983. Ce rôle se traduit par la participation importante du personnel du CRPE à l'enseignement de ce DEA, qu'il s'agisse de cours magistraux ou de travaux pratiques. De plus les chercheurs du CRPE assument la direction de nombreuses thèses dans cette discipline. Dans la Table 2 sont rassemblées quelques informations quantitatives concernant ce DEA.

L'une des caractéristiques des recherches menées au CRPE dans le domaine de l'observation de la Terre, qui rejaillit sur la nature de l'enseignement fourni au DEA, est la place fondamentale accordée aux problèmes de la physique de la mesure.⁽⁴⁾ Qu'il s'agisse de techniques actives (radar) ou passives (radiomètres), la conception des équipements nouveaux s'appuie toujours sur une solide connaissance de la physique des interactions entre ondes électromagnétiques et matière. Les contraintes imposées par ces interactions ainsi que par les problèmes de faisabilité technique (taille des antennes, puissance disponible, rapidité du traitement) sont parfaitement connues des concepteurs, ce qui garantit la qualité de l'innovation et des résultats escomptés.

1.3.3 Physique de l'environnement ionisé

L'étude de l'environnement ionisé de notre planète a été à l'origine de la création des diverses entités (groupes de Recherches Ionosphériques, Recherches Spatiales Radioélectriques...) qui ont conduit à la création du CRPE, version 1975 (i.e. Issy-les-Moulineaux/Orléans) et version 1982 (i.e. Issy-les-Moulineaux/Saint-Maur). Il n'est donc pas étonnant que ce soit dans cette discipline que l'on trouve la plus longue continuité et la plus forte utilisation des techniques spatiales. Les études portent principalement sur

- la convection magnétosphérique et ionosphérique
- la nature et la dynamique des frontières ou des structures
- les mécanismes d'accélération de particules et de génération d'ondes dans les environnements naturels, terrestres ou planétaires.

Ces études s'appuient sur des dispositifs expérimentaux situés soit au sol, soit à bord d'engins spatiaux.

(4) Cette remarque est également valable pour de nombreuses recherches menées dans d'autres départements du laboratoire

En ce qui concerne les dispositifs situés au sol, on notera que l'intérêt scientifique s'étant déplacé vers les régions aurorales (où se situe le moteur de la convection et où se manifestent les phénomènes les plus marquants liés à l'interaction entre le vent solaire et la magnétosphère), l'année 1986 a vu la fermeture définitive du système de sondeur ionosphérique à diffusion incohérente, installé à partir de 1966 sur le territoire national (stations de Saint-Santin, Mende et Monpazier). En revanche, le CRPE a continué, durant les quatre années écoulées, à participer au dépouillement des données du sondeur auroral européen EISCAT (mise en oeuvre de la partie VHF du sondeur en 1988) et à l'installation du sondeur à diffusion cohérente franco-québécois SHERPA dont la maîtrise d'oeuvre est assurée par le Laboratoire de Sondage Electromagnétique de l'Environnement Terrestre (LSEET, Toulon). En parallèle, des travaux de modélisation de la convection, prenant en compte les phénomènes de transport dans l'ionosphère et/ou de précipitations de particules, ont été entrepris.

En ce qui concerne les expériences spatiales, le dépouillement des expériences anciennes (GEOS, ISEE, ARCAD) a été poursuivi, et celui des expériences plus récentes (VIKING, GIOTTO) a été entrepris. Dans le cas de l'expérience VIKING, des résultats très nouveaux ont été obtenus sur les mécanismes et les conditions de génération du rayonnement kilométrique auroral.

Le retard du lancement des sondes ULYSSES (pour l'étude du vent solaire en dehors de l'écliptique) et GALILEO (pour l'étude de la magnétosphère de Jupiter), prévu initialement tous deux pour l'année 1986, a porté un préjudice important aux études sur le vent solaire et les magnétosphères, préjudice partiellement compensé par la poursuite dans de bonnes conditions de la mission INTERBALL (projet franco-soviétique d'étude de la magnétosphère, lancement prévu en 1991), et l'acceptation de plusieurs expériences du CRPE sur les missions soviétiques (MARS-94), américaines (satellite POLAR du programme GGS, lancement prévu en 1993) ou européennes (projet de 4 satellites magnétosphériques CLUSTER, lancement prévu en 1996).

La prospective en matière de recherches spatiales sur l'environnement ionisé de la Terre ou des planètes est définie d'elle-même si l'on considère la liste ci-dessus, à laquelle s'ajoute, si les décisions gouvernementales suivent le choix des agences, la participation assurée du CRPE aux missions CRAF (Comet Rendez-Vous and Asteroid Flyby de la NASA) et CASSINI (projet ESA/NASA pour l'étude de la magnétosphère de Jupiter).

La prospective en matière d'expérimentation à partir du sol dans cette discipline est moins évidente, la décroissance des équipes du CRPE qui s'y consacrent étant l'une des questions préoccupantes de la discipline.

En revanche, une porte de sortie semble s'ouvrir avec le développement des études de simulation numérique ou de modélisation des phénomènes ionosphériques ou magnétosphériques. Les équipes responsables de ces travaux, dont la valeur des résultats est déjà reconnue par la communauté scientifique internationale, devraient atteindre prochainement la taille critique. Les moyens informatiques (importants) nécessités par ces travaux ont fait l'objet, au cours des quatre années écoulées, d'un effort particulier du laboratoire et des instances qui le soutiennent financièrement (cf. chapitre 7).

1.3.4 Sciences pour les Télécommunications

Les recherches en sciences des télécommunications recouvrent principalement deux aspects : la propagation (et ses perturbations dues à l'environnement naturel) et le traitement du signal.

En ce qui concerne le premier aspect, les quatre dernières années ont fourni la preuve que des expériences bien conçues pour l'étude des affaiblissements liés aux trajets multiples (expériences PACEM 2 et 3) pouvaient conduire à une approche plus physique des phénomènes observés (dans laquelle d'ailleurs ont été impliquées les équipes étudiant la couche limite planétaire) et à des méthodes de prédiction mieux établies quant à la qualité des liaisons hertziennes horizontales (cf. chapitre 5). Certes de nombreux progrès restent à faire, mais la mise en oeuvre, dès 1989, d'expériences nouvelles sur le réseau opérationnel de la DTRN, en collaboration avec d'autres divisions du CNET, devrait permettre d'aboutir à des méthodes de prévision de la qualité des liaisons qui ne soient pas seulement empiriques et permettent de resserrer la marge nette.

La diffusion des ondes radioélectriques par les hydrométéores est également l'un des sujets de recherche du département "Electromagnétisme, Théorie des communications et Propagation" (ETP). Les expériences à 35 GHz entre la tour Montparnasse et Saint-Maur, ou celles à 94 GHz à Saint-Maur, constituent presque des expériences "de laboratoire" qui devraient permettre d'étudier de façon quantitative les phénomènes d'affaiblissement, de dépolarisation et de diffusion angulaire liés aux hydrométéores.

Ces études trouvent leur prolongement naturel dans la participation du CRPE au programme expérimental de l'Agence Spatiale Européenne dont l'objectif est de déterminer les perturbations qui affectent les liaisons Terre-satellite aux fréquences de 20 et 30 GHz (mission OLYMPUS, lancement prévu en 1989). Un grand complexe expérimental a été mis sur pied, en liaison avec la division ETR du Centre Paris-B du CNET, qui devrait fournir, à partir des années 1990 des informations de nature physique (car associées à des mesures météorologiques détaillées) et statistique (car collectées sur de nombreuses années et en plusieurs sites du territoire national) sur les perturbations apportées par les hydrométéores aux liaisons "obliques".

Parallèlement, le problème des "communications avec les mobiles" en milieu urbain a été abordé. Le camion laboratoire du CRPE circule dans Paris et, grâce à une collaboration avec le Centre d'Etude des Phénomènes Aléatoires Géophysiques (CEPHAG, Grenoble) permet d'obtenir une caractérisation détaillée du canal urbain aux fréquences voisines de 900 MHz.

En traitement du signal, les méthodes mises au point au CRPE sur les transformées rapides ont conduit à diverses applications dans le domaine du filtrage et du codage d'images. De nombreux brevets ont concrétisé le travail de cette équipe qui, malgré sa taille extrêmement réduite, a acquis une renommée internationale.

La qualité des recherches menées au département ETP ne fait aucun doute. De nombreux chercheurs de ce département sont invités, soit à des conférences internationales pour faire des exposés de synthèse, soit dans des pays en voie de développement (Egypte, Chine, Qatar) pour participer à des Ecoles d'Eté ou à la rédaction d'ouvrages. Cependant l'activité de ce département souffre de deux handicaps qui ne permettent pas de fixer avec certitude le devenir à long terme de sa recherche. En effet, cette activité touche d'une part à des questions d'intérêt trop brûlant pour les télécommunications (qualité des liaisons numériques, codage d'images, communication avec les mobiles), questions qui sont abordées dans d'autres divisions du CNET dans une optique plus opérationnelle, pour que le rôle du CRPE dans ce domaine ne soit pas parfois considéré comme intrusif et/ou marginal. Cette activité ne recevant par ailleurs aucun soutien du département des Sciences Pour l'Ingénieur (SPI) du CNRS, le CRPE ne peut se prévaloir de la reconnaissance d'une instance extérieure quant au bien fondé de l'aspect fondamental de sa recherche en ce domaine.

1.4 PUBLICATIONS, ENSEIGNEMENT ET FORMATION

Dans la Table 3 sont recensées les publications et communications du laboratoire pour les quatre années passées. La création du département OBT étant trop récente, on a regroupé la production de ce département avec celle du département ABM dont il est principalement originaire. Cette table appelle quelques commentaires qui seront présentés oralement lors de l'examen du laboratoire par son Comité Scientifique.

La participation des chercheurs et ingénieurs du laboratoire à divers enseignements est approximativement constante au fil des années. A titre d'exemple la Table 4 recense cette participation pour l'année 1988.

De même, l'activité de *formation par la recherche* est une activité importante du laboratoire dont il est difficile de dresser un bilan nominatif, la durée des thèses étant voisine de trois ans. Le nombre de thèse soutenues chaque année est donnée dans la Table 3. Quant à la liste des thésards,

présents en 1988 au laboratoire, elle est donnée dans la Table 5.

La *formation pour la recherche* n'est également pas négligée. Le CNET et le CNRS en organisent la plus grande partie. Mais dans certains domaines techniques de pointe, on est amené à faire appel à des formations payantes fournies par des organismes privés (cf. Table 6, valable pour l'année 1988).

1.5 PROBLEMES

Les quatre années écoulées ont été marquées par des évolutions importantes tant au niveau des thèmes de recherche (océanographie par exemple) qu'au niveau des techniques : développement des techniques en hyperfréquences, évolution explosive des moyens informatiques (cf. chapitre 7).

Ces évolutions ont été rendues possibles grâce au soutien (moral et financier) des deux organismes de tutelle du CRPE⁽⁵⁾, et du CNES. Mais l'utilisation rationnelle des potentialités ainsi ouvertes a été retardée et est de fait mise en danger par les problèmes de personnel qui assaillent le laboratoire.

Au plan des chercheurs, l'absence d'investissement dans les domaines qui relèvent du département SPI rend fragile l'existence de thèmes de recherche en traitement du signal ou en propagation électromagnétique très en amont des besoins des télécommunications.

Au plan des ingénieurs et techniciens, la valse des personnels et, dans le cas des personnels ITA/CNRS l'absence de leur remplacement, a créé des problèmes insurmontables. En quatre années 27 ingénieurs ou techniciens ont quitté le CRPE. Parmi eux, il faut distinguer les personnels CNET (titulaires ou contractuels) dont tous (17), à l'exception d'un, ont été remplacés. La durée moyenne du remplacement de ce personnel, compte tenu des "avances" qui sont consenties par la direction du CNET (anticipation des départs) est d'environ trois mois. Les raisons de leur départ sont multiples, mais de plus en plus on voit apparaître des départs de personnel contractuel vers des postes mieux rémunérés.

Le problème est encore plus grave en ce qui concerne le personnel CNRS. La politique de mobilité libre mise en place dans les années 1985-86 a conduit au départ des meilleurs ingénieurs vers d'autres secteurs du CNRS où ils sont bien accueillis, compte tenu des compétences qu'ils ont pu acquérir dans un laboratoire spatial. En revanche, la difficulté des tâches à accomplir dans un tel laboratoire, avec

(5) On notera que c'est au cours de ces quatre années (en 1988) qu'a finalement été signé le protocole d'accord entre le CNRS et le CNET fixant les règles de fonctionnement du CRPE, version 1982.

les contraintes qu'elles imposent (travail intensif pour respecter les échéanciers, déplacements nombreux et parfois imprévisibles en France comme à l'étranger, absence de liberté dans le choix des vacances), rebute les candidats éventuels.

La décision de fermer les stations du sondeur ionosphérique à diffusion incohérente avait été prise par la direction du CRPE dans l'espoir de récupérer quelques-uns des postes ainsi libérés pour affecter du personnel sur de nouveaux thèmes de recherche. Mais, comme on l'a rappelé dans le rapport d'activité de l'an dernier, aucun poste n'a été ouvert à concours au CRPE durant les années 1987 et 1988. C'est donc au total une perte de 14 % des ITA/CNRS que le laboratoire a dû subir durant ces quatre années.

Informé de cette situation, le CNES essaye de trouver avec l'INSU des solutions permettant d'enrayer cette décroissance. Le CNRS lui-même ouvrira deux postes aux concours pour le CRPE en 1989. Mais le déséquilibre entre les rapports ITA/chercheurs au CNRS et au CNET demeure inquiétant (Table 7). Le CNET contribue pour presque la moitié au personnel ITA du laboratoire, alors que moins du quart du personnel total du CRPE (ITA + chercheurs) est affecté à des études sur les télécommunications.

De même l'absence, depuis les renouvellements de 1988, de représentants du CRPE dans les sections du Comité National ou dans le Conseil Scientifique de l'INSU constitue une situation préoccupante pour les années à venir. Même si l'on peut considérer que les membres de ces instances ne prêchent pas pour leur propre chapelle, il est à craindre que les besoins du CRPE ne soient pas pris en compte au niveau auquel peut prétendre un laboratoire de cette importance.

1.6 CONCLUSION

Durant les quatre années couvertes par ce rapport, des résultats importants ont été obtenus, des réalisations nouvelles ont été effectuées et les thèmes mêmes des recherches ont suivi l'évolution du savoir ou des priorités. Même si quelques ombres apparaissent quant aux possibilités de mener dans de bonnes conditions les programmes annoncés, les perspectives scientifiques ouvertes semblent claires, réalistes et prometteuses. C'est donc avec confiance que le CRPE se présente pour obtenir son renouvellement en tant que Laboratoire Propre du CNRS et Division du Centre Paris-B du CNET.

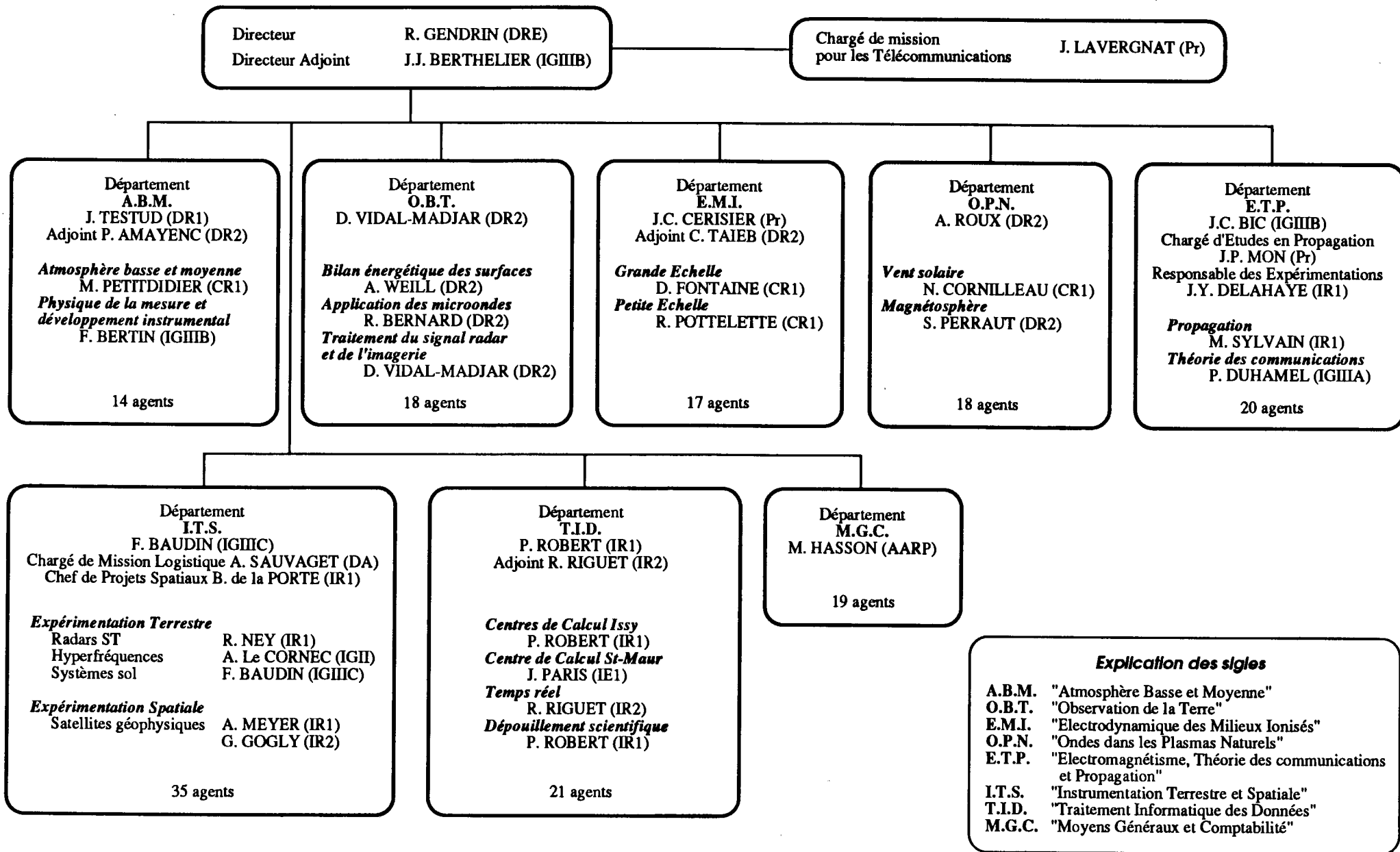


Table 2

DEA "Méthodes Physiques en Télédétection"

1. Caractéristiques du DEA					
	1984	1985	1986	1987	1988
Nombre d'étudiants inscrits	9	14	14	22	20
Nombre d'étudiants reçus	7	13	13	21	18
Nombre d'étudiants en thèse (au 31.03.89)	42				
Nombre de thèses soutenues	12				
Nombre d'étudiants ayant trouvé un emploi (au 31.03.89)	32				
2. Participation du CRPE au DEA					
	CRPE	AUTRES	TOTAL		
Nombre d'enseignants (cours magistraux)	3	14	17		
Nombre d'enseignants (travaux pratiques)	3	6	9		
Nombre de techniciens impliqués (travaux pratiques)	8	0	8		
Nombre de thèses dirigées depuis la création du DEA	14	40	54		
Nombre de thèses soutenues (au 31.03.89)	5	7	12		

TABLEAU 3 - ANALYSE DES PUBLICATIONS PAR DEPARTEMENT

ARTICLES PUBLIES DANS LES REVUES A COMITE DE LECTURE

	OPN	EMI	ABM	ETP	CRPE [*]
1985	09	12	09	15	45
1986	13	08	11	02	34
1987	12	11	09	06	38
1988	05	11	15	07	38

ACTES DE CONGRES ET OUVRAGES COLLECTIFS

	OPN	EMI	ABM	ETP	CRPE [*]
1985	08	19	10	08	45
1986	09	13	28	10	59
1987	04	09	07	12	32
1988	10	04	16	17	47

THESES

	OPN	EMI	ABM	ETP	CRPE [*]
1985	00	02	03	02	07
1986	01	00	01	03	05
1987	01	01	06	01	09
1988	01	00	02	02	05

ARTICLES DE VULGARISATION - FILMS

	OPN	EMI	ABM	ETP	CRPE [*]
1985	00	00	01	00	01
1986	01	00	00	00	01
1987	04	00	01	00	05
1988	02	01	02	00	05

NOTES TECHNIQUES ET DOCUMENTS INTERNES

	OPN	EMI	ABM	ETP	CRPE [*]
1985	02	01	02	05	12
1986	05	03	08	06	23
1987	03	01	05	05	16
1988	07	04	07	07	28

BREVETS

	OPN	EMI	ABM	ETP	CRPE [*]
1985	00	00	00	01	01
1986	00	00	00	03	03
1987	00	00	00	03	03
1988	00	00	00	02	02

COMMUNICATIONS A DES CONFERENCES INTERNATIONALES [**]

	OPN	EMI	ABM	ETP	CRPE [*]
1985	25	18	30	01	74
1986	15	22	13	01	52
1987	25	19	31	01	76
1988	08	18	31	02	59

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

[*] 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

Table 4

Activités d'enseignement pour l'année 1988

- 12 enseignants-chercheurs exercent leur activité de recherche au CRPE. Ils enseignent dans les Universités ou Ecoles suivantes :

Paris -6	:	3
Paris-7	:	4
Paris-11	:	1
Paris-13	:	2
ENS	:	2

- 15 non-enseignants ont donné des heures de cours se répartissant comme suit :

chercheurs CNRS	:	69 hr
ingénieurs CNRS	:	26 hr
ingénieurs CNET	:	161 hr

Ces cours ont été donnés dans les établissements suivants :

Paris-6	2 hr
Paris-7	118 hr
Ecole Polytechnique	98 hr
Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications	6 hr
Ecole Supérieure d'Electricité	21 hr
Ecole d'Eté de Télédétection	18 hr
Divers	7 hr

Table 5. Thésards présents au CRPE en 1988

Nom	Nationalité	Origine	Arrivée le	Nature de la bourse	Sujet	Thèse soutenue en 1988
BEN MEHREZ (F)	Maroc	Paris-7	oct. 1987	G+C	Téledétection (images)	
BENESTY	Maroc	Paris-11	oct. 1988	MRT	Traitement du signal	
BERRADA BABY (F)	Maroc	Paris-7	oct. 1985	IGN	Télécommunications (DORIS)	X
CAUNEAU	France	Paris-7	oct. 1984	CNET	Océanographie (ATSR-M)	X
CIARLETTI (F)	France	Ecole Centrale	oct. 1986	CNET	Télécommunications (PACEM)	
DUBOULOZ	France	Ecole Polytechnique	oct. 1988	X	Magnétosphère (VIKING)	
GONDEAU (F)	France	FIST Paris-13	oct. 1987	BDI	Atmosphère (BEST)	
GHAHREMANI (F)	Iran	Paris-7	fév. 1987	CNET	Télécommunications (PACEM)	
HILGERS	France	ENS (Ulm)	oct. 1988	ENS	Magnétosphère (VIKING)	
HMIDA	Tunisie	Paris-11	oct. 1985	CNET	Traitement du signal	X
JUNG (F)	France	Paris-7	nov. 1987	CIFRE	Téledétection (radars)	
LI	Chine	CRIRP	nov. 1987	CNET	Télécommunications (PACEM)	
LOJOU	France	Paris-7	jan. 1988	CNES	Océanographie	
LOUARN	France	ENS (Ulm)	sept. 1985	ENS	Magnétosphère (VIKING)	X
MALLET (F)	France	FIST Paris-13	oct. 1988	CNET	Télécommunications (OLYMPUS)	
MARZOUG	Tunisie	X/ENST	oct. 1986	CNES	Atmosphère (BEST)	
MASMOUDI	Tunisie	Paris-6	jan. 1986	G+C	Atmosphère (HAPEX)	X
MOTTEZ	France	Sup. Elec.	oct. 1987	CNET	Magnétos. (simulation numérique)	
MOU	Chine	Paris-11	nov. 1986	G+C	Traitement du signal	
MOUNIR	Maroc	Paris-6	nov. 1987	G+C	Magnétosphère (ARCAD)	
NASSR	France	Ecole Centrale	oct. 1987	CIFRE	Téledétection (radars)	
PEYMIRAT	France	Paris-7	oct. 1988	MRT	Ionosphère (EISCAT)	
ROUCHETTE	France	Paris-6	nov. 1988	CNES	Magnétosphère (GGS)	
SAVOINI	France	Paris-6	oct. 1988	MRT	Magnétos. (simulation numérique)	
SUN (F)	Chine	Paris-7	nov. 1986	G+C	Atmosphère (FRONTS)	
TOUZIN	France	Paris-11	oct. 1985	CNET	Magnétosphère (ISEE)	
WU	Chine	CRIRP	oct. 1987	CNET	Ionosphère (EISCAT)	
YOUSSEF	Liban	Sup. Elec.	sept. 1988	CIFRE	Magnétosphère (CLUSTER)	
ZHANG (F)	Chine	ENST	nov. 1986	CNET	Traitement du signal	
ZHONG	Chine	Paris-6	juin. 1986	G+C	Téledétection (HAPEX/MESOGERS)	

F : sexe féminin

G : bourse du gouvernement étranger

C : complément fourni par le laboratoire

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

Table 6**Formation interne en 1988**

On distingue les sessions de formation fournies par le CNET ou l'ENST, celles fournies par le CNRS et celles fournies par des Sociétés privées.

CNET/ENST

Formation professionnelle :	119 journées pour 33 agents
Amélioration des connaissances :	35 journées pour 7 agents

CNRS

Formation professionnelle :	10 journées pour 3 agents
-----------------------------	---------------------------

Sociétés privées

Formation professionnelle :	24 journées pour 8 agents
-----------------------------	---------------------------

ANALYSE DU PERSONNEL PAR ORIGINE, ACTIVITE et FONCTION

(sur la base du fichier du personnel CRPE, sortie du 28/03/88)

CLASSEMENT PAR ACTIVITE

Thème	Environnement	Télécommunications	Soutien	Total
CNET	28	16	11	55 ⁽¹⁾
CNRS	52	4	10	66
Universitaires	10	1		11
ORSTOM	2	1	1	4
Thésards/Visiteurs ⁽²⁾	17	9		26
Total	109	31	22	162

CLASSEMENT PAR CATEGORIE

Catégorie	Cherc.	Ing.	Techn.	Administ.	Total ITA	Rapport ITA/Cher.
CNET	17	12	20	6	38	2.24
CNRS	25	26	6	9	41	1.64
Univers.	11					
ORSTOM		2	1	1	4	
Thésards / Visiteurs ⁽²⁾	26					
Total (hors CNET)	62	28	7	10	45	0.73
Total général	79	40	27	16	83	1.05

(1) auxquels il convient d'ajouter 4 agents CNET détachés dans d'autres formations de l'INSU (3) ou aux TAAF (1).

(2) Seuls sont comptés les visiteurs effectuant des séjours au CRPE de durée égale ou supérieure à un an.

2. PHYSIQUE DE L'ATMOSPHERE NEUTRE

INTRODUCTION

Les études concernant l'atmosphère météorologique au CRPE, ont fait l'objet d'une activité très soutenue au cours des quatre dernières années. En 1988, un effort de restructuration rendu nécessaire par la taille trop importante du département (plus de 20 chercheurs) a conduit à constituer la composante "Télé-détection" en département autonome, compte tenu de ses perspectives de développement rapide (cf. partie 3).

Le nouveau département "Atmosphère Basse et Moyenne", conservant l'ancien sigle ABM, comporte deux groupes "Physique des phénomènes à petite et moyenne échelle" et "Physique de la mesure et développement instrumental", sans rupture dans la continuité ou le développement des thèmes de recherche dont il conserve la conduite.

Le premier groupe poursuit les études concernant la convection atmosphérique en associant les moyens d'observation des systèmes précipitants (radars météorologiques Doppler RONSARD) et des phénomènes en air clair (radars Strato-Troposphériques UHF ou VHF). Son activité procède essentiellement de l'exploitation scientifique de grandes campagnes coopératives menées pour l'étude de la convection tropicale ou frontale.

Le deuxième groupe s'occupe plus particulièrement du développement des projets instrumentaux et traite, à cet effet, des problèmes de théorie de la mesure et des études scientifiques qui leur sont liés. Il s'agit, en premier lieu, d'étudier l'utilisation de radars ST pour la surveillance météorologique en milieu aéroportuaire. Par ailleurs, deux études à plus long terme, ont évolué en parfaite synergie : le projet de radar météorologique Doppler aéroporté ASTERIX et le projet de radar spatial pour la mesure des précipitations dans le cadre de la mission BEST.

L'activité scientifique, menée depuis quatre ans, est présentée ci-dessous en distinguant :

- l'étude des processus de moyenne échelle, observés dans la convection tropicale, les systèmes frontaux ou faisant intervenir de façon générale les ondes et la turbulence atmosphériques

- les applications des recherches qui concernent d'une part, le développement de radars ST pour le futur réseau de recherche et de météorologie opérationnelle ainsi que pour des mesures de cisaillement de vent intéressant la sécurité aérienne, et d'autre part, l'utilisation de radars météorologiques dans l'environnement de liaisons par télécommunications

- les projets à plus longue échéance : le radar Doppler aéroporté (projet ASTERIX) et le radar /pluie spatial (projet BEST).

A. RESULTATS

2.1 PROCESSUS DE MOYENNE ECHELLE DANS L'ATMOSPHERE TERRESTRE

2.1.1 Les lignes de grains tropicales

Les données acquises à l'aide des radars météorologiques Doppler RONSARD au cours de l'expérience COPT 81 (Mai-Juin 1981 à Korhogo dans le Nord de la Côte d'Ivoire) ont permis de mener à bien plusieurs études concernant les lignes de grains tropicales. Il s'agit d'ensembles d'orages organisés en lignes d'orientation générale Sud-Nord, communs à toute l'Afrique de l'Ouest (et à bien d'autres régions du globe), qui se déplacent d'Est en Ouest à une vitesse d'environ 60 km/h. Leur très grande extension spatiale (jusqu'à 1 000 km de long et 500 km de large) et leur longue durée de vie (d'une dizaine d'heures à plusieurs jours) en font des éléments essentiels de la climatologie locale.

Il faut d'abord souligner que ce type de phénomènes météorologiques n'avaient encore jamais fait l'objet d'études du type de celles mises en œuvre lors de COPT 81. En effet si des moyens importants avaient été déployés pour certaines

expériences de même type au cours des années 70 (BOMEX, VIMHEX, GATE, ...), il n'y avait encore jamais eu de mesures par radars météorologiques Doppler permettant d'appréhender la structure interne des lignes de grains.

Onze lignes de grains ont été observées au cours de COPT 81, parmi elles quelques unes ont fait l'objet d'études plus approfondies (cas des 22 Juin, 23-24 Juin, 17 Juin et 27 Mai 1981). Dans un premier temps, l'analyse des observations effectuées par les radars RONSARD en différents modes (COPLAN dans les précipitations les plus intenses, VAD dans les précipitations stratiformes) ont permis de reconstituer la circulation interne de ces lignes de grains. Conformément aux modèles conceptuels qui avaient été élaborés à partir d'observations antérieures moins détaillées, deux régions principales avec des caractéristiques cinématiques différentes ont été mises en évidence. A l'avant par rapport au déplacement, des mouvements verticaux intenses et les plus fortes précipitations se produisent dans la Région Convective large de 30 à 60 km. A l'arrière, la Traine Stratiforme, qui s'étend sur 100 à 300 km, est le lieu de mouvements verticaux plus faibles avec un courant ascendant au-dessus de 4 000 m environ et un courant descendant au-dessous. Un point remarquable de cette circulation est le Courant de Retour, flux initié en moyenne troposphère à l'arrière des lignes de grains et qui se propage vers l'avant des lignes de grains à une vitesse un peu plus rapide que leur déplacement en descendant lentement vers la surface.

A partir de ces résultats, pendant la période 1984-1988, des méthodes d'analyse plus élaborées ont été développées pour appréhender les processus physiques qui permettent l'entretien de ces structures. Une résolution variationnelle des équations du mouvement et de la chaleur a permis d'en déduire des champs de perturbations de pression et de température par rapport à l'environnement. On a ainsi pu montrer dans les basses couches le rôle essentiel du soulèvement forcé de l'air potentiellement instable du flux de mousson par la force verticale de pression résultant de la propagation du flux de retour, la flottabilité thermique devenant ensuite la force majeure en moyenne troposphère. Le calcul des flux intégrés de chaleur et de quantité de mouvement a également permis de quantifier l'influence des lignes de grains sur leur environnement avec notamment un refroidissement dans les basses couches et un réchauffement en altitude, un transfert de flux d'Ouest de la basse vers la moyenne troposphère, de flux d'Est de la moyenne vers la basse troposphère.

Parallèlement, l'étude numérique des équations d'évolution des différents contenus en eau (vapeur, nuage, précipitations, eau liquide, glace) à l'aide de la cinématique observée a été entreprise en vue de comprendre les mécanismes liés à la formation des précipitations. Ces résultats ont montré notamment que, dans la région convective des lignes de grains, l'essentiel des processus se déroulent en phase liquide avec des temps caractéristiques

assez brefs. Une proportion notable de la vapeur d'eau condensée dans les forts courants ascendants convectifs n'est pas transformée en précipitations, mais est transférée en moyenne et haute troposphère vers la traine stratiforme. Là, les processus microphysiques qui font intervenir la phase glace jouent un rôle beaucoup plus important. La fonte et l'évaporation des précipitations ainsi formées sont aussi plus marquées, ce qui conduit à un fort refroidissement sous la base du nuage stratiforme permettant d'expliquer l'initiation du courant de retour.

Ces résultats ont donné lieu à plusieurs articles dans des revues à comité de lecture [2001, 2005, 2006, 2007, 2008, 2010, 2014, 2016, 2018, 2019, 2021], à une thèse d'Etat [2602] et à de nombreuses communications à des conférences internationales [2205, 2206, 2213, 2215, 2220, 2225, 2228, 2238 ; 2710, 2711, 2712, 2714, 2721, 2723, 2724, 2732, 2733, 2742, 2763]. De plus, il faut signaler que les observations relatives aux lignes de grains des 22 et 23-24 Juin 1981 ont été incluses dans une banque de données internationale, dans le cadre d'un programme de comparaisons entre les approches théoriques, les simulations numériques et les observations de la dynamique et de la microphysique des nuages précipitants. C'est ainsi qu'une session du Second International Cloud Modelling Workshop (Toulouse, 8-12 Août 1988) a été consacrée aux modélisations numériques de ces lignes de grains de COPT 81, avec notamment des comparaisons entre les résultats obtenus par différents groupes (W. Cotton, Colorado State University ; W. Hall, NCAR ; J. P. Lafore et G. Caniaux, CNRM/EERM ; F. Lipps, Princeton University ; P. Scheidgen, DFVLR, RFA) et les observations des radars RONSARD [2409].

Deux illustrations (*figures 2.1 et 2.2*) montrent des champs thermodynamiques et microphysiques restitués à partir des données des radars RONSARD.

2.1.2 Les fronts atmosphériques

De 1985 à 1988, les travaux concernant l'étude des systèmes frontaux [2012, 2702, 2704] de moyenne échelle ont été réalisés à partir des données de l'expérience FRONTS 84 [2011], campagne de mesure organisée dans le sud-ouest de la France, au cours des mois de mai et juin 1984. Ils se poursuivent depuis le début de 1988 par l'analyse et l'interprétation des données de l'expérience européenne FRONTS 87 [2015] centrée sur la région de Brest (octobre 1987-janvier 1988).

FRONTS 84

Les moyens mis en œuvre lors de FRONTS 84 ont permis l'étude de la convection frontale organisée avec une tentative de la replacer dans son contexte synoptique (le système frontal) pour comprendre les raisons de son organisation et de son déclenchement [2401, 2419, 2427]. Les acquis de FRONTS 84 ont été mis à profit pour

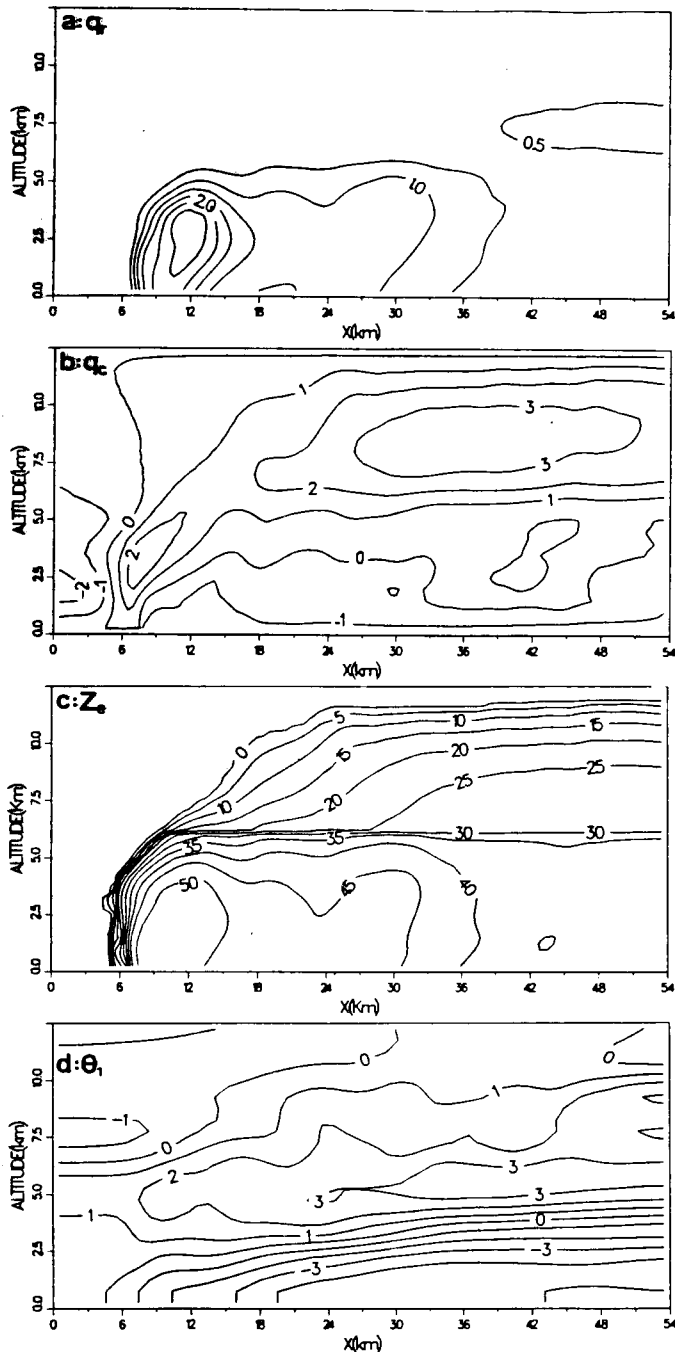


Figure 2.1. Champs bidimensionnels verticaux dans la partie convective de la ligne de grains du 22 Juin 1981: (a) contenu en précipitations (en g.kg^{-1}), (b) contenu en eau nuageuse non précipitante (en g.kg^{-1}), (c) réflectivité équivalente (en dBZ), (d) perturbations de température (en $^{\circ}\text{K}$) [2016].

organiser l'expérience FRONTS 87. Ils ont porté sur les trois aspects suivants : scientifique, méthodologique et logistique.

Du point de vue scientifique, l'identification des mécanismes physiques responsables de la formation en bandes ou en lignes des précipitations aux échelles moyenne et convective ont pu être menés à bien pour trois cas

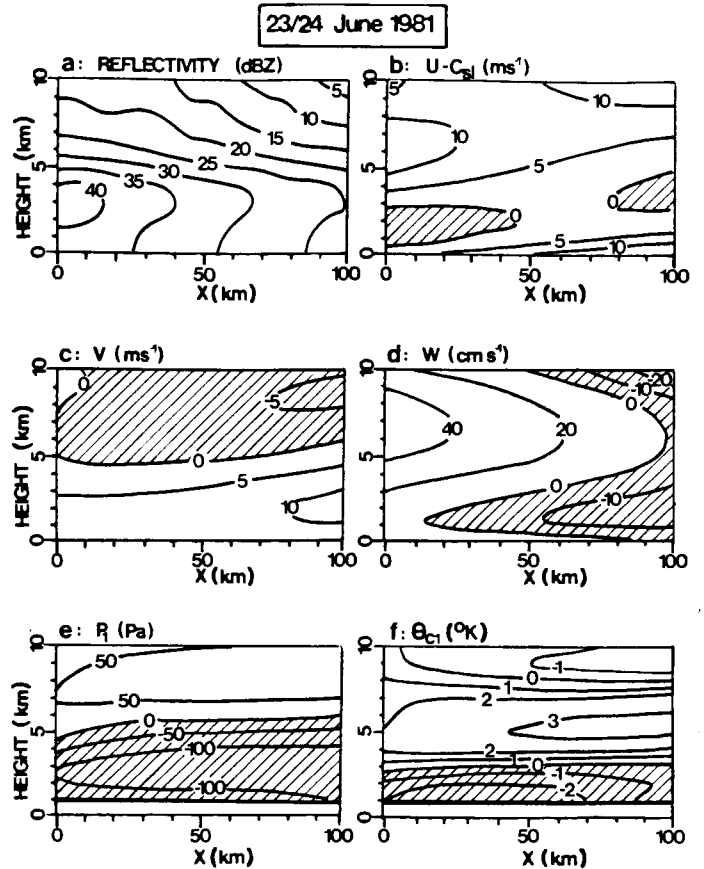


Figure 2.2. Champs bidimensionnels verticaux dans la traîne stratiforme de la ligne de grains du 23-24 Juin 1981: (a) réflectivité radar (en dBZ); (b) composante relative de vitesse parallèle au déplacement (en m.s^{-1}), (c) composante de vitesse perpendiculaire au déplacement (m.s^{-1}), (d) vitesse verticale (en cm.s^{-1}), (e) perturbations de pression (en Pa), (f) perturbations de température (en $^{\circ}\text{K}$) [2019].

d'observation. En effet, l'expérience a fourni des cas de convection organisée qui ont permis d'étudier séparément les deux entités principales caractéristiques de la zone frontale, à savoir, la discontinuité frontale froide et le jet de basse couche présent à l'avant. On a ainsi pu étudier l'interaction entre l'air froid situé à l'arrière de la discontinuité (et résultant de processus de grande échelle) et la convection intense ou faible (cas du 4 juin 1984 [2216, 2703, 2705, 2722]), le rôle du jet de basse couche dans l'organisation et le déclenchement de la convection (cas du 18 mai 1984 [2223, 2720, 2753]), le comportement de la zone frontale en courant de densité (cas du 18 mai et du 4 juin 1984). L'analyse détaillée de ces différents cas a confirmé le rôle primordial de l'instabilité symétrique conditionnelle (ou ISC) et de la circulation associée dans le déclenchement et l'entretien de la convection. Toutefois, le lien de ces mécanismes de moyenne échelle avec le contexte synoptique n'a pu être établi de façon totalement satisfaisante du fait de la présence des Pyrénées (effet de relief perturbateur sur les circulations d'échelle synoptique) et surtout de l'insuffisance des moyens d'encadrement à cette échelle (réseau de radiosondages, de radars ST).

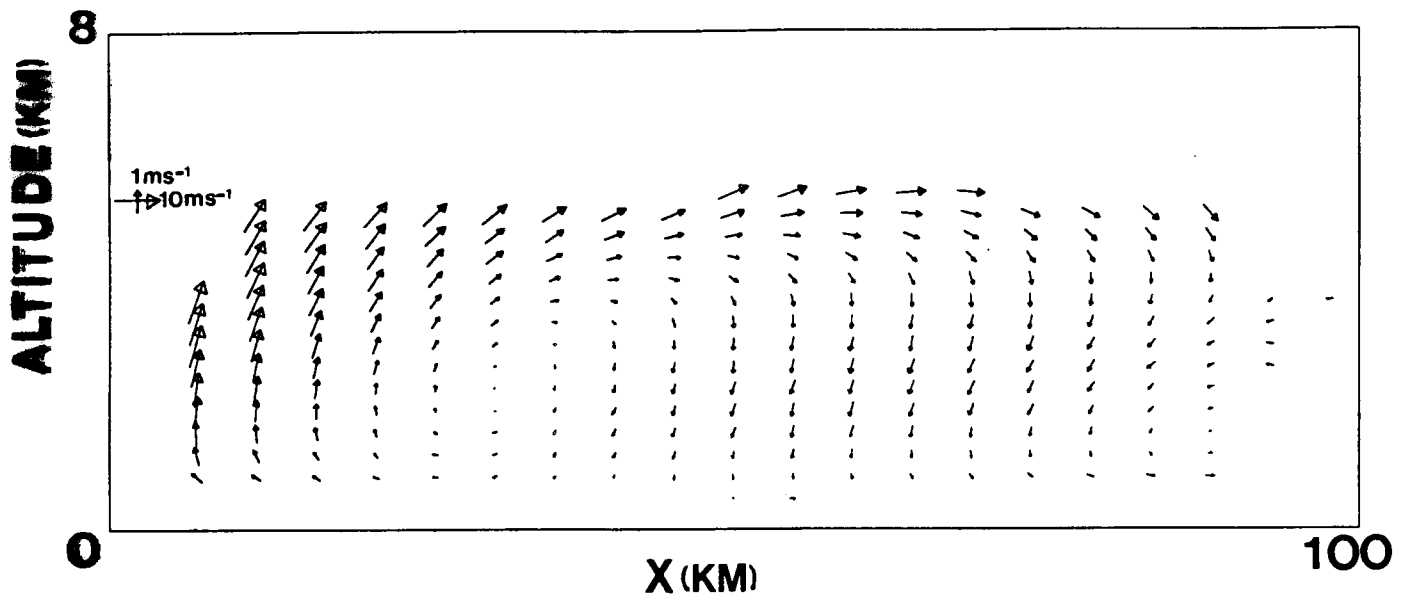


Figure 2.3. Mise en évidence des rouleaux caractéristiques de l'instabilité symétrique conditionnelle (observation des bandes postfrontales du 4 juin 1984) à l'aide de la nouvelle méthodologie tridimensionnelle MANDOP.

Du point de vue méthodologique, la restitution du champ de vent tridimensionnel à moyenne échelle est apparue comme une nécessité pour l'étude des circulations de moyenne échelle dans les systèmes frontaux. On a ainsi développé une nouvelle méthode d'analyse des champs de vitesses radiales issues de (au moins) deux radars Doppler [2221, 2713, 2725, 2762]. Disons simplement que dans cette méthode, appelée MANDOP, chaque composante du vent est supposée être exprimable sous la forme d'un produit de trois développements en séries de fonctions orthonormales, chaque fonction dépendant d'une seule coordonnée d'espace. On peut ainsi également exprimer la vitesse radiale vue par chaque radar sous cette forme. Afin de déterminer les coefficients inconnus, cette forme analytique du vent radial est ajustée aux vents radiaux observés, au sens des moindres carrés, et, de plus, contrainte à vérifier sous forme variationnelle l'équation de continuité et la condition au sol (vitesse verticale nulle). Un exemple de restitution du champ de vent tridimensionnel obtenu par cette méthode est donné *figure 2.3*. Il concerne un système convectif postfrontal (4 juin 1984) pour lequel l'organisation en bandes des précipitations résulte de la circulation de l'air sous forme de rouleaux de moyenne échelle liée à l'ISC. La méthode MANDOP permet également la restitution des champs de perturbation de pression et de température au moyen de l'utilisation de l'équation du mouvement.

Enfin, les problèmes rencontrés au cours de l'interprétation des données de FRONTS 84 sont apparus liés à l'insuffisance du dispositif expérimental à moyenne échelle, et ont conduit à mettre sur pied un dispositif plus complet lors de FRONTS 87, avec un réseau de moyenne échelle comportant trois radiosondages associés à trois radars ST et à trois sodars, et les deux radars Doppler du CRPE pour appréhender la dynamique du système frontal dans son

ensemble, depuis l'échelle synoptique jusqu'à la petite échelle (de l'ordre de 100 m).

FRONTS 87

Le réseau imbriqué de mesures complémentaires (radars Doppler, mesures in situ par avions,...) de FRONTS 87 [2410, 2414, 2415, 2416, 2420, 2421, 2424, 2425, 2426, 2715, 2716, 2717, 2718, 2735, 2743, 2752, 2759, 2761, 2765, 2766, 2769, 2902], mis en oeuvre par les équipes françaises et anglaises du 18 octobre 1987 au 13 janvier 1988, va permettre l'étude des fronts hivernaux pour lesquels les phénomènes convectifs sont de moindre importance et risquent donc moins de masquer les phénomènes liés aux circulations de plus grandes échelles (rouleaux ISC des bandes de pluies frontales [2017] par exemple).

L'objectif principal de cette expérience concerne l'interaction entre les différentes échelles de mouvement qui caractérisent le système frontal, de la petite échelle des pluies intenses au niveau des discontinuités de masse d'air jusqu'à l'échelle synoptique de la frontogénèse et des ondes frontales.

Les cas étudiés au CRPE couvrent les périodes d'observations intensives (IOP) du 9 et du 12 janvier 1988 [2232, 2234, 2235] et concernent les thèmes suivants :

- la dynamique de la ligne de convection associée à la discontinuité frontale froide,
- la dynamique des bandes de pluie larges pré et postfrontales qui se produisent avant et après le passage du front froid,
- les interactions entre processus microphysiques et dynamiques dans la ligne de convection.

Il est certes trop tôt pour dresser un bilan des acquis scientifiques de FRONTS 87. Toutefois, les premiers résultats prometteurs des études engagées, qui ont fait l'objet

de communications à des conférences internationales, semblent montrer que les objectifs affichés seront atteints. Ils concernent d'une part, la comparaison des différents types d'observations (radiosondages, satellites, réseau radar, radars Doppler, radar ST, stations automatiques) pour en déduire l'organisation à mésoéchelle des précipitations associées au front froid du 12-13 janvier 1988.

D'autre part, des études plus spécifiques conduites principalement à partir des données des radars RONSARD et ST acquises lors du passage de la bande étroite de front froid de cette même IOP ont montré le rôle essentiel de l'évaporation des précipitations dans l'entretien du système via le refroidissement de l'air post-frontal dans les basses couches et le soulèvement forcé de l'air convectivement neutre du secteur chaud (figures 2.4 et 2.5). L'analyse des observations relatives à cette IOP ainsi qu'à celle du 9 janvier 1988 se poursuivra au cours des prochaines années et devrait donner matière à de nombreuses coopérations aux niveaux français et européen.

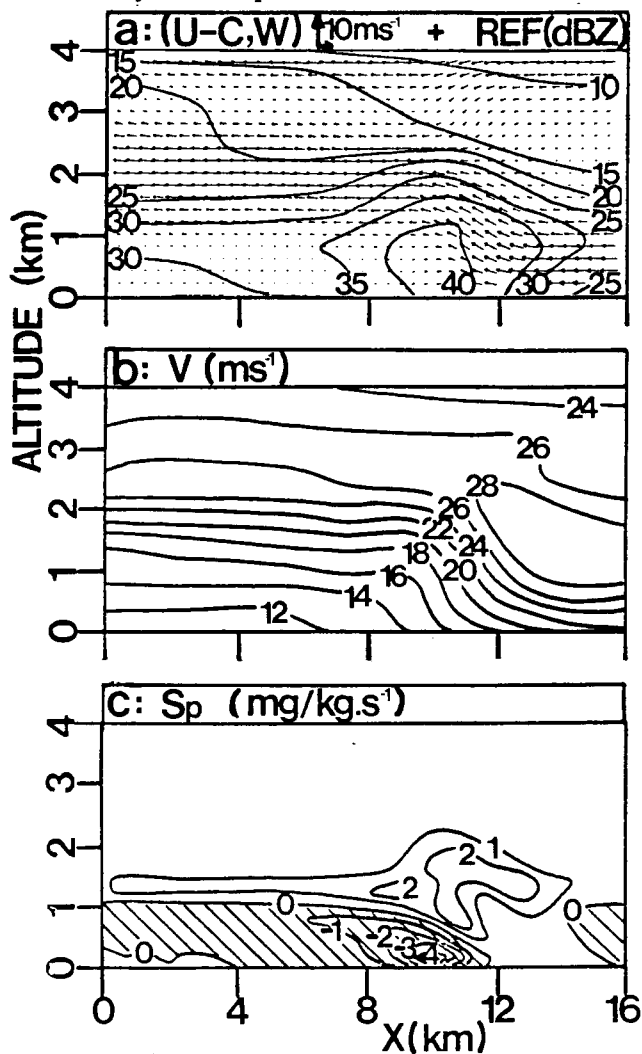


Figure 2.4. Structure fine de la ligne de convection étroite du front froid observé le 12 janvier 1988 [2237].
 a. Vitesse relative et réflectivité dans un plan vertical perpendiculaire au front.
 b. Vitesse parallèle au front.
 c. Taux de production des précipitations

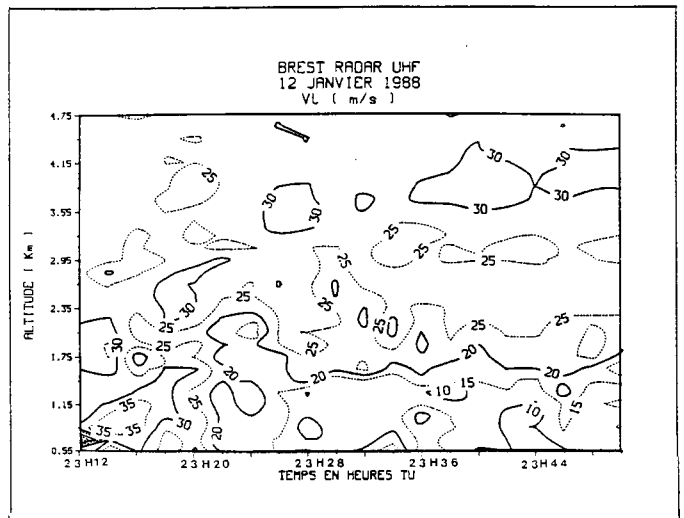


Figure 2.5. FRONTS 87 : Structure fine d'un front froid - heure de passage indiquée par la flèche - observé à Brest par le radar UHF - INSUIMETEO (961 MHz) avec une résolution temporelle de 2 mn et en altitude de 150 m. VL : vitesse du vent le long du front avec à l'avant du front un jet de basse couche et VC : le long de la direction de propagation du front sur laquelle on observe le mouvement des différentes masses d'air relativement au front (vc > 0 de même sens que le front) [2234].

2.1.3 Ondes de gravité et turbulence

Objectifs des recherches

On sait que l'énergie mécanique créée dans la troposphère par l'activité météorologique et par l'interaction du vent géostrophique avec les reliefs est capable de se propager verticalement sous forme d'ondes susceptibles de pénétrer dans la stratosphère et la mésosphère jusqu'à des altitudes supérieures à 100 km.

Cette énergie est redistribuée dans ces régions de l'atmosphère sous l'effet de processus non linéaires tels que niveaux critiques ou saturation des ondes. Cet apport d'énergie est capable de modifier de manière significative la structure dynamique et thermique des régions concernées. Il est donc important d'améliorer notre connaissance sur les sources (processus de génération) la propagation et la dissipation des ondes atmosphériques ainsi que d'en quantifier les effets. A cet égard, la tropopause joue un rôle important dans le bilan des transferts d'énergie, mais aussi de constituants entre la troposphère et la stratosphère. Cette interface joue le rôle de filtre pour les ondes (filtre dont les caractéristiques sont variables et très peu connues) et de barrière plus ou moins poreuse pour les échanges de constituants. On sait maintenant que la structure de cette interface n'est pas uniforme mais présente localement des ruptures ou foliations (liées à des phénomènes de frontogénèse d'altitude) qui sont le siège d'un intense mélange turbulent entre des masses d'air d'origines troposphériques et stratosphériques. Le bilan des échanges ainsi réalisés reste à faire.

L'activité des recherches du CRPE dans ce domaine concerne :

- l'étude de la structure fine du champ turbulent et de l'interaction onde/turbulence,

- l'étude de la génération et propagation des ondes (mécanismes et bilans),

- l'étude de la dynamique de la tropopause (ruptures et foliations).

Cette recherche se développe grâce à l'utilisation de radars ST.

- Le radar UHF PROUST dont la haute résolution spatiale (30 m) permet une mesure fine des structures dynamiques dans l'atmosphère,

- Un réseau de radars ST construit en collaboration avec le CNRS/CNRM, le département technique de l'INSU et le LSEET. Ce réseau a fonctionné de manière continue pendant la campagne internationale FRONTS 87 (octobre 1987 à janvier 1988).

- Le radar UHF d'Arecibo, lors d'une campagne de comparaison avec des mesures in situ sous ballons instrumentés. Cette campagne s'est déroulée en collaboration avec le LMD et l'observatoire d'Arecibo.

Structure fine de la turbulence

Le radar PROUST a montré qu'en général [2009, 2209, 2210], la turbulence n'est pas homogène dans une tranche de 600 m, mais que des couches actives sporadiques de faible épaisseur sont le plus souvent responsables du signal obtenu. Une résolution de 30 m [2004, 2731] permet donc d'étudier la structure fine du champ turbulent et de préciser les caractéristiques spatio-temporelles de l'intermittence de la turbulence atmosphérique.

Par ailleurs, une campagne de mesure coordonnée associant le radar UHF d'Arecibo à des mesures de vent et de température in situ (en collaboration avec l'observatoire d'Arecibo et le Laboratoire de Météorologie dynamique) a permis de mieux comprendre la relation existant entre le profil de variance du vent horizontal et la réponse du radar [2207, 2222, 2768].

Ondes de gravité

Une étude sur la génération/propagation des ondes dans la troposphère a été entreprise avec le radar PROUST [2204, 2209]. On a montré qu'en situation météorologique stable (Hautes pressions, Vent horizontal faible), la troposphère peut osciller à la fréquence de Brunt-Väisälä. Un tel exemple est montré sur la *figure 2.6a* où une période de 8 minutes est observée sur le vent vertical, sans variation visible de la phase entre 2500 et 9000 m. Ces résultats sont en bon

accord avec les spectres des vitesses verticales obtenues en période calme dans la stratosphère par des radars ST VHF (expérience ALPEX et UHF (radar d'Arecibo à 430 MHz)).

Par ailleurs, une étude sur la génération et la propagation des ondes de gravité dans les fronts a été entreprise à partir des données enregistrées lors de la campagne FRONTS 87 par le réseau de radars ST, les sodars et les radars RONSARD. Cette étude est en cours de développement. Les jets de basse couche liés aux fronts semblent apparaître comme de bons candidats à la génération des ondes.

Etude de l'interaction ondes-turbulence

L'étude expérimentale et théorique de l'interaction ondes-turbulence s'est poursuivie à partir des données du radar PROUST. L'analyse des premiers résultats montre que le processus d'interaction ne peut généralement pas être décrit en termes d'instabilités de Kelvin-Helmoltz [2009, 2201, 2202, 2212, 2701, 2708, 2709, 2734]. Un effort de modélisation a été entrepris.

Physique de la mesure

On sait que les radars ST sont capables d'obtenir des échos sur la turbulence atmosphérique. On a pu montrer, grâce à une étude théorique et expérimentale, qu'ils sont également capables de donner des échos sur les nuages non précipitants (radars UHF) et sur les hydrométéores (radars UHF et VHF).

De nouvelles études sont ainsi réalisables sur les interactions "air clair/nuages" et sur la dynamique liée à la génération et au développement des nuages élevés associés à la frontogénèse. L'analyse des résultats obtenus avec le radar PROUST confirme cette possibilité théorique.

Les *figures 2.6b et c* résument les résultats obtenus avec une résolution de 30 m le 15 mai 1986 dans une situation d'air clair + banc d'alto-cumulus. On voit clairement apparaître les bancs nuageux caractérisés par leur forte réflectivité et un vent vertical dirigé vers le bas. Des échos air clair sont observés entre et sous les nuages. Ils sont caractérisés par une plus faible réflectivité et un faible vent vertical dirigé alternativement vers le haut et le bas. On peut en particulier observer l'alimentation convective du système nuageux (en rouge et jaune dans le code couleur du vent).

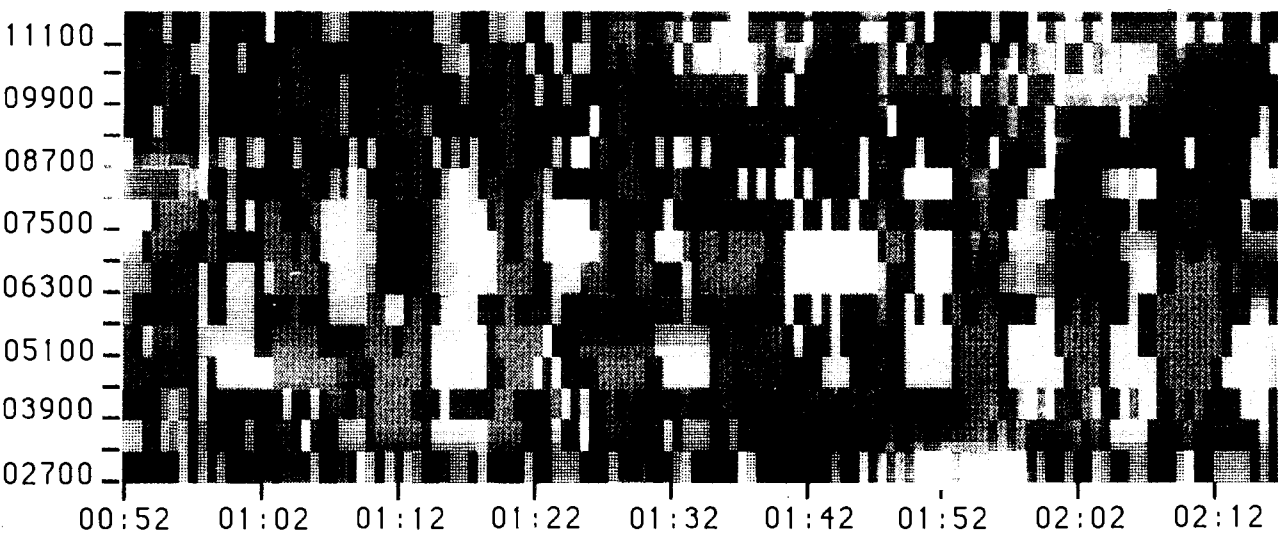
2.2 APPLICATIONS

Les instruments utilisés dans le cadre des études décrites ci-dessus ont donné lieu à plusieurs applications.

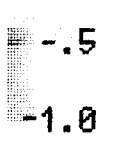
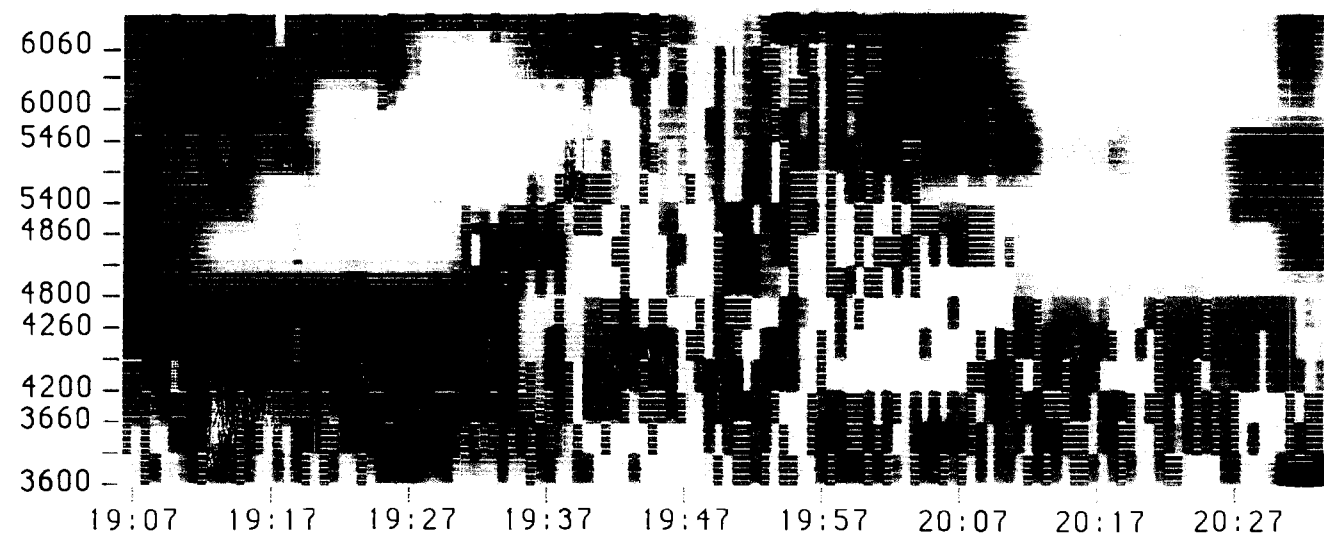
2.2.1 Radar Stratosphérique Troposphérique

En raison de leur capacité d'obtenir des profils de vent dans la troposphère et la stratosphère quelles que soient les conditions atmosphériques, les radars ST ont de nombreuses

VENT VERTICAL (m/s)



VENT VERTICAL (m/s)



REFLECTIVITE RADAR (Cn**2)

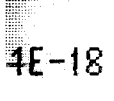
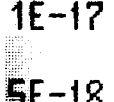
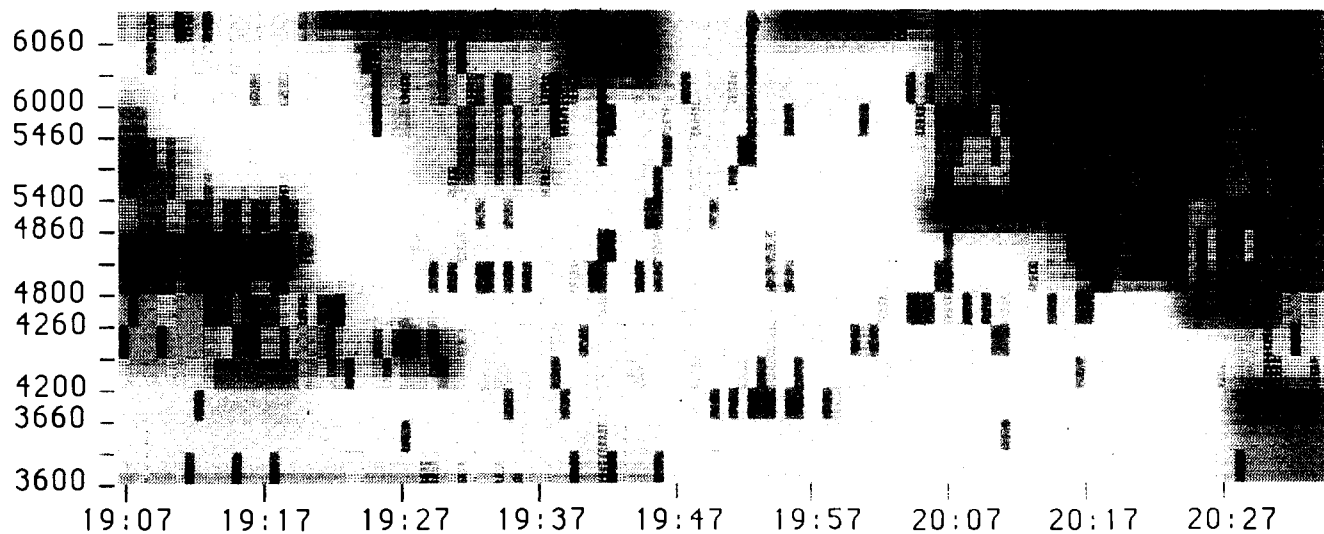


Figure 2.6. Réflectivité et vitesse verticale mesurées à l'aide de radars ST.

a : observation en ciel clair (22 juin 1988). Résolution : 600 m on observe l'existence d'une oscillation du vent vertical entre 2 500 et 9 000 m d'altitude. L'amplitude de l'oscillation est comprise entre 0.5 et 1 m.s⁻¹. La période est constante pendant toute la durée de l'observation et voisine de 8 mn.

b et *c* : observation en situation d'air clair plus nuages non-précipitants (bancs d'alto-cumulus) (15 mai 1986). Résolution : 30 m.

b : vitesse verticale, vers le bas dans les bancs nuageux (bleu) et le plus souvent vers le haut en air clair (rose) visualisant l'alimentation convective du système nuageux.

c : réflectivité radar : les bancs nuageux sont caractérisés par leur forte réflectivité (codes jaunes et rouge) et l'air clair par de plus faibles réflectivités (codes vert et bleu).

applications. Tout d'abord dans leur fonctionnement classique, c'est-à-dire visée à la verticale et dans, au moins, deux directions obliques faisant un angle de 15° avec la verticale, ils sont utilisés en réseau pour la recherche atmosphérique et aussi pour la météorologie opérationnelle. En visée quasi horizontale, ils pourraient être utilisés pour la sécurité aérienne.

En raison de ses compétences scientifiques et techniques, le CRPE a participé activement au développement de ces applications. Il a été le maître d'oeuvre du radar ST bifréquence INSU/METEO, prototype de radar des futurs réseaux de recherche et de météorologie opérationnelle, et a un contrat en cours avec le Service Technique de la Navigation Aérienne pour la détection avec un radar ST des cisaillements le long des axes d'approche ou de décollage des aéroports.

Recherche

Seul un nombre relativement restreint d'expériences scientifiques utilisant un réseau de radars ST a pu être mené à bien dans le monde, parmi lesquelles on doit noter 2 expériences effectuées en France : ALPEX et FRONTS 87. Le réseau permet d'étendre les possibilités d'un seul radar en ajoutant la couverture spatiale à la couverture temporelle et d'accéder ainsi à de nouveaux paramètres de la dynamique atmosphérique (divergence tourbillon) [2217, 2218, 2219, 2224, 2412, 2417, 2738, 2739, 2740, 2755]

Pendant l'expérience FRONTS 87, un réseau de 3 radars ST, 2 radars VHF et un radar bifréquence, a fonctionné avec succès au voisinage d'autres instruments. Le radar UHF/VHF et le radar VHF à 72,5 MHz étaient issus du prototype. Le CRPE avait en charge le fonctionnement et le dépouillement du radar bifréquence. Les premiers résultats de comparaison confirment l'intérêt des données radar pour l'étude des fronts [2756, 2757].

À partir du prototype déjà construit et des résultats obtenus, un réseau de recherche va être construit. Le CRPE participe aux différentes phases de sa mise en oeuvre.

Météorologie Opérationnelle

Les mesures de vent en fonction de l'altitude sont des données nécessaires pour les modèles numériques de prévision météorologique. Les modèles actuellement opérationnels utilisent des mesures de vent obtenues toutes les 6 ou 12 heures lors des radiosondages. Ces modèles sont adaptés pour la prévision du temps à une échelle synoptique (> 200 km). Des modèles à mésoéchelle sont en développement et demandent des données plus fréquentes. Les profileurs de vent sont capables de produire de telles données.

La Météorologie Nationale Française a participé à la construction du radar ST INSU/METEO afin d'évaluer les possibilités d'un tel instrument. Suite à cette construction et

aux premiers résultats obtenus, elle poursuit la définition des spécifications des radars de réseau.

Par ailleurs, elle est à l'initiative d'une action Européenne de coopération scientifique et technique COST 74 destinée à l'utilisation de réseaux de recherche pour améliorer les prévisions du temps en Europe. Un membre du CRPE est un des représentants de la délégation française. Il a participé au comité d'allocation de fréquence, problème crucial pour les futurs réseaux [2758, 2903].

Amélioration de la sécurité aérienne

Les études théoriques mentionnées ci-dessus sur la physique de la mesure des radars ST ont permis de mettre en évidence que les radars UHF étaient bien adaptés à la détection des cisaillements et rafales de vent aussi bien en réponse "air clair" que sur les hydrométéores [2404, 2405, 2730] Une simulation de leur réponse en visée quasi horizontale dans la couche limite planétaire a montré les potentialités de ce type de radar pour l'aide à l'atterrissage des avions. Ce travail est à l'origine du contrat signé en décembre 1987 entre le CNET et le Service Technique de la Navigation Aérienne. Ce contrat, d'une durée de trois ans, prévoit des études théoriques et expérimentales avec le radar UHF "PROUST" du CRPE en visée quasi-horizontale. A l'issue de ces études, on prévoit la rédaction d'un cahier des charges précis pour la construction d'un radar spécialisé dans la détection des cisaillements de vent le long des axes d'approche ou de décollage des aéroports.

2.2.2 Radar RONSARD

Pendant l'expérience FRONTS 87, des mesures spécifiques ont été effectuées par les radars RONSARD en vue d'évaluer l'intérêt d'équiper d'un radar météorologique la future station de réception de la balise OLYMPUS pour déterminer l'environnement météorologique de la liaison satellite-Terre. Les données sont en cours de dépouillement (cf. chapitre 5).

B. PERSPECTIVES

2.3 LE PROJET DE RADAR METEOROLOGIQUE DOPPLER AEROPORTE "ASTERIX"

ASTERIX, grand projet INSU

Le projet ASTERIX est issu d'un effort de prospective engagé par l'INSU, pour définir une plate-forme aéroportée dévolue à la recherche atmosphérique. ASTERIX est donc étroitement associé au programme ARAT ou "Avion de Recherche Atmosphérique et Télédétection". L'instrumentation de recherche atmosphérique déjà programmée sur l'ARAT comporte des mesures in situ (dynamique, microphysique, physicochimie) et des mesures par lidar. ASTERIX, projet de radar météorologique Doppler aéroporté,

a été proposé à la communauté scientifique dès 1984, et est apparu d'emblée comme un très gros projet nécessitant une étude de faisabilité approfondie avant toute décision d'engagement. Une telle étude a été menée par le CRPE de 1985 à 1988 sur des crédits INSU et avec l'aide de la division technique de l'INSU. A partir de l'année 1988, le CNES a également accepté de participer financièrement à cette étude, vu ses retombées potentielles sur une définition technique plus performante du projet BEST d'étude des précipitations tropicales à partir de l'espace.

Objectif scientifique du projet ASTERIX

Les radars météorologiques Doppler se sont révélés au cours de la dernière décennie, être un moyen expérimental extrêmement puissant pour étudier la convection profonde dans l'atmosphère terrestre. Jusqu'à présent cette technique a été essentiellement utilisée à partir du sol. On sait en effet que la combinaison des mesures de deux (ou plusieurs) radars Doppler effectuant des explorations synchrones d'un même système précipitant permettent une reconstitution de l'écoulement tridimensionnel de l'air à l'intérieur du système étudié. Il existe cependant deux limitations inhérentes à une expérience conduite à partir de radars au sol. La première est liée au fait que l'aire d'expérimentation est restreinte : $50 \times 50 \text{ km}^2$ tout au plus. Il s'ensuit que l'on a rarement la possibilité d'observer un orage dans les différentes phases de son évolution (croissance, maturité, décroissance). La seconde tient à la distance radar/orage à laquelle on est contraint d'opérer (typiquement 20 à 60 km), qui n'autorise, compte tenu de l'ouverture du faisceau de l'antenne (1° généralement), qu'une résolution maximale de l'ordre de 500 m à 1 000 m. Or il a été prouvé, notamment par des mesures in situ en avion instrumenté, que des mouvements verticaux très violents pouvaient exister à l'échelle de quelques dizaines à quelques centaines de mètres.

L'utilisation d'un radar Doppler embarqué sur avion est susceptible de lever les limitations évoquées ci-dessus à propos d'une expérience conduite au sol. N'étant limité que par l'autonomie de l'avion, ce système permettrait d'assurer le suivi d'un événement tout au long de la vie de celui-ci (étendant considérablement, le cas échéant, les observations réalisées à partir du sol). D'autre part, en s'approchant à loisir de la zone à étudier, on pourra améliorer considérablement la résolution spatiale des mesures.

Le radar Doppler aéroporté devrait ouvrir la voie aux cours de la prochaine décennie à deux types d'études nouvelles :

- susceptible de fournir une observation d'ensemble de systèmes convectifs à mésoéchelle tels que bandes de pluie frontales, lignes de grains tropicales ou de moyenne latitude, etc., il procurera la référence expérimentale à toute approche par modélisation de l'interaction système convectif/environnement, un problème central en météorologie ;

- par ses mesures à haute résolution il ouvrira la possibilité d'étudier des phénomènes de très petite échelle, tels que le "microburst" ou les tornades, pour citer les plus dévastateurs.

Originalité du projet ASTERIX

Aux Etats-Unis, le radar météorologique Doppler embarqué suscite un très grand intérêt et constitue le projet le plus ambitieux des prochaines années en radar météorologie. Un premier système, aux performances encore limitées a été développé par la NOAA. Il remporte néanmoins un succès croissant auprès de la communauté scientifique américaine. L'originalité du projet français [2407] réside tout d'abord dans l'utilisation d'un aérien bi-faisceau (figure 2.7) qui permet d'acquérir, d'un seul coup d'aile, en tout point de l'espace balayé par les antennes, les deux composantes de vitesses nécessaires à la restitution du champ tridimensionnel. Pour obtenir les mêmes informations, l'avion de la NOAA est contraint d'effectuer deux segments de trajectoire à 90° , procurant des mesures fortement décalées dans le temps. Egalement dans le projet français, le codage des impulsions en fréquence autorise une acquisition de données beaucoup plus rapide, et par conséquent une vitesse de rotation d'antenne accrue, ce qui se traduit par une amélioration de la résolution spatiale le long de la trace de l'avion.

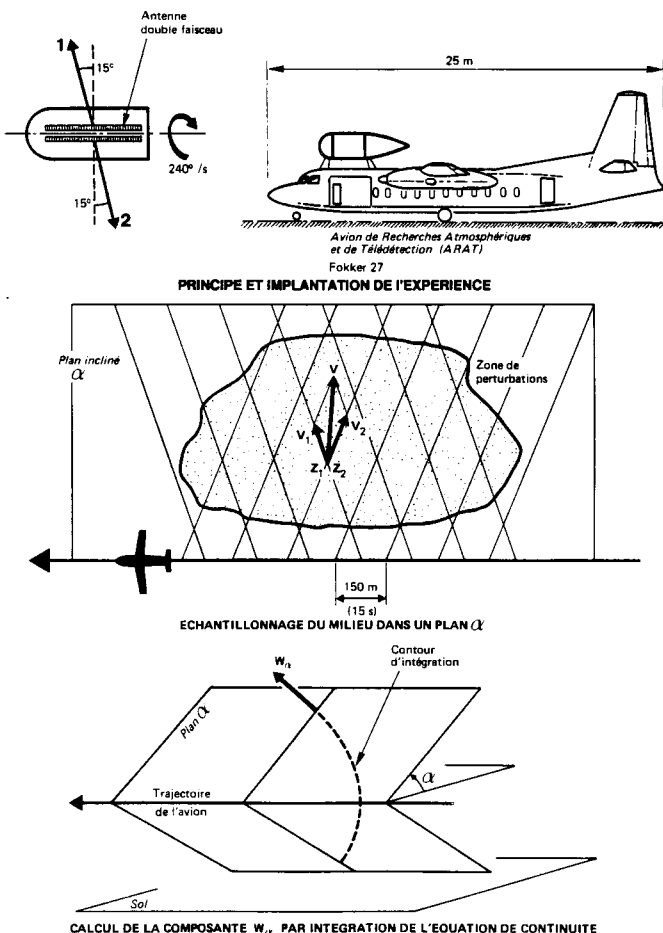


Figure 2.7. Principe de fonctionnement du stéréoradar ASTERIX.

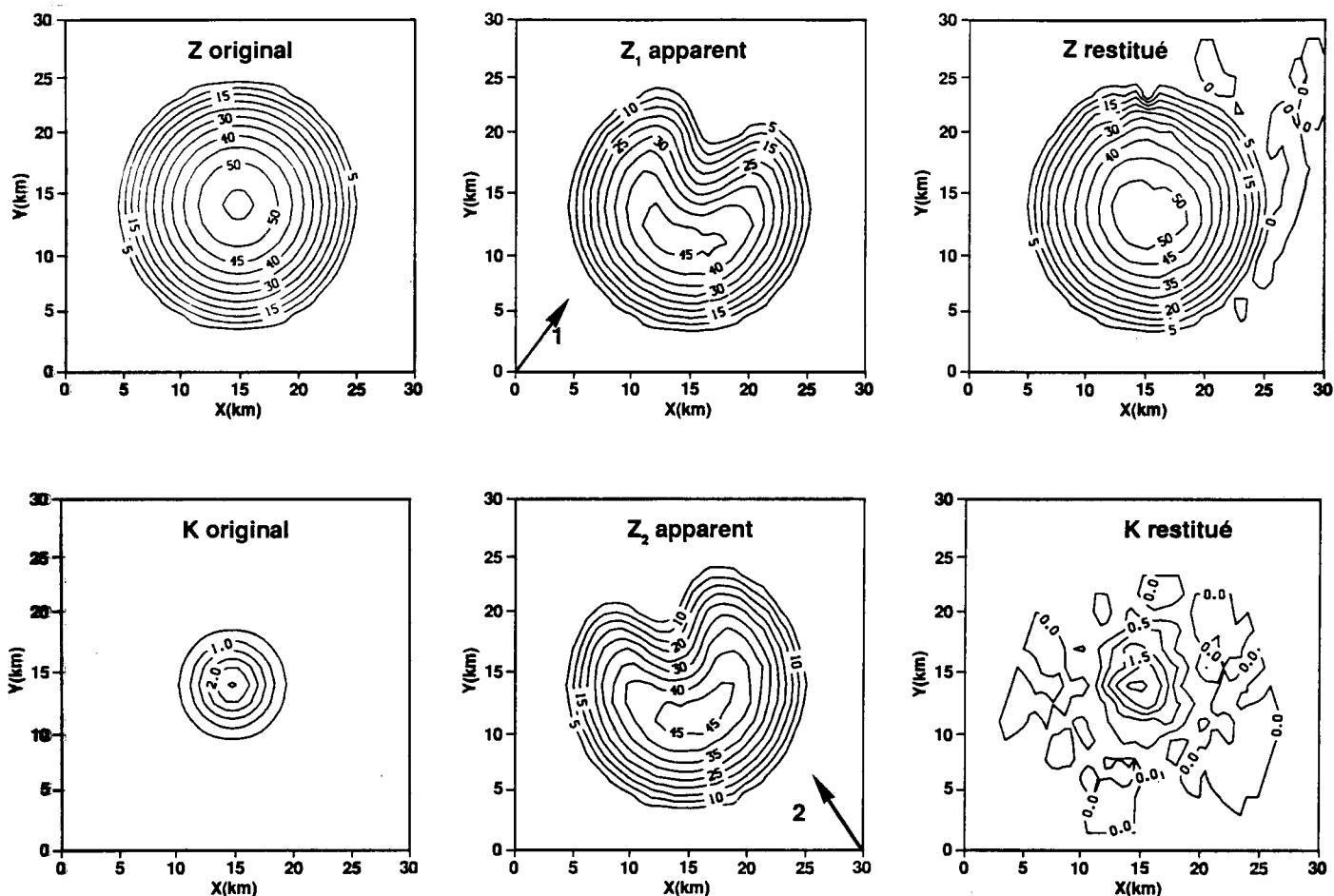


Figure 2.8. Résultats de simulation du fonctionnement d'un stéréoradar. De gauche à droite : facteur de réflectivité Z (en dBZ) et atténuation spécifique K (en dB/km) originaux ; facteurs de réflectivité apparents Z_1 et Z_2 mesurés par les deux antennes ; facteur de réflectivité et atténuation spécifique K restitués après traitement [2020].

Grâce à son système d'antennes, ASTERIX (Analyse STERéoscopique par un Radar à Impulsions en bande X) permettra d'observer une même scène de réflectivité radar sous deux angles différents. La longueur d'onde choisie étant atténuée par la pluie, on peut tirer partie de la comparaison des deux champs de réflectivité "apparents" observés pour restituer le champ d'atténuation et le champ de réflectivité vrai. Une approche numérique du problème, fondée sur l'analyse variationnelle, a été proposée et testée par simulation (figure 2.8). Des résultats très prometteurs ont été obtenus et publiés [2020]. Le champ d'application des mesures d'atténuation est vaste : amélioration de l'estimation de taux précipitant dans la pluie par la connaissance simultanée de l'atténuation et de la réflectivité ; distinction du type d'hydrométéores (en particulier détection de la grêle, supposée fortement atténuante) ; caractérisation du milieu de propagation pour des liaisons télécoms. La technique stéréoradar apparaît également comme un bon candidat pour résoudre le problème de la mesure de la pluie depuis l'espace (voir projet BEST).

Etudes de faisabilité

- Comparaison de divers schémas d'impulsions d'émission radar, et performances des estimateurs de vitesse et réflectivité correspondants. Cette étude a été menée à bien en interne par le département ITS. Elle a débouché sur deux publications [2407, 2235], et a permis de formuler des choix sur les spécifications finales d'ASTERIX.

- Etudes de l'aérien bi-faisceau. Une première étude sous traitée au CERT a permis de dégager la solution technique des antennes de type "guide à fente" parmi différents schémas envisagés (balayage électronique, antennes offset, etc.). Une deuxième étude sous traitée à LCTAR a permis d'affiner la solution choisie, et d'apprécier théoriquement l'effet perturbateur du radôme.

- Etudes d'ensemble du système. Deux firmes ont été mises en concurrence : ESD et LCTAR. Elles ont examiné dans le détail la réalisation des divers sous ensembles :

aérien, émetteur récepteur, châssis numérique de traitement temps réel, visualisation et enregistrement, calculateur de gestion. Leurs conclusions (faisabilité, coût estimatif) sont aujourd'hui connues.

- Etude Avionique d'implantation de l'aérien sur l'ARAT. Cette étude de faisabilité, très complète, a été confiée à la société Fokker, constructeur de l'avion. La réponse de Fokker est positive, réponse fondée, entre autres, sur la réalisation d'une maquette du "rotodome" (système tournant aérien + radome) et de son support sur le fuselage de l'appareil, et sur des essais en soufflerie de cette maquette (voir photo de la figure 2.9).

Coopération avec le NCAR et la NOAA

Le NCAR s'est engagé dans le développement d'un radar Doppler aéroporté bi-faisceau (ELDORA), similaire à ASTERIX. Des échanges fréquents entre le CRPE et le NCAR ont eu lieu à propos d'ASTERIX et d'ELDORA. Ils ont abouti à un accord formel de coopération signé en décembre dernier (accord entre le CRPE et le NCAR sous les auspices de l'INSU et de la NSF). Un accord tripartite NOAA-NCAR-CRPE est en vue pour installer un premier prototype de l'aérien bi-faisceau d'ASTERIX dans la queue de l'Avion P3 de la NOAA en remplacement de l'aérien monofaisceau actuel. Une telle expérience devrait voler fin 1990 et sera d'un intérêt inestimable pour tester en vraie grandeur les méthodologies d'analyse de données envisagées dans ASTERIX.

2.4 RADAR SPATIAL POUR LA MESURE DES PRECIPITATIONS (PROJET BEST)

C'est au colloque de prospective scientifique du CNES (Deauville, novembre 1985) que la proposition de mission spatiale BEST (Bilan Énergétique du Système Tropical) à l'échéance 1998-2000, associant le CRPE, le LMD, le SA et le LOA a été présenté pour la première fois [2413] et a reçu le soutien tant de la communauté scientifique française que du CNES.

L'objectif est de mesurer les diverses composantes du bilan d'énergie de l'atmosphère à l'échelle climatique dans les régions tropicales au moyen de techniques visible, infra-rouge hyperfréquence actives et passives. La charge utile serait embarquée sur une plate-forme en orbite basse (entre 400 et 600 km d'altitude) d'inclinaison voisine de 30°, ce qui permet une couverture locale complète du cycle diurne sur une période de l'ordre de un mois. Le flux de précipitations constitue un terme majeur du bilan d'énergie dans l'évolution climatique à moyen terme car il permet une évaluation quasi directe du flux de chaleur latente réellement cédé à l'atmosphère. Seule l'observation satellitaire permet d'en surveiller l'évolution à l'échelle globale, en particulier au dessus des océans. Cependant, les estimations du taux précipitant par les seules méthodes passives (VIS, IR, hyperfréquences) n'ont pas permis jusqu'ici d'obtenir des résultats décisifs. Il est maintenant admis qu'un radar météorologique embarqué sur satellite, utilisé en association avec les

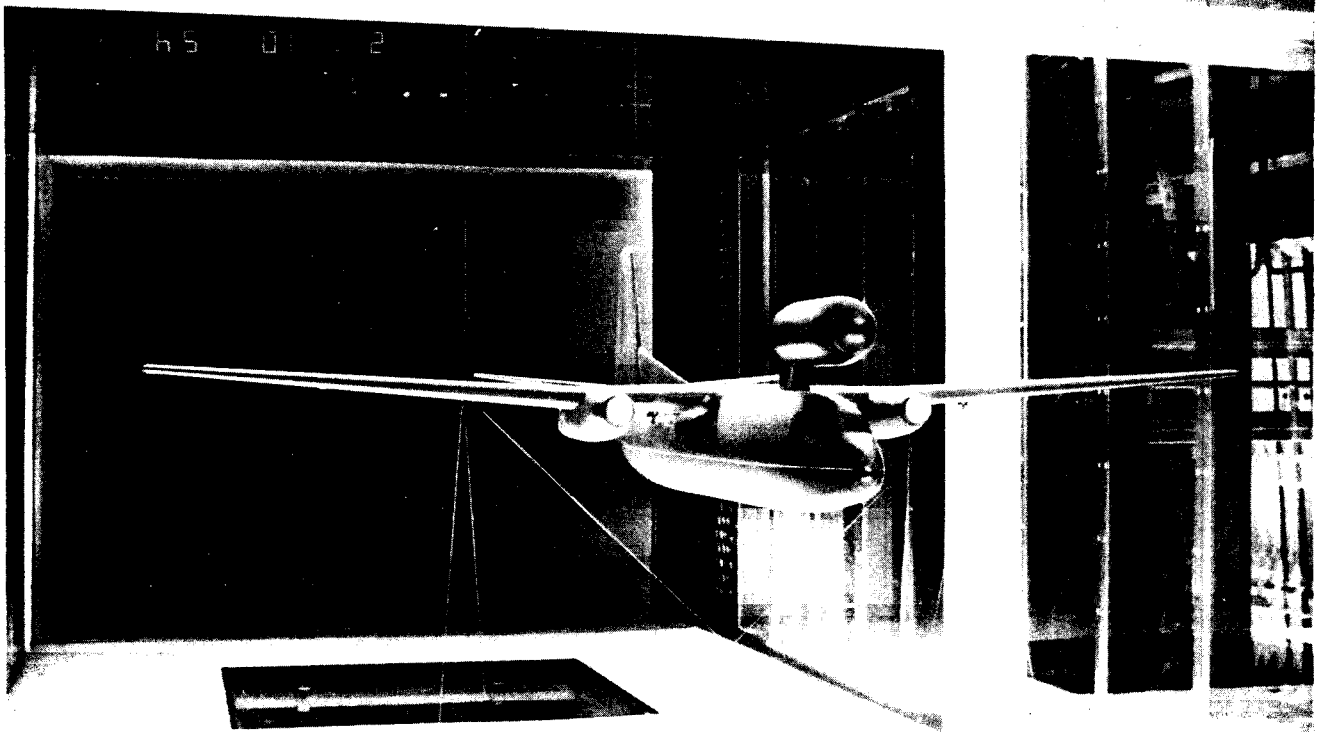


Figure 2.9. Essais en soufflerie de la maquette de l'avion Fokker 27 de l'INSU, équipée du rotodome abritant l'aérien du stéréoradar Doppler ASTERIX (Document Fokker Aircraft Services).

Depuis le début de 1989, les études concernant BEST sont conduites dans le cadre d'une phase A sous l'égide du CNES. Pour le radar, l'examen des aspects techniques est pris en charge par le Centre Spatial de Toulouse (CNES-Toulouse), le CRPE assurant l'expertise scientifique et le développement des études correspondantes en liaison avec les objectifs de mission. On doit également mentionner que des fondements de coopération internationale ont été élaborés fin 1988 [2750] entre d'une part, le CNES et les laboratoires participants au projet BEST et d'autre part, les Américains (NASA et Laboratory for Atmospheres /GSFC, Greenbelt) et

les Japonais (NASDA et Communication Research Laboratory, Tokyo) impliqués dans le projet TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission) qui prévoit également l'embarquement d'un radar météorologique sur plate-forme spatiale. Ces collaborations ont pour but de procéder à une filiation entre les projets TRMM (échéance 1995) et BEST (échéance 2000), tous deux dévolus à l'observation des régions tropicales, et d'étudier les possibilités de coopérations à long terme dans leurs développements en se situant dans le contexte des grands programmes internationaux d'étude du climat.

3. SCIENCES POUR L'OBSERVATION DE LA TERRE

INTRODUCTION

Les activités de recherche dans le domaine de la Télédétection se sont fortement développées au CRPE durant les quatre dernières années. Ces activités, initialement conçues comme un prolongement des études "atmosphériques" puisque ces techniques permettent d'étudier les échanges entre le sol et l'atmosphère, ont progressivement acquis leur indépendance ce qui a conduit à modifier l'organisation du Laboratoire afin de leur fournir l'autonomie nécessaire à leur développement.

En 1988, un nouveau département, intitulé "Observation de la Terre" (OBT), a été créé, il comporte 12 chercheurs, 7 thésards ou visiteurs, et regroupe les anciennes équipes "Couche Limite" et "Télédétection" du Département "Atmosphère Basse et Moyenne" (ABM) ; d'autres membres du laboratoire ayant souhaité une reconversion dans cette discipline se sont joints à cette équipe.

C'est donc l'activité scientifique sur les thèmes "Couche Limite Planétaire" et "Télédétection" durant les quatre années passées qui fera l'objet de ce chapitre, divisé en trois parties :

- Instrumentation
- Applications géophysiques
- Perspectives.

En effet, et bien que la description des principales réalisations techniques effectuées au CRPE fassent l'objet d'un chapitre particulier de ce rapport, il nous a semblé nécessaire de décrire ici, dans leur principe, des développements expérimentaux sur lesquels s'appuient les recherches effectuées au département, ceux-ci étant intimement liés aux problèmes de physique de la mesure ou de traitement du signal rencontrés aussi bien pour ce qui concerne l'utilisation des hyperfréquences que celle des techniques acoustiques de sondage.

Ceci est d'autant plus vrai que les compétences techniques acquises dans ce domaine ont permis au Département OBT

d'être un interlocuteur reconnu d'agences spatiales (CNES, ASE, NASA) ou d'industries (Aérospatiale, SEP, Thomson, Dornier et Sélénia).

A. RESULTATS

3.1 INSTRUMENTATION ET METHODOLOGIE

3.1.1 Radiométrie hyperfréquence

Objectif scientifique

Le radiomètre hyperfréquence ATSR-M, associé au radiomètre infrarouge réalisé par le Rutherford Appleton Laboratory (RAL), est un instrument passager du satellite océanographique européen ERS-1. Ce satellite, qui doit être lancé fin 1990 emportera essentiellement un ensemble hyperfréquence actif comportant un altimètre et un radar en bande C (5,35 GHz) pouvant être utilisé en mode "diffusomètre vent" à basse résolution, ou en mode RSO (Radar à Synthèse d'Ouverture) à haute résolution. L'instrument passager, lui, doit fournir la mesure de la température de surface de l'océan, et de la répartition de l'eau atmosphérique (nébulosité, contenu en vapeur d'eau et en eau liquide, présence de précipitations).

Le radiomètre hyperfréquence, réalisé par le CRPE, comporte deux canaux d'observations, à 23,8 et 36,5 GHz, et a pour but la mesure au nadir du satellite du contenu atmosphérique en eau (vapeur, en utilisant le canal à 23,8 GHz proche du pic de la raie d'absorption, ou liquide, grâce au canal à 36,5 GHz qui lui est extérieur). Cette mesure permettra d'une part la correction de trajet troposphérique pour l'altimètre, et d'autre part la détermination des caractéristiques des masses d'air (humidité, nébulosité et éventuellement précipitations) pour des études de climatologie, en relation avec les autres instruments de ERS-1 (diffusomètre, altimètre, radiomètre infrarouge). Elle permettra également de déterminer des caractéristiques des glaces de mer ou continentales, en relation avec les observations de l'altimètre.

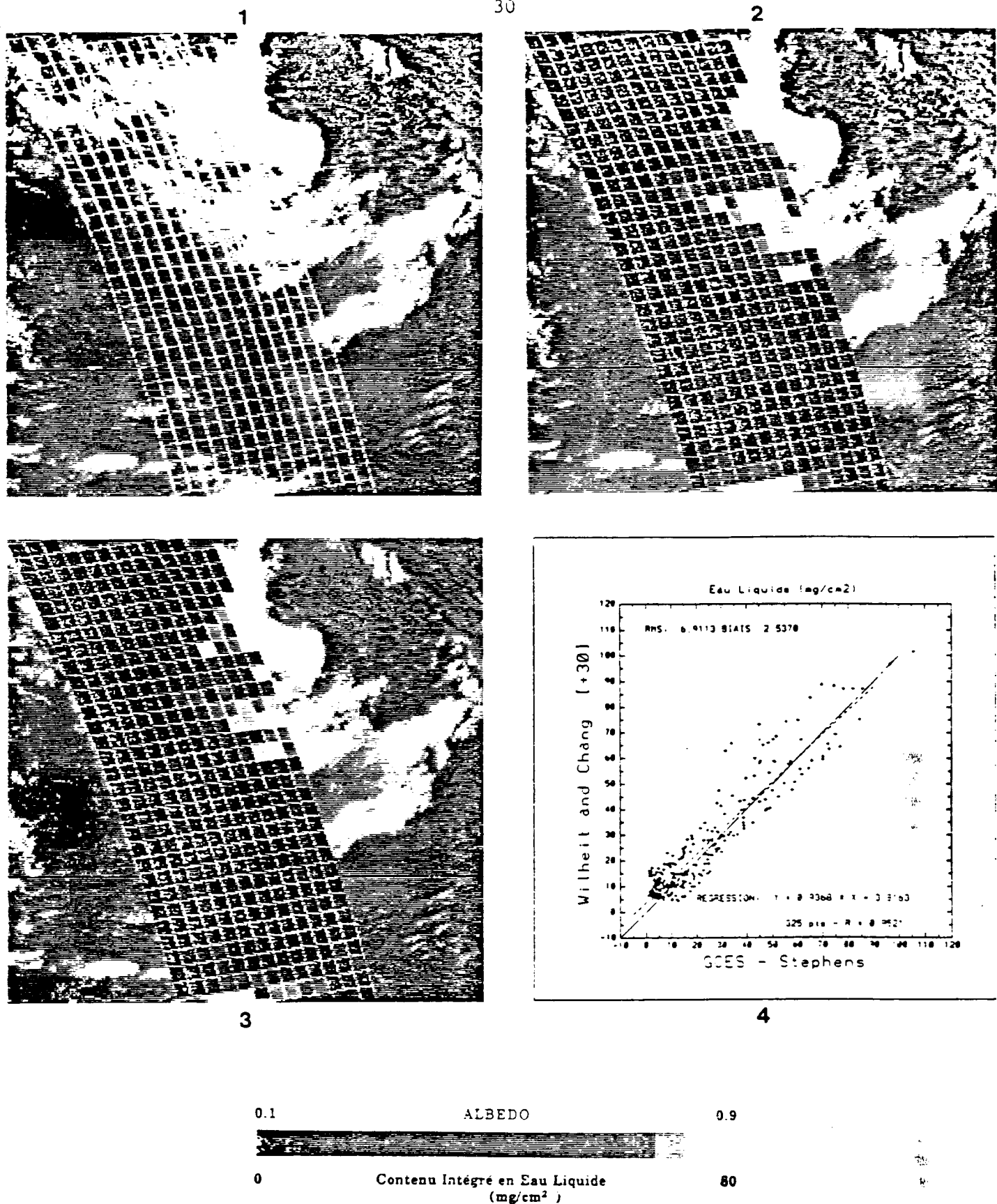


Figure 3.1. Détermination du contenu en eau liquide de nuages. Comparaison entre les mesures obtenues dans le domaine optique et dans le domaine hyperfréquence.

- [1] Image de l'albedo des nuages vu par le capteur VISSR du satellite géostationnaire GOES-East avec, en sur-impression, la grille du capteur SMMR.
- [2] Contenu en eau liquide calculé à partir de l'albedo et moyenné sur la grille SMMR.
- [3] Contenu en eau liquide déterminé à l'aide du radiomètre SMMR.
- [4] Distribution bidimensionnelle de l'eau liquide évaluée, d'une part, à partir de la mesure optique (abscisse) et, d'autre part, déduite des mesures hyperfréquences (ordonnée).

Etudes des algorithmes

Le cadre de la réalisation et ses différentes étapes sont décrits par ailleurs. L'activité scientifique pendant cette période a été essentiellement tournée vers le développement des algorithmes de traitement.

Pendant la phase préliminaire, une étude théorique avait été menée sur la définition de l'algorithme de traitement des données du radiomètre pour la mesure du contenu en vapeur d'eau et eau liquide et pour la correction altimétrique [3201], étude qui a fourni l'algorithme de base pour le traitement des données. Cet algorithme a été peu modifié depuis, et l'activité a porté plus particulièrement sur l'analyse globale des performances de l'instrument. Un modèle simplifié de transfert radiatif a été développé à cette fin.

Indépendamment des performances propres de l'algorithme, liées aux approximations faites pour sa définition, on peut analyser l'influence des erreurs de mesures instrumentales sur la qualité de la mesure finale. Une partie de ces erreurs correspond à la résolution du radiomètre, fonction du temps d'intégration et du bruit propre du récepteur, et est facilement quantifiable (0.4 K pour les deux canaux). Les autres sources d'erreurs sont liées aux imperfections de l'instrument (pertes et désadaptation) ou des antennes (lobes secondaires), et doivent être déterminées après étalonnage (point développé dans la présentation des activités techniques). Une dernière source d'erreur est liée aux hétérogénéités de la surface observée (répartition des nuages par exemple) et son importance doit également être évaluée.

Les performances globales du radiomètre ATSR sont ainsi évaluées à 3 K en valeur absolue, ce qui conduit à une précision de $0,4 \text{ g/cm}^2$ sur le contenu intégré en vapeur d'eau (soit 2,5 cm pour la correction altimétrique), à comparer à la précision de $0,17 \text{ g/cm}^2$ de l'algorithme lui-même.

Cette étude des performances du radiomètre a servi de base pour une étude similaire dans le cadre d'un contrat de l'Agence Spatiale Européenne, pour l'étude des corrections troposphériques d'un futur altimètre (en association avec les entreprises Dornier (Allemagne) et Selenia (Italie)).

L'algorithme ne peut être validé en l'absence de données expérimentales mais on a pu évaluer les modèles servant à l'établir, d'une part en utilisant tout d'abord les mesures (à des fréquences différentes) de radiomètres existants (en particulier les radiomètres SMMR de SEASAT et NIMBUS). Cette étude [3609] entrait dans un cadre plus général de qualification des données radiométriques pour l'étude de l'interface océan/atmosphère, et plus particulièrement du flux de chaleur latente à l'interface.

Un autre test a été rendu possible par l'utilisation de la maquette du radiomètre pour la mesure des mêmes paramètres (eau vapeur et liquide) à partir du sol et une comparaison

avec des observations par radiosondages. Ces mesures ont été faites en commun avec le Département ETP, et sont en cours de traitement. On observe en général un bon accord entre la mesure du radiomètre et le radiosondage coïncidant.

Si la modélisation de la mesure de la vapeur d'eau est bien établie et peut être contrôlée par des observations, il n'en va pas de même pour le contenu intégré en eau liquide, pour lequel il n'existe pas de mesures directes. Une étude a été entreprise (en collaboration avec la Scripps, USA) pour comparer les observations en radiométrie hyperfréquence (SMMR) et en imagerie visible et infrarouge de type METEOSAT, qui permet d'estimer un contenu en eau liquide à partir de la mesure de l'albédo. La comparaison montre une bonne corrélation entre les deux mesures, avec cependant un biais important (*figure 3.1*), et permet d'envisager l'utilisation de la radiométrie hyperfréquence pour les estimations de nébulosité en relation avec le bilan radiatif.

Une redéfinition des algorithmes de traitement de l'eau liquide pour la radiométrie hyperfréquence est en cours, applicables aux radiomètres SMMR et SMM/I, et en version simplifiée, du radiomètre ATSR/M.

Le développement des logiciels de traitement des données du radiomètre ATSR est également en cours. Le traitement sera assuré par le Centre Français de Traitement pour les données de ERS-1 (CERSAT), et les spécifications du logiciel ont été définies par le groupe ALGOS du GDTA sous le contrôle du CRPE.

3.1.2 Radar

Dans le domaine de l'instrumentation radar, l'activité s'est développée autour de l'utilisation du radar aéroporté ERASME au sein de campagnes nationales ou de l'ASE (GUYANE-86, TOSCANE, TOSCANE-2,...). L'analyse des résultats de ces campagnes a suscité le développement de travaux de modélisation et de théorie de la mesure, qui ont eux-mêmes conduit à apporter des modifications à l'instrument pour les campagnes suivantes.

Développement de moyens d'étalonnage

Une des caractéristiques principales d'un système tel que l'instrument ERASME est qu'il est théoriquement plus simple à étalonner qu'un radar imageur à synthèse d'ouverture (le résultat en radiométrie du traitement ROS est directement relié à la façon de prendre en compte les mouvements du porteur). Un étalonnage précis est d'autant plus nécessaire que la sensibilité du signal rétrodiffusé à la variation des paramètres géophysiques mesurables (p.e. : humidité de surface, vent, etc.) est souvent faible (10 % de variation sur l'humidité de surface correspond à environ 1 dB sur la mesure). C'est pourquoi un très gros effort a été fait à la fois par l'équipe technique et par l'équipe scientifique dans ce sens. On a en particulier mis au point une méthode d'analyse

statistique des mesures qui permet de restituer la forme réelle du lobe d'antenne (grâce à l'utilisation des mouvements du porteur). Cette analyse, jointe aux mesures en laboratoire, a conduit à assurer un étalonnage d'ERASME à mieux que 0,5 dB en valeur absolue [3006, 3704].

Cette capacité de notre instrument a été pleinement utilisée dans le cadre de la campagne GUYANE-86 de l'ASE, destinée à la mesure de la valeur absolue et de la stabilité spatiale de la section efficace de rétrodiffusion de la forêt équatoriale, afin de définir les procédures d'étalonnage des instruments du satellite ERS-1 sur cibles réparties. Conformément à l'attente, ce type de forêt constitue bien un excellent moyen d'étalonnage, tant par ses propriétés de diffusion à 5.3 GHz que par sa stabilité spatiale et temporelle [3027].

Physique de la mesure, applications à la forêt et au sol

Des vols à basse altitude effectués lors de la campagne GUYANE-86 ont permis d'évaluer la pertinence de l'utilisation du Radar ERASME dans l'étude de la forêt. Malgré l'épaisseur de la forêt primaire guyanaise (42 m en moyenne), la réponse du sol est différenciée, ce qui a permis de démontrer les capacités pédologiques d'analyse du diffusomètre ERASME pour une telle forêt. Le radar fonctionnant en mode altimètre, un modèle simple a permis par ailleurs de relier le signal radar à quelques paramètres forestiers (hauteur des arbres, structure verticale,...). Ce modèle a été utilisé aussi bien pour la campagne GUYANE-86 que pour la campagne qui avait été effectuée en 1984 dans les Landes [3703, 3013, 3728].

Enfin, les résultats de mesures effectuées avec ERASME sur un labour lors d'une expérience organisée par le CRPE et l'INRA en 1984 ont suscité le développement d'une étude théorique sur la sensibilité de la section efficace de rétrodiffusion à la rugosité et à l'humidité de surface des sols nus. Cette étude a permis de préciser quelles configurations de radar conduisent à une forte sensibilité soit à la rugosité, soit à l'humidité des sols [3026, 3604, 3712].

Une autre étude en collaboration avec l'INRA, a montré que l'imagerie radar pouvait être utilisée simplement pour repérer les sols saturés d'une région humide. Cette application est parfaitement possible à l'aide du radar imageur de ERS-1 [3718, 3729].

Etudes de l'océan

La campagne PROMESS (1984) avait permis d'établir un modèle de relation entre la section efficace radar de la surface océanique, et les caractéristiques du vent de surface, mais aussi les limites de ce modèle, liées à la modulation par les vagues et à l'effet de la trace au sol du radar [3702]. Pour étudier ces problèmes, le radar ERASME, embarqué sur l'hélicoptère du CNET, a participé à une deuxième campagne (TOSCANE, 1985). Cette étude expérimentale a

permis d'initier un effort de modélisation théorique sur la modulation par la houle du signal rétrodiffusé par les ondes capillaires. Ceci a conduit à modifier le radar ERASME pour permettre une mesure à haute résolution à haute altitude, donc avec un champ de vue important et l'observation de la structure du champ de vagues. L'instrument a été utilisé lors de la campagne TOSCANE-2 (1987) de l'ASE et de l'IFREMER. Une série de vols en cercle permet d'obtenir un spectre directionnel des vagues. Les résultats (figure 3.2), montrent que la longueur d'onde et la direction de propagation des vagues sont bien détectées, même en présence de plusieurs systèmes de vagues que l'on est capable de résoudre.

Ces études nous ont conduit à définir les modifications à apporter à ERASME pour l'optimiser en vue de la mesure du spectre directionnel des vagues par radar aéroporté. Ces modifications s'inscrivent dans le cadre d'une proposition faite auprès de l'ASE, de la DMN et du CNES pour participer aux campagnes de validation du satellite ERS-1 sur les mesures de la houle (expérience RESSAC). Celle-ci est en cours de financement par ces organismes.

Etudes des ressources renouvelables

Poursuivant ses recherches sur les applications de la télédétection active en hyperfréquence, le groupe a proposé au CNES une modification du diffusomètre ERASME de façon à pouvoir aborder l'observation de la végétation. Compte-tenu des dimensions de ses composantes, la végétation est d'autant plus transparente que la fréquence utilisée est basse et le volume traversé faible. Donc pour "voir" la végétation, il faut travailler à des fréquences plus élevées que les 5 GHz de la première version d'ERASME. Les travaux antérieurs (en particulier, en France, au CESR et à l'INRA) ont montré que les fréquences voisines de 10 GHz étaient acceptables. D'autre part, à cause de l'orientation des éléments végétaux, la réponse, aux grands angles d'incidence, n'est pas la même suivant que le champ électrique incident est parallèle (H) ou dans un plan perpendiculaire (V) à la surface observée. Le nouvel instrument, financé par le CNES, possède donc deux fréquences (5 et 10 GHz) et deux configurations de polarisation (émission H, réception H ; émission V, réception V). Sa particularité est d'avoir non pas une visée latérale mais une visée vers l'avant. Cette géométrie permet d'assurer la vision de la même cible sous plusieurs angles d'incidence. Ceci est important compte-tenu de la très grande hétérogénéité spatiale de la réponse radar mise en évidence par ERASME. Ce radar a été utilisé, dans une version dégradée lors de la campagne de l'ASE (AGRISCATT-2) aux mois de juin et juillet 1988. Cette campagne était organisée par l'ASE pour la préparation des futures missions à applications continentales, dans plusieurs pays européens (Allemagne, Italie, France, Angleterre et Pays Bas).

Ce programme se poursuit en 1989 par une expérience uniquement sur le site français du bassin de l'Orgeval et sur

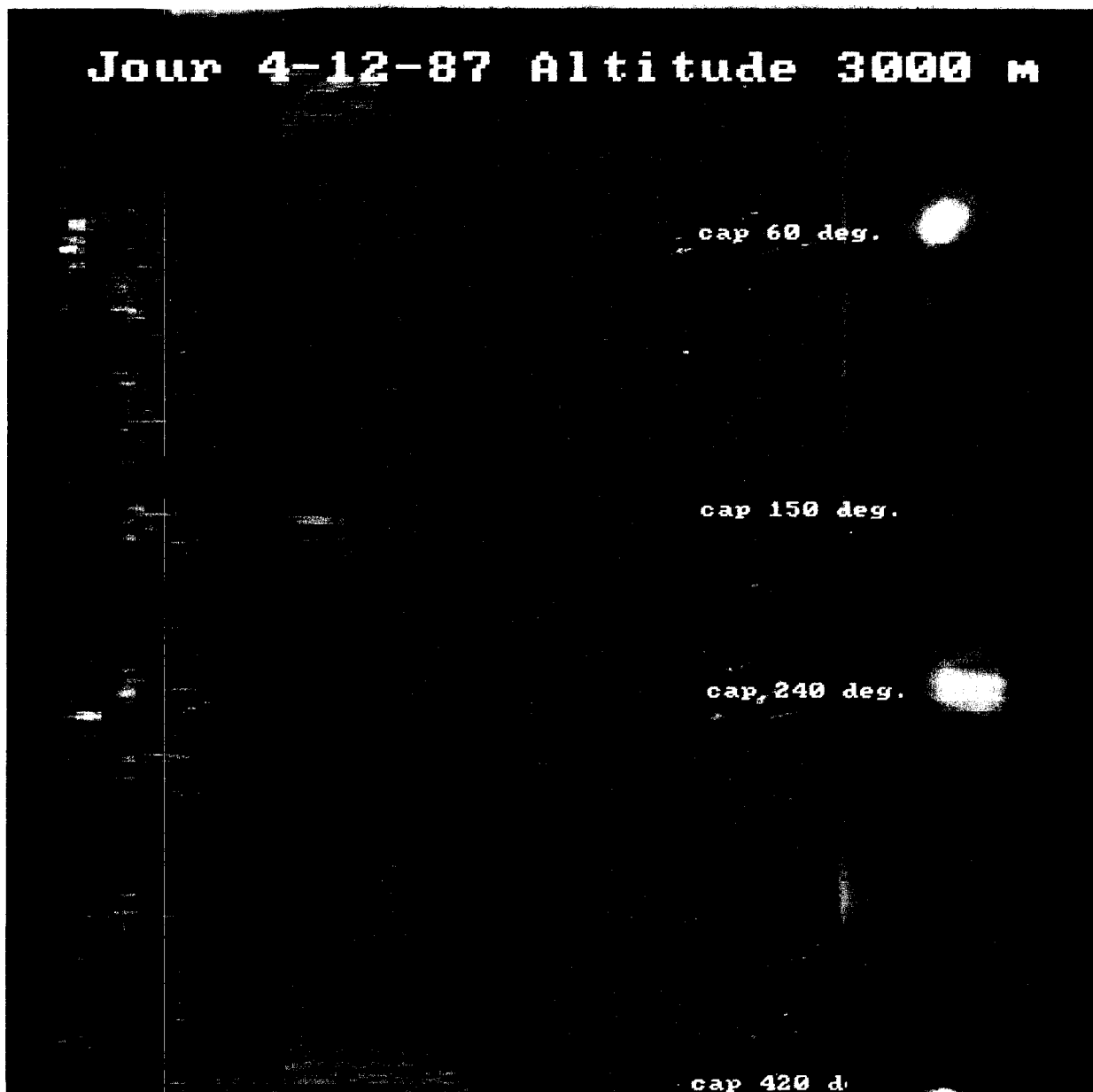


Figure 3.2. La section efficace de rétrodiffusion de la surface de l'océan est modulée principalement par la pente des vagues lorsqu'on se limite à des incidences proches de la verticale. La partie gauche de la figure montre cette section efficace en fonction de la distance latérale (axe X) et du temps (axe Y). Les vagues sont détectées lorsqu'elles se propagent perpendiculairement à la direction d'observation. L'avion effectuant une trajectoire circulaire, l'analyse spectrale de cette image suivant la direction X (partie droite) donne ainsi le spectre directionnel de la surface de la mer, l'axe Y correspondant à la direction d'observation. On y voit la présence d'une onde dominante se propageant vers le Nord - Nord-Ouest et son symétrique, ainsi qu'une onde secondaire se propageant à 90° de la précédente, et correspondant en fait au vent local, qui a changé rapidement de direction dans les 24 heures précédant le vol.

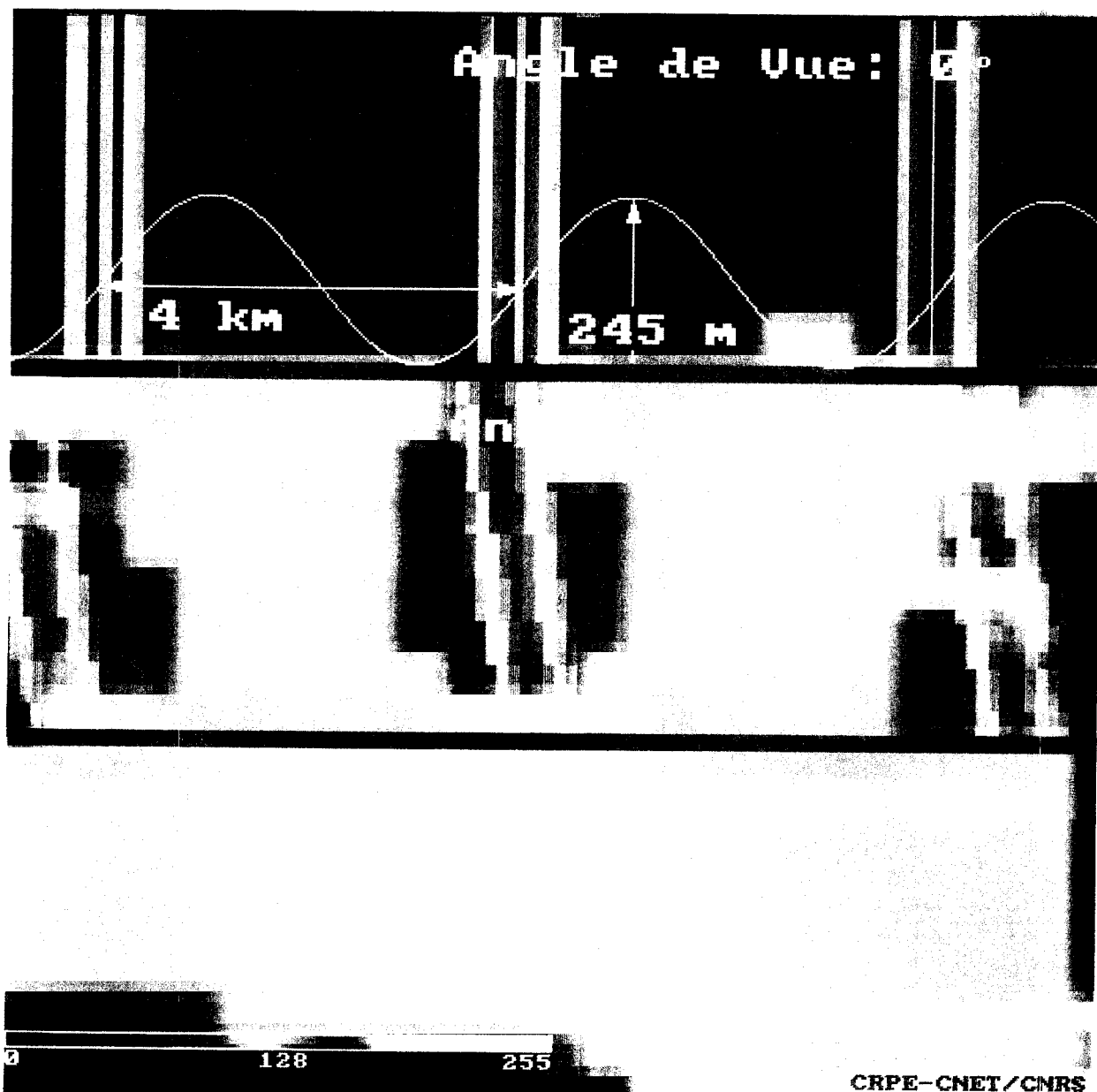


Figure 3.3. Le contraste d'une image se déforme quand le radar "voit" un relief sinusoidal à faible pente (ici 10°) sous des angles de vue différents. Il est clair que la non prise en compte de cette déformation peut introduire des erreurs d'interprétation de la part d'un utilisateur non averti.

une période de l'année plus longue (de mars à octobre). Comme celle de 1988, elle est menée en collaboration avec l'INRA et le CEMAGREF. L'objectif de ces deux campagnes est la détermination de configurations de mesures permettant d'obtenir des informations utiles sur :

- la rugosité et l'humidité des sols,
 - la densité du couvert végétal,
- dans des conditions naturelles.

Elles sont donc liées à la préparation des futures missions d'observation spatiale comportant des radars imageurs.

Relations avec le milieu industriel et le CNES

Le Département travaille maintenant depuis près de 10 ans sur les radars : théories de la mesure, instrumentations et applications. Il est de plus en plus souvent sollicité par les industriels ou les agences spatiales pour des consultances, l'encadrement de thèses ou la participation à des campagnes.

Avec l'industrie, nous avons participé, comme consultants, à un contrat de l'ASE sur le radar avancé des plateformes polaires obtenu par un consortium européen (dont Thomson pour la France). Nous avons encadré deux bourses "CIFRE" co-financées respectivement par SEP et Aérospatiale (voir § I.3.a).

Enfin, le CNES a demandé au groupe radar du Département d'animer un groupe d'experts sur un éventuel radar spatial national qui pourrait être lancé au début du siècle prochain.

3.1.3 Applications informatiques et traitement d'images

L'activité du Département sur le développement d'applications informatiques doit être placée dans le cadre de l'aide à l'interprétation géophysique des mesures. A ce titre, elle ne relève pas seulement du Département "OBT" même si elle est essentiellement prise en charge par des chercheurs de celui-ci. Le travail sur le logiciel SATIS est à mettre dans ce contexte.

D'un autre côté, le Département poursuit également des études sur les instruments imageurs qu'il est amené à utiliser : images de satellites à haute résolution, signal-radar. Il s'agit dans ces cas de travaux sur la théorie instrumentale ou sur la prise en compte des particularités des techniques utilisées dans l'interprétation des mesures. Il est alors souvent nécessaire de lier la physique de la mesure (électromagnétisme par exemple) et le modèle instrumental. C'est cette philosophie qui nous a conduits aux travaux sur les images de satellites ou les radars imageurs.

Traitement du signal et de l'imagerie radar à haute résolution

Les deux dernières années ont permis au Département de renouer avec les recherches sur le traitement de l'imagerie radar haute résolution. C'est en effet en 1986 qu'à la demande de deux sociétés industrielles (Aérospatiale et SEPimage), le laboratoire a dirigé deux thèses dans le cadre de contrats CIFRE.

Aérospatiale, désireuse de se placer sur le marché du radar spatial, a demandé au CRPE de définir un sujet de thèse et de l'encadrer. Ce travail a abouti, d'une part, à la réalisation d'un processeur de radar spatial (prestation que demandait Aérospatiale) et d'autre part à un simulateur de l'imagerie de structures géométriques simples, (bâtiments, réservoirs, etc.) tenant compte de la physique de l'interaction d'une onde électromagnétique avec les surfaces diélectriques lisses. Le simulateur a, entre autre, permis de mettre en évidence l'intérêt des radars polarimètres (qui mesurent tous les termes de la matrice de diffusion des objets) [3223, 3611].

Pour des raisons un peu similaires, la société SEPimage nous a demandé d'encadrer une thèse, toujours en cours. Le sujet choisi par le Laboratoire est dans ce cas l'étude de la qualité radiométrique des images ROS en présence de relief. En effet, la géométrie de prise de vue des radars entraîne une déformation géométrique (déjà souvent étudiée) et une déformation radiométrique. A l'heure où l'on parle de mesures quantitatives avec les radars imageurs, il s'avèrerait nécessaire d'évaluer ces dernières. La *figure 3.3* montre, dans le cas d'un relief sinusoïdal simple et peu accidenté, la variation du contraste obtenu pour un radar de type ERS-1 en fonction de l'angle sous lequel on survole la région [3221].

Traitement d'images de télédétection

Dans la continuité du travail d'interprétation des images à faible résolution de l'AVHRR et dans le cadre de notre programme d'études des bilans énergétiques continentaux, nous nous sommes intéressés aux images à haute résolution spatiale et à leur relation avec le signal mesuré en moyenne résolution. Ces sujets ont fait l'objet de deux travaux de thèse.

Le premier portait sur l'étude des relations statistiques entre les images à haute résolution (MSS de LANDSAT) et celles fournies par l'AVHRR ou METEOSAT. On a montré que la perte d'information (déformation des distributions de probabilités) due à la détérioration de la taille de la tache élémentaire est telle qu'il n'est probablement pas possible de prédire les caractéristiques d'une image haute résolution à partir d'une image dégradée quand on dépasse un seuil de dégradation, qui dépend du paysage observé. L'opération inverse est certainement aussi peu crédible. En effet, la transformation des distributions est trop liée à la distribution de probabilités initiales (du fait des non-linéarités intervenant dans tous les processus depuis la prise de vue jusqu'au

produit final). Le résultat de cette thèse éclaire d'un jour pessimiste les espoirs mis dans l'utilisation simultanée des mesures à haute résolution de SPOT et de celles d'un instrument à grand champ (végétation de SPOT-4) [3020, 3217, 3605].

Le deuxième avait pour sujet l'utilisation de la texture des images à haute résolution (simulation SPOT/HRV) comme paramètre de classification thématique. Il nous a amenés à proposer une méthode hiérarchique de classification. Le sujet étant trop loin des préoccupations du Département, il n'a pas été réellement approfondi [3222, 3606].

SATIS : un logiciel de traitement d'images satellitaires

Le logiciel de traitement d'images SATIS (Station Autonome de Traitement d'Images Satellitaires) a été développé dans le cadre de la formation doctorale "Méthodes Physiques en Télédétection" de l'Université Paris 7, pour laquelle le CRPE joue le rôle de laboratoire pilote. SATIS est actuellement commercialisé par la société ALGOS.

Le but de cette étude, commencée en mars 1986, était d'utiliser un microordinateur pour le traitement et la visualisation des données du SMMR (Scanning Microwave Multichannel Radiometer) de SEASAT et de décharger par la même les gros calculateurs du CRPE. Cette recherche intéressait également le CNES qui cherchait à l'époque à développer des logiciels de traitements d'images sur machines de faible coût.

SATIS peut être utilisé comme un système fermé dans lequel l'opérateur accède aux fonctions pré-programmées, accessibles directement à l'aide de la souris par l'intermédiaire d'un menu fenêtré. Il constitue également une boîte à outils pour l'utilisateur désireux de développer certaines applications particulières. A l'heure actuelle, 6 de ces logiciels ont été vendus.

3.1.4 Techniques acoustiques

Instrumentation utilisée

Les études de Couche Limite Atmosphérique ont bénéficié du support expérimental de 3 sodars Doppler.

- un minisodar Doppler monostatique à 3 antennes fonctionnant à 6 000 Hz système unique au monde, validé en 1984 au cours de la campagne COAST (Cooperative Experiment for Acoustic Sounding), en Hollande, campagne coopérative avec le KNMI (Institut Royal Météorologique de Hollande). Ce système permet d'étudier les 80 premiers mètres de l'atmosphère, avec une définition verticale de 4 mètres.

- deux sodars Doppler monostatiques de fréquences 2 000 Hz permettant de sonder les 500 premiers mètres de l'atmosphère, avec une définition de 17 mètres.

Ces trois systèmes sont tout à fait uniques, et particulièrement adaptés à la fois à des campagnes de recherche et à des mesures de routine puisque les traitements et l'enregistrement en temps réel de l'ensemble des données permettent de calculer les profils des différents paramètres et en particulier le vent sur un intervalle de temps quelconque soit en temps réel, soit après dépouillement, ce que ne peuvent effectuer les systèmes commerciaux qui ne délivrent les paramètres que pour intervalle de temps préfixé.

Campagnes et prestations de service

L'activité "SODAR" a conduit à mener plusieurs projets de développement, ainsi que des campagnes d'études. Evoquons tout d'abord les campagnes de mesure sur lesquelles reposent notre activité scientifique en couche limite, ce sont :

- la campagne COAST en 1983 en Hollande, en coopération avec la Météorologie Nationale hollandaise (le KNMI) ;
- la campagne VOVES en 1983 au cours de laquelle deux sodars ont été utilisés en collaboration avec le groupe de Télédétection du CRPE ;
- la campagne MESOGERS en 1984, au cours de laquelle les deux sodars triples et le minisodar ont été utilisés ;
- la campagne HAPEX/MOBILHY en 1986, au cours de laquelle un sodar a été implanté conjointement avec le minisodar dans la forêt landaise alors qu'un sodar était implanté dans une grande clairière. Font suite, développements, études et campagnes, pouvant être considérés comme des prestations de services. Sur demande de l'EDF (Electricité De France), une étude de faisabilité d'un sodar haute fréquence, permettant de sonder les 20 premiers mètres de l'atmosphère a été effectuée avec succès. Ainsi 3 petites campagnes de faisabilité (2 à Garchy, 1 à Villeau) ont été effectuées en 1987. Les sodars ont en outre été utilisés pour l'encadrement météorologique de plusieurs campagnes :
 - l'expérience FRONTS-87
 - l'expérience de détection des hélicoptères (expérience AMI-2 de l'OTAN) en coopération avec l'Institut franco-allemand de Saint-Louis (septembre 1988)
 - l'expérience à Magny-les-Hameaux avec le Laboratoire d'Aéronomie du CNRS, afin de comparer les observations d'un sodar avec celles d'un lidar (novembre 1988)
 - les expériences "brouillards" : prêt du minisodar au Laboratoire d'Aérodologie du CNRS pour deux campagnes d'étude des brouillards radiatifs dans la région Nord pendant deux fois deux mois en 1987 et 1988.

Perspectives techniques

Elles concernent essentiellement le développement de systèmes acoustiques à la mer : systèmes d'hydrophones et de sodar-minisodar sur bateau pour lesquels un soutien financier a été accordé par l'INSU.

- Le système d'hydrophones. Une chaîne de mesure par hydrophones devant être associée à une bouée marine ancrée est en cours de développement. Cet hydrophone immergé et "à l'écoute" des bruits de la mer permettra d'estimer le vent de surface et le taux de précipitation. Des essais en lac de gravière vont être effectués prochainement. En fonction des résultats, une plateforme avec 3 hydrophones pourrait être étudiée afin d'estimer par triangulation la direction du vent.

- Le sodar et le minisodar embarqués. Un projet technique utilisant le minisodar et une antenne verticale d'un sodar sur bateau est en cours de développement. La mise au point d'un système à cardans est en cours de réalisation au CNET, des essais en mer sont prévus en mars 1989 en coopération avec l'IFREMER.

3.2 APPLICATIONS GEOPHYSIQUES

3.2.1 Applications géophysiques - surfaces continentales

Modélisation des processus d'échanges énergétiques

De nombreux travaux ont montré que la Télédétection Aérospatiale pouvait permettre d'accéder à des paramètres géophysiques déterminants sur le plan climatique comme l'albédo, l'évaporation ou l'humidité du sol. En particulier, la relation entre l'émission terrestre dans l'infrarouge thermique (8-13 μm) et le bilan d'énergie sur les surfaces continentales permet d'estimer à l'échelle régionale les flux d'énergie à l'interface sol/atmosphère.

La méthode développée au CRPE est fondée sur l'équation de conservation des flux énergétiques entrant et sortant du système sol/végétation. Les travaux précédents le représentait comme un milieu conducteur équivalent à un sol nu. Pour notre part, nous avons introduit une description réaliste du couvert végétal à l'échelle régionale et de ses relations avec les contraintes atmosphériques. Ce modèle est capable, si le forçage atmosphérique lui est donné (par un modèle de couche limite ou par des stations météorologiques) de reproduire les flux à l'interface. Pour le faire fonctionner, il est nécessaire d'estimer les paramètres descriptifs du système sol/végétation (au nombre minimum de 4 : 2 pour la végétation, 2 pour le sol) soit à partir d'une connaissance a priori du milieu étudié soit par un calage utilisant des mesures météorologiques au sol ou encore directement à l'échelle du satellite grâce à la Télédétection [3210, 3211, 3009, 3010, 3023, 3608].

L'algorithme du CRPE a été conçu pour que, une fois fixés les paramètres fonctionnels et connus les termes du forçage atmosphérique, il soit capable de calculer les flux réels en utilisant des mesures faites directement à partir de l'espace : nature du couvert, densité de la végétation, humidité des sols, température de surface. La vérification de la pertinence de la modélisation ne peut se faire que sur des grandeurs ayant une signification à l'échelle de la vision

satellite (la dizaine de km^2) comme le flux de chaleur sensible dans la couche de surface atmosphérique. C'est ce qui a été fait ou est en train d'être fait au cours de 3 campagnes :

- La campagne VOVES-83 en Juillet. Le modèle est calé par des données a priori sur la nature du couvert (blé) et l'atmosphère est décrite par un modèle unidimensionnel. Les satellites utilisés sont ceux de la NOAA et METEOSAT. La validation est faite par des mesures de flux au sol (station SAMER de l'INRA). La figure 3.4 montre la variation temporelle, obtenue par inversion du modèle, d'un paramètre d'une importance climatique majeur : le contenu en eau de la zone racinaire.

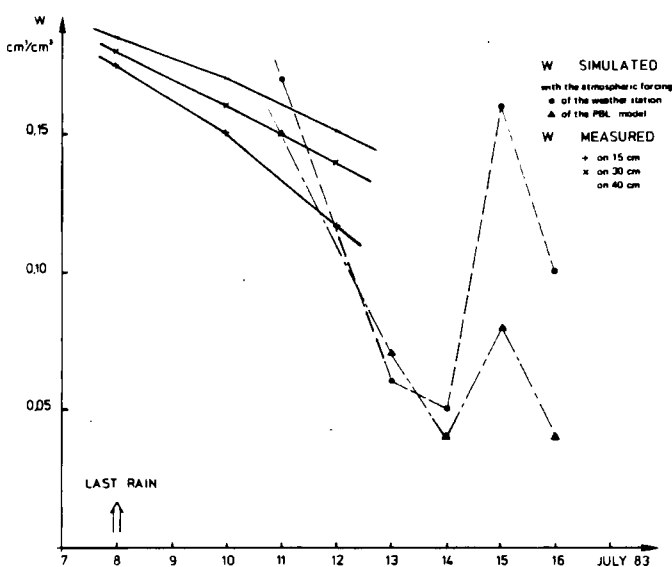


Figure 3.4. Variation dans le temps de W (contenu en eau de la zone racinaire) déduit par un modèle à partir des mesures de l'AVHRR des satellites NOAA pour une surface de quelques dizaines de km^2 dans la région de Villeau (Beauce). Grâce aux mesures des satellites, on a été capable de saisir un phénomène d'assèchement régional dont l'amorce est mise en évidence par les mesures de terrain. On voit également que l'utilisation des stations météo est, dans ce cas inadéquate, car elles introduisent, à cause de l'hétérogénéité locale de certains paramètres atmosphériques comme le vent, une forte instabilité dans l'inversion.

- La campagne VOVES-83 en Septembre, en situation de sol nu, première expérience combinant des mesures par radar et dans l'infrarouge thermique [3022, 3224, 3603, 3708] (utilisation du radar ERASME). Les paramètres fonctionnels du modèle ont été calculés en utilisant les données de Télédétection. La réalité de terrain était constituée par les mesures de flux de chaleur sensible à l'aide d'un sodar Doppler.

- L'expérience HAPEX/MOBILHY en 1986, est en cours de traitement. Le modèle est calé sur les mesures atmosphériques du réseau SAMER mis en place pour cette

expérience. Chacune de ces stations étant située sur une surface représentative d'une partie du carré HAPEX, on utilisera ces différents calages pour calculer les flux d'énergie sur chaque élément d'images fourni par les satellites NOAA ou METEOSAT. La vérification se fera sur les mesures de l'avion instrumenté du NCAR et par une comparaison avec les sorties du modèle Périot de la Météorologie Nationale [3727].

L'utilisation du modèle du CRPE pour calculer les flux dans la couche de surface suppose mesurable l'humidité de surface des sols et la température de surface. Une bonne évaluation des possibilités d'atteindre ces deux paramètres est donc nécessaire. C'est ce que l'on a fait dans le domaine des hyperfréquences pour l'humidité de surface (voir chapitre sur ERASME).

S'agissant de la température, on s'est essentiellement attaché à analyser les problèmes de l'effet de l'atmosphère. Ce travail s'est fondé sur l'archive HAPEX dans laquelle on a réuni, à côté des images AVHRR, des radiosondages et les mesures des sondeurs des satellites NOAA (TOVS). En collaboration avec le LMD (pour l'inversion du TOVS), on a comparé les corrections de l'effet de l'atmosphère à l'aide des profils de température et de vapeur d'eau obtenus par les radiosondages et le TOVS pour 36 situations. De cette comparaison il apparaît que, statistiquement, les corrections obtenues par le TOVS sont très proches de celles des radiosondages. Ce résultat est encourageant car il ouvre la voie à une plus grande autonomie de la mesure par satellite et de la température de surface [3731].

Un autre facteur important pour la reconstitution de cette température est la connaissance de l'émissivité moyenne de l'élément d'image. On n'a pas pu trouver, avec les mesures spatiales actuelles, de moyens de résoudre même une partie de ce problème. Il sera nécessaire, dans l'avenir, de réfléchir sérieusement à des moyens capables de donner des réponses, par exemple :

- . utilisation du radiomètre à deux angles de visée et à plusieurs fréquences de ERS-1 (expérience ATSR) dont le CRPE assure, avec le RAL anglais, la responsabilité principale ;

- . développement d'une expérience aéroportée couplant les mesures passives et actives (laser CO₂).

Le calcul de l'émissivité de l'élément d'image est certainement un des problèmes majeurs qui restent à résoudre pour que les mesures dans l'infrarouge thermique soient réellement fiables [3031].

L'observatoire hydrologique satellitaire

Ayant mis au point et testé sur des campagnes ponctuelles à la fois dans le temps et l'espace une

méthodologie d'estimation des flux de surface à l'aide de mesures satellitaires, il convenait d'examiner la possibilité d'utiliser cette méthode sur des durées supérieures à quelques jours. C'est ce qui a commencé à être fait dans le cadre de l'expérience HAPEX/MOBILHY. On cherche dans cette expérience à suivre les bilans hydriques des sols à l'échelle de la mesure satellitaire pendant 2 ans. Le principe de la méthode test le suivant. On utilise un modèle hydrologique "distribué et couplé" (avec l'atmosphère) capable de gérer de façon réaliste aussi bien les pertes de la zone non saturée par drainage que celles dues à l'évaporation connaissant le forçage atmosphérique. Dans ce schéma, la télédétection intervient (quand les conditions atmosphériques s'y prêtent) pour fournir une valeur initiale de la réserve hydrique.

Pour ce qui concerne HAPEX, on a d'abord modifié le modèle hydrologique existant afin de décrire correctement l'évaporation (collaboration CRPE/Ecole des Mines de Paris à Fontainebleau). La paramétrisation utilisée est un modèle à deux réservoirs pour le sol avec une résistance à l'évaporation inversement proportionnelle au contenu en eau du deuxième réservoir. Les paramètres fonctionnels de ce modèle ont été déterminés, comme dans le cas d'un modèle hydrologique classique par une étude statistique reliant les pluies sur chaque maille aux débits aux exutoires. Une comparaison de la réserve hydrique des sols simulés par ce nouveau modèle avec une carte d'indice de "stress hydrique" calculée à partir des mesures de l'AVHRR (fonction de la différence entre la température de surface et la température de l'air à 2 m) donne une bonne confiance dans la validité de l'approche (figure 3.5) [3723, 3732, 3032].

L'étape suivante qui consiste à utiliser les algorithmes d'inversion des données satellitaires est en cours. Elle utilisera, en particulier, les résultats des analyses effectuées sur des stations du réseau SAMER mis en place à l'occasion d'HAPEX (voir § 3.1.1).

Enfin, il faut noter que le Département reçoit actuellement un visiteur finlandais dont le travail a pour objectif d'étudier la possibilité d'utiliser cette méthodologie sur des bassins du Sud de la Finlande.

3.2.2 Surface océanique

Introduction

Depuis 1984, le CRPE a développé une activité instrumentale dans le domaine de la radiométrie hyperfréquence, avec le radiomètre ATSR-M, passager du satellite ERS-1 de l'ASE. Cet instrument, décrit dans le § 3.1.1, fournit essentiellement le contenu en vapeur d'eau intégré sur la colonne atmosphérique (W). Cette donnée est destinée à la correction du trajet atmosphérique du signal altimétrique, mais est également intéressante en tant qu'information sur l'humidité atmosphérique obtenue quelle que soit la nébulosité, contrairement aux données en infrarouge.

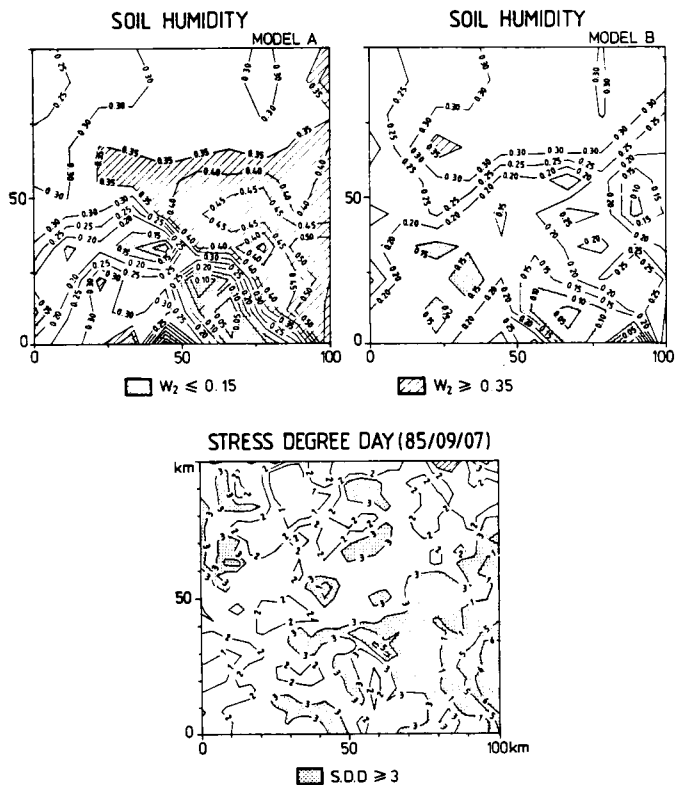


Figure 3.5. Comparaison des humidités de sol simulées par le modèle hydrologique, avant et après modification de la couche de surface, avec l'indice de stress observé par satellite, le 7 septembre 1985. Avec la seconde formulation (modèle B), la répartition des régions sèches est plus en accord avec l'observation satellitaire.

Des radiomètres hyperfréquence mesurant ce paramètre ont été développés et utilisés dans les années passées. En particulier, le SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer) embarqué sur les satellites SEASAT et NIMBUS-7 était un radiomètre hyperfréquence multicanaux mesurant à la fois des paramètres de surface (température de surface T_s et vent de surface V_s) et l'eau précipitable W sur l'ensemble des océans. Des travaux antérieurs, aux Etats-Unis (Liu et Niiler, 1984) ont mis en évidence l'intérêt de ce dernier paramètre W pour l'estimation du flux de chaleur latente à la surface océanique à l'échelle du mois, en établissant à partir de données de radiosondages une relation statistique entre W et l'humidité près de la surface.

L'étude entreprise au CRPE a pour but de définir l'utilisation la plus adaptée des données satellitaires, et en particulier celles provenant de la radiométrie hyperfréquence pour estimer les flux de chaleur à la surface océanique. Deux approches ont ainsi émergé, reliées aux thèmes de recherches du Département :

- compétence du groupe "Couche Limite" en ce qui concerne les processus de transfert près de la surface (observations, paramétrisations)

- compétence du groupe "Télédétection" concernant la technique radiométrique, l'algorithmique, et l'utilisation de données satellitaires pour l'étude des propriétés de la surface terrestre.

La première approche de ce sujet a fait l'objet de la Thèse de F. Cauneau [3609], soutenue en septembre 1988. Il s'agit d'une analyse des capacités de l'instrument SMMR et de la méthode de Liu de calcul du flux de chaleur latente (§ II.2.b). La seconde approche, en cours de développement, vise à établir l'intérêt d'une assimilation de ce type de données dans un modèle atmosphérique de grande échelle (§ II.2.c).

Analyse des caractéristiques des données du SMMR et de la méthode de Liu

Le but de l'étude était d'évaluer les caractéristiques des paramètres de base du SMMR de SEASAT (biais éventuels, précision, échantillonnage et variabilité spatiale et temporelle), et de déterminer par une analyse statistique les problèmes et les limites de la méthode de Liu. Pour cela, on a effectué les mêmes analyses sur le flux de chaleur latente que sur les données de base. Parallèlement, on a mis à l'épreuve la paramétrisation proposée par Liu reliant l'humidité dans les basses couches atmosphériques au contenu intégré mesuré par le radiomètre, à l'aide d'un jeu de radiosondages représentatif de différentes conditions climatiques. Enfin, on a cherché à appliquer cette méthode à des cas particuliers (passages de fronts).

Cette étude a permis de mettre en évidence les limitations de la mesure radiométrique par un instrument du type SMMR, en particulier en ce qui concerne les mesures de surface. Des problèmes instrumentaux affectant les canaux de basse fréquence et le manque de connaissances suffisamment établies sur les variations de l'émissivité de surface en sont la cause. On a cependant pu montrer que l'estimation de l'évaporation en moyenne mensuelle était possible pour les latitudes basses et moyennes, puisqu'on peut mettre en évidence les principales structures climatologiques.

Ce travail essentiellement critique des données du SMMR a permis de définir une stratégie d'utilisation des données de radiométrie hyperfréquence pour les études des bilans d'énergie à la surface des océans : les observations ne pouvant à elles seules décrire complètement les phénomènes liés aux échanges océan/atmosphère à toutes les échelles, en particulier par manque d'information sur la structure verticale de l'atmosphère (dans la couche limite surtout), une modélisation de l'océan ou de l'atmosphère s'avère indispensable. L'approche que nous avons choisie est donc de considérer les modèles opérationnels de prévision atmosphérique comme le moyen le plus adapté à la détermination des flux de surface, grâce à l'assimilation des données de toutes origines effectuée dans ce type de modèle, et à la qualité des paramétrisations des processus physiques mis en oeuvre.

Intérêt de la radiométrie hyperfréquence pour la modélisation de l'atmosphère

A l'échelle de un à quelques jours, seuls les modèles de circulation générale destinés à la prévision sont capables de fournir les flux de surface partout sur le globe. Notre objectif est d'utiliser les données satellitaires, et en particulier la radiométrie hyperfréquence pour tester et si possible améliorer les calculs des flux à la surface océanique dans un tel modèle. Ce travail constitue depuis janvier 1988 un "projet spécial" du CEPMMT, qui nous accorde dans ce cadre des heures de calcul sur le CRAY-XMP du Centre à Reading (Grande Bretagne) pour effectuer des simulations au moyen du modèle de prévision européen. Il a été également retenu par l'ASE dans le cadre de l'appel d'offre pour le satellite ERS-1.

Les données utilisées sont les mesures du SMMR de NIMBUS-7 et les analyses correspondantes du modèle (combinaison des champs observés prétraités et des champs prédits par le modèle depuis l'instant de la précédente assimilation, 6 heures avant), durant les deux périodes intensives (SOP) du First Global Garp Experiment (FGGE) en 1979. La première étape de ce travail a consisté à comparer les observations du SMMR avec les sorties correspondantes des analyses, pour déterminer les qualités et défauts respectifs des deux jeux de données de base. On a également confronté l'approche statistique de la méthode de Liu avec les flux calculés par le modèle.

Pour les données communes (Ts, Vs, W) on a calculé sur deux mois les cartes des valeurs moyennes et d'écart types, traduisant la variation temporelle du paramètre en chaque point, et on a examiné la dispersion des mesures du SMMR par rapport aux analyses du modèle.

Les données de température de surface SMMR et celles issues du modèle sont bien corrélées et présentent des structures voisines sur la majeure partie des océans. La comparaison du champ de vent SMMR au vent analysé à 30 m, le plus bas niveau du modèle, montre au contraire un total désaccord. En ce qui concerne W, les champs moyens présentent des caractéristiques à grande échelle voisines (mêmes gradients), mais un biais moyen est constaté en excès pour le modèle, et de fortes différences locales sont observées (figure 3.6).

Le problème principal de cette comparaison, comme dans l'étude de F. Cauneau, vient de ce que l'on n'a aucune "vérité sol" pour attester la qualité des champs. Pour cette raison, on a discuté les résultats en terme de la cohérence des structures spatiales moyennes, et dans certains cas en terme de variabilité temporelle minimale.

Cette étude montre que la donnée la plus intéressante du SMMR est l'eau précipitable, puisque son erreur intrinsèque moyenne est faible ($\sim 0,3 \text{ g/cm}^2$), et qu'elle est peu affectée

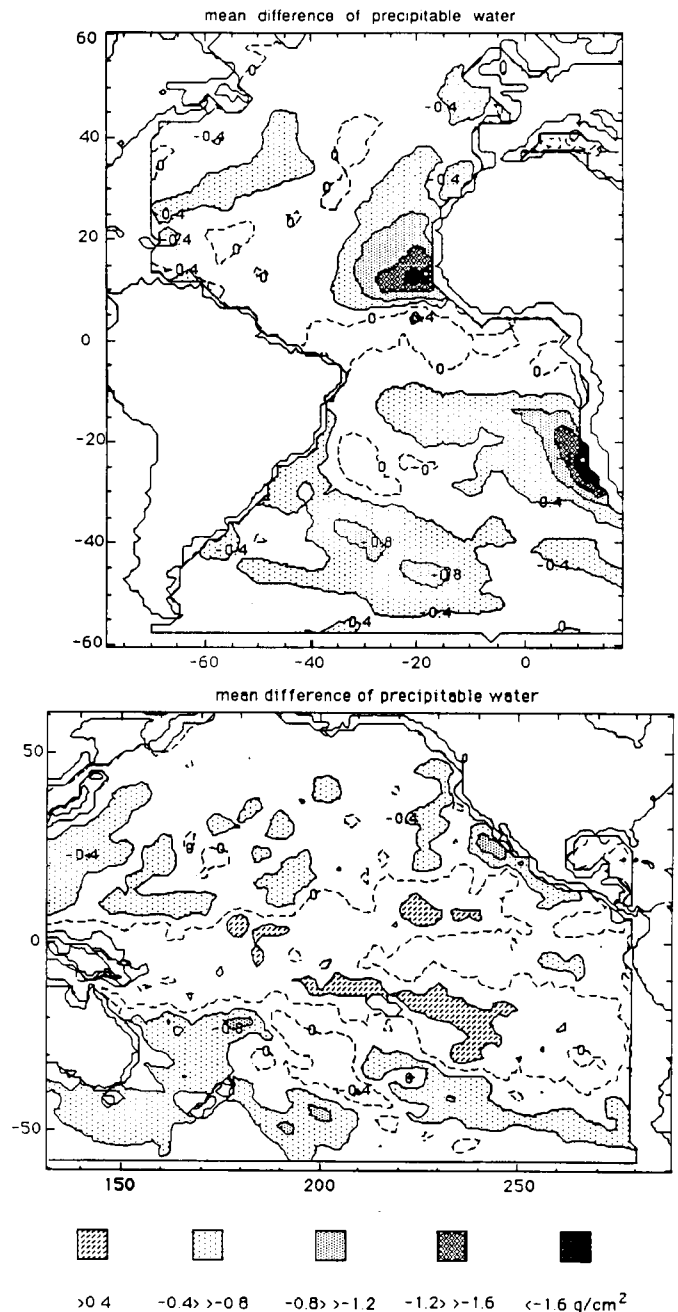


Figure 3.6. Différence moyenne entre l'eau précipitable mesurée par le SMMR et celle déduite du champ d'humidité analysé par le modèle du CEPMMT dans les océans Atlantique et Pacifique. Un biais moyen d'environ $0,3 \text{ g/cm}^2$ est observé, correspondant à un excès d'humidité de l'analyse. Des erreurs locales atteignant $1,6 \text{ g/cm}^2$ en excès pour le champ analysé apparaissent sur le bord Est des bassins océaniques (surtout l'Atlantique) dans les régions d'inversion subsidente climatologique, dues sans doute à un défaut des paramétrisations utilisées dans le modèle.

par les problèmes de contamination des lobes d'antenne par les terres. Par ailleurs, l'analyse d'humidité présente des défauts dus au cycle hydrologique du modèle car le manque de données fait que l'analyse provient essentiellement du cycle

de prévision précédent. L'assimilation de l'eau précipitable mesurée par satellite dans le modèle permettrait peut-être d'améliorer la qualité des champs d'humidité analysés.

La méthode de Liu a été appliquée aux données du SMMR, pour obtenir le flux de chaleur latente moyen sur les deux mois de données (condition optimale de l'application de cette méthode). Malgré les différences sur les paramètres de base, on retrouve les principales structures climatologiques. La validité de la méthode de Liu a été vérifiée en l'appliquant aux champs moyens du modèle, et l'importance relative des différentes composantes du flux (Ts et W) a été examinée. L'eau précipitable apparaît être le paramètre le plus sensible, mais des variations locales de 2°K sur la température de surface introduisent des changements significatifs.

La comparaison SMMR-modèle ayant montré l'intérêt de la mesure de l'eau précipitable, on a entrepris d'utiliser ce paramètre comme terme de forçage du modèle. A court terme, on utilisera le modèle unidimensionnel du CEPMM (Centre Européen de Prévision Météorologique à Moyen Terme) pour examiner l'effet d'une modification du profil d'humidité sur le comportement du modèle.

3.2.3 Etudes de la couche limite atmosphérique

Depuis 1984, les recherches sur la couche limite sont particulièrement axées sur l'étude de la couche limite à mésoéchelle ou couche limite "étendue". L'étude de la couche limite homogène a essentiellement concerné la documentation d'un domaine encore lacunaire des couches stables diurnes et nocturnes. Nous relatons ici les résultats les plus remarquables obtenus au cours des différentes campagnes :

- COAST (Cooperative Experiment for Acoustic Sounding) en Hollande avril/mai 1983. Etude de la "climatologie de la turbulence".

- MESOGERS-84 : expérience d'études des flux et de l'écoulement sur terrain complexe, dans la région du Gers, septembre 1984.

- HAPEX/MOBILHY sur forêt (1986), contribution à l'étude des flux sur la forêt, mai/juin 1986.

Résultats de la campagne COAST

Les paramètres essentiels des couches stables ont été analysés : vent, énergie cinétique turbulente, flux de quantité de mouvement, taux de dissipation et échelle de dissipation.

Notre étude a été effectuée sur les épaisseurs de couches stables beaucoup plus élevées que celles généralement étudiées dans la littérature ; on a en outre analysé l'extension des paramétrisations du cisaillement et du taux de dissipation (formulation de Businger) dans toute la couche stable. Ce

travail [3207, 3008, 3601] justifie dans des modèles numériques l'extension des paramétrisations pour la couche de surface à toute la couche stable. Une augmentation du taux de dissipation en présence d'ondes de gravité a été mise en évidence de façon assez systématique. L'un des intérêts principaux du travail effectué est de permettre d'observer le passage d'un système turbulent sans onde à un système ondulatoire. Ceci diffère profondément des travaux effectués en ce domaine ou généralement, les systèmes d'ondes sont établis et seules les relations ondes/turbulence étudiées, alors qu'il existe une turbulence intrinsèque du milieu, indépendante ou modulée par les ondes.

Il est également important de connaître et de comprendre comment un système à moyenne échelle comme un front, un système nuageux,... peut modifier certaines particularités de la couche limite. Cette connaissance peut avoir des applications pour la prévision du temps de passage de certaines perturbations, d'autant plus que ces perturbations peuvent modifier la traînée aérodynamique près de la surface. Un cas très intéressant a été documenté pour lequel nous avons caractérisé à différentes échelles les perturbations, la convergence et le spectre de la vitesse verticale.

Nous avons également estimé le taux de dissipation turbulente et la force de flottabilité au cours du temps, ainsi que la vitesse de propagation d'échelle moyenne en la comparant avec la vitesse du vent. L'un des résultats les plus prometteurs, concerne la détermination de la vitesse de transfert de la turbulence du vent moyen qui est différente de la vitesse de propagation de la perturbation de moyenne échelle.

La *figure 3.7* montre pour le système à mésoéchelle analysé, l'organisation d'un alignement nuageux observé par un radar météorologique et la perturbation turbulente vue par le sodar au passage de cet alignement.

Expérience MESOGERS

L'objectif essentiel de MESOGERS était l'étude de la couche limite sur terrain à topographie complexe et la mesure des flux à des échelles spatiales de plus en plus grandes, grâce à l'utilisation d'instruments "intégrateurs" permettant de poser des mesures locales à des échelles beaucoup plus grandes que celles de la parcelle (mesures locales par système de mesures de flux développés par l'INRA (Institut National de Recherches Agronomiques), mesures par télédétection acoustique (Sodar Doppler), avion de recherche atmosphérique, mesures satellitaires). Nous avons ainsi mis au point plusieurs méthodes d'estimation des flux sur des échelles spatiales beaucoup plus grandes que la parcelle. Ces méthodes ont été validées à partir d'un modèle tridimensionnel très simple modifié afin d'être appliqué au relief du Gers et à des transitions nocturnes.

COAST Le 22 MAI

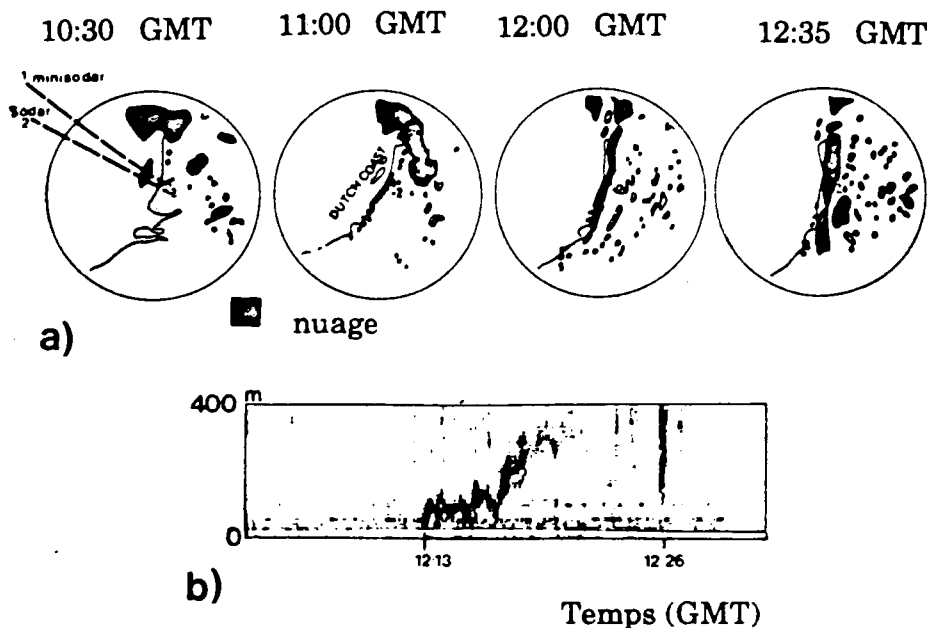


Figure 3.7. Exemple d'une structure convective à mésoéchelle observée lors de l'expérience COAST.

a) Organisation des nuages sous forme de "rues" de nuages le 22 mai 1983 sur l'écran du radar météorologique de De bilt (Hollande) : en 1 et 2 sont implantés respectivement le minisodar et le sodar du CRPE.

b) Facsimilé de réflectivité montrant la signature en réflectivité (proportionnelle à la turbulence thermique) lors du passage du front de rafale associé à l'alignement nuageux.

On a pu mettre en évidence et quantifier l'homogénéisation du champ de vent, soit en présence de convection diurne de beau temps, soit en présence d'ondes de gravité-inertio-nocturnes.

Une vérification de l'hypothèse de Taylor d'advection horizontale de la turbulence d'échelle moyenne a été effectuée à une échelle horizontale de 40 km (ce qui n'aurait jamais été fait) et le comportement spectral de la turbulence à moyenne échelle a été analysé [3021, 3610]. La prise en compte de la traînée aérodynamique des fronts et la relation outre la traînée au sommet de la couche de surface et la pente du front a été identifiée par un petit modèle simple [3228].

Actuellement les recherches se poursuivent sur l'utilisation des données infrarouges du satellite défilant NOAA en présence de petits nuages de beau temps, en vue d'estimer les flux de surface. Les résultats de cette étude devraient permettre l'utilisation d'un plus grand nombre de données d'images satellite puisque les images en présence de petits nuages de beau temps étaient généralement exclues pour l'estimation des flux de surface. Une étude des ondes de gravité est effectuée en collaboration avec l'Université de Californie (UCLA).

Contribution à l'expérience HAPEX/MOBILHY sur la forêt

L'objectif initial était l'étude des flux de quantité de mouvement et de chaleur sensible sur la forêt : le sodar A et le minisodar étant dans la forêt, le sodar B dans une grande clairière. L'utilisation de deux sodar identiques sur deux milieux différents à une distance inférieure à 4 km les uns des autres nous a permis d'inventer une méthode de mesure de la tension différentielle du vent entre la forêt et la clairière. Une paramétrisation des profils de vent sur différents couverts végétaux est en cours et une coopération avec W. Brutsaert de Cornell University est entamée. Les études s'orientent sur la prise en compte de la stabilité et de la direction du vent. En effet, suivant la direction du vent et les effets de "fetch" variés, la grande clairière peut avoir dans certains cas des propriétés dynamiques semblables à celles de la forêt. Une systématisation des mesures de flux de chaleur par Sodar est en cours, permettant de déterminer les flux et les échelles spatiales sur lesquels ils sont calculés.

B. PERSPECTIVES

A court terme, le Département achèvera d'exploiter les campagnes MESOGERS et HAPEX. On espère en particulier arriver à démontrer la faisabilité et l'utilité d'un observatoire hydrologique qui utiliserait les méthodes que

nous avons développées et vérifiées (utilisation de infrarouge thermique, des hyperfréquences et des sondeurs atmosphériques). Le département, en collaboration avec des chercheurs de l'INRA, du CNRM et de l'US Department of Agriculture, a proposé la mise en place d'un observatoire pré-opérationnel destiné à tester la capacité des satellites de type NOAA à suivre sur de très longues périodes les bilans hydriques régionaux. On a en particulier proposé l'équipement de deux régions de caractères distincts avec un réseau agrométéorologique et la mise sur pied d'un archivage systématique des mesures satellitaires sur une durée de 5 ans à partir de 1995.

Pour le futur plus immédiat, le Département sera fortement impliqué dans les expériences sur la couche limite marine, l'exploitation de ERS-1 (lancement fin 1990) et le développement de l'utilisation des radars imageurs pour les ressources renouvelables (eau et végétation).

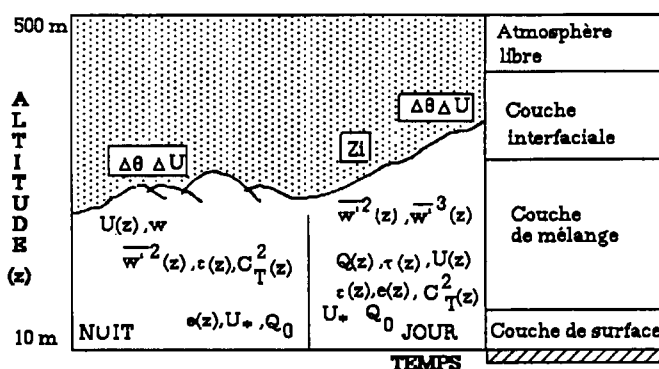
3.3 ETUDES DE L'ENVIRONNEMENT

3.3.1 Océan

En vue de l'étude des transferts à l'interface océan/atmosphère, on développe une instrumentation permettant des mesures in situ et par télédétection acoustique. En particulier, avec le soutien de l'INSU, nous avons défini un minisodar Doppler embarqué asservi mécaniquement en site et azimut.

Ce minisodar permettra d'estimer la tension du vent, et le flux de chaleur sensible, dans les 80 premiers mètres de la couche limite marine. Une antenne verticale d'un sodar Doppler classique fournira l'altitude de l'inversion, la vitesse du vent (mesure de convergence et de subsidence) ainsi que des estimations des effets d'entraînement. Cette instrumentation embarquée sera associée à un ensemble de mesures in situ. La *figure 3.8* montre l'ensemble des paramètres pouvant être obtenus avec cette technique.

Par ailleurs afin d'étendre les mesures à de grandes surfaces, comparables à un pixel du satellite ERS-1 ($50 \times 50 \text{ km}^2$), nous étudions actuellement un dispositif de mesure par hydrophone immergé à partir d'une bouée ancrée. Cet hydrophone fournira une estimation de la tension de surface, dans un domaine d'espace de l'ordre du km^2 ou supérieur. Cet ensemble instrumental correspond à notre participation à la campagne de mesures à l'interface air/mer à moyenne échelle, que prépare l'INSU pour 1992. Cette expérience permettra à la fois d'alimenter des modèles océaniques et météorologiques mais aussi de comprendre comment l'on passe des flux locaux aux flux à grande échelle (campagne SOFIA : Surface Océanique : Flux et Interactions avec l'Atmosphère).



- U = vitesse horizontale du vent
- w = vitesse verticale du vent (') pour perturbation
- e = composantes de l'énergie cinétique turbulente
- ε = taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente
- U^* = vitesse de frottement
- Q_0 = flux de température virtuelle de surface
- $Q(z)$ = flux de température virtuelle
- τ = tension de Reynolds
- $\Delta\theta$ = "saut" thermique à la base de l'inversion à Z_i
- C_T^2 = fonction de structure des fluctuations thermiques

Figure 3.8. Cet ensemble de paramètres peut être atteint à partir de Sodar Doppler et des méthodes basées sur l'analyse des processus mises au point par l'équipe Couche Limite. Ces paramètres peuvent être associés à des phénomènes variés, panaches convectifs, brises de mer et de montagne, fronts de rafales, jets nocturnes, nuages bas... Une application de ces méthodes à la mer est riche en perspectives.

3.3.2 Hydrologie de surface continentale

Le programme des années futures se situe dans la continuité de l'effort consenti ces dernières années. L'élément nouveau essentiel sera le lancement du satellite ERS-1 qui permettra, enfin, de mettre en application les méthodes que nous avons mises au point (mesures des variations de l'humidité de surface à l'échelle régionale, utilisation de ce paramètre dans des modèles hydrologiques, etc.).

Nous participerons activement à la campagne prévue par l'INRA dans le cadre de l'exploitation de ERS-1 pour les ressources renouvelables (essentiellement l'eau compte tenu de la géométrie et de la fréquence du radar imageur). A cette occasion le Département "OBT" mettra en oeuvre ERASME afin d'apporter des comparaisons "in situ" et de permettre une étude de l'étalonnage d'un radar spatial sur "cible répartie". Nous tirerons également partie de cette campagne pour tester notre modèle simplifié de transferts hydriques dans le sol à partir de mesures satellitaires (expérience similaire à celle de septembre 1983 sur Voves).

Nous avons également proposé avec le LERTS, d'utiliser le diffusomètre vent de ERS-1 au-dessus des régions sahéniennes. On espère que ce radar, à faible résolution spatiale ($25 \times 25 \text{ km}^2$) mais à large fauchée, nous permettra d'apporter des éléments utiles aux bilans hydriques dans ces zones. On s'attend, par exemple, à être capable de

montrer qu'un radar de ce type est susceptible de donner la répartition spatiale de l'occurrence des pluies. Cette expérience ouvrira alors la voie à l'utilisation sur les continents des radars imageurs à couverture globale (Global Radar Imaging) dont les prototypes voleront probablement sur les stations polaires à l'horizon 95/2000.

Enfin, les campagnes que nous conduisons avec le CEMAGREF sur le bassin agricole de l'Orgeval près de Coulommiers, nous permettront d'étudier l'utilisation des mesures par radar de l'humidité de surface des sols dans des modèles hydrologiques distribués. On en attend en particulier une amélioration dans la prévision du ruissellement.

3.4 INSTRUMENTATION ERS-1

3.4.1 Radiomètre ATSR-M

Le lancement de ERS-1 est prévu vers la fin 90. D'ici là, la principale activité sera tournée vers la mise en place du système de traitement, et des moyens de suivi et de validation des mesures du radiomètre. Une première étape sera l'exploitation des étalonnages de l'instrument (début 89) pour la définition des différents paramètres entrant dans le traitement des mesures, et la recette des logiciels grâce à des données simulées. Ultérieurement, la validation passera par une série d'actions coordonnées :

- utilisation de radiosondages coïncidents, acquis soit par le réseau synoptique, soit au cours des campagnes d'étalonnage de ERS-1

- comparaison avec des observations de radiomètres au sol (en particulier utilisation du radiomètre PORTOS du CNES embarqué sur un navire)

- comparaison systématique avec le contenu en eau intégré fourni par les modèles de prévisions météorologiques

- développement d'algorithmes intégrant notamment les mesures du radiomètre infrarouge (ATSR).

3.4.2 Radiométrie infrarouge

La disponibilité des données du radiomètre infrarouge ATSR sur les continents, suivant deux angles d'incidence et dans deux canaux voisins, permettra l'étude de la variation angulaire de l'émissivité de la surface, et une amélioration des méthodes de correction atmosphérique sur les terres émergées (utilisées dans le cadre des études sur les échanges d'énergie et le bilan hydrique à la surface des continents).

3.4.3 Observations radar sur l'océan

Deux activités essentielles se développeront dans les années à venir, tournées vers l'utilisation des instruments actifs de ERS-1 (SAR et diffusomètre) :

- d'une part la contribution aux programmes de validation de ERS-1 de l'Agence Spatiale Européenne, par le développe-

ment et l'utilisation du nouveau radar RESSAC pour la mesure des vagues, et les études correspondantes en théorie de la mesure ;

- d'autre part le développement d'un programme d'étude de la dynamique des vagues à partir des observations du SAR et de l'altimètre de ERS-1.

3.5 INSTRUMENTATION EN HYPER-FREQUENCES

3.5.1 Radar "ressources renouvelables"

La nouvelle version du radar ERASME pour les ressources renouvelables est à présent opérationnelle. Durant l'année 89, il sera utilisé sur une période de 6 mois (1 à 2 vols par mois) au-dessus du bassin CEMAGREF de l'Orgeval. Cette expérience, menée en commun avec l'INRA et le CEMAGREF, a trois objectifs :

- rechercher les configurations radar les plus propices à mesurer l'humidité et la rugosité de surface des sols

- appliquer les cartographies obtenues à la mise au point de modèles hydrologiques distribués utilisant les mesures hyperfréquences

- inverser les signaux radars en terme de paramètres végétaux dans des conditions aussi proches que possible de la mesure à partir de l'espace.

Les prochaines années seront consacrées à l'interprétation de cette campagne. Le département ayant été sélectionné pour l'utilisation du radar NASA/JPL - SIR-C embarqué sur la navette US en 1992 et 1993, cette exploitation servira de base à l'organisation de l'expérience in situ en appui du survol par SIR-C du site français.

Enfin, comme il reste techniquement très difficile de mesurer simultanément l'humidité de surface et des paramètres végétaux à l'aide de radars spatiaux, on s'efforcera de trouver des solutions alternatives. Il existe une technique susceptible de répondre à cette spécification, c'est le radar polarimètre. Son principe est de mesurer pour chaque élément d'image tous les termes de la matrice de diffusion (en phase et en amplitude). On espère ainsi pouvoir séparer l'effet du sol et celui de la végétation.

On proposera au CNES (probablement dans le cadre d'une collaboration avec la Société THOMSON) la transformation d'ERASME en radar polarimètre à au moins 1 fréquence (bande X).

3.5.2 Traitement des signaux des radars imageurs

A l'appui de l'utilisation des images de ERS-1 et SIR-C, le département a entrepris en 1988 une activité sur le traitement des images et du signal radar. Le CRPE possède à présent un processeur expérimental fonctionnant sur

l'ordinateur vectoriel du CNET. Cet instrument servira à étudier les domaines suivants :

- algorithmie avec la prise en compte des paramètres de vol en vue du traitement en temps réel ;
- qualité image tant en radiométrie qu'en géométrie. On s'attachera à l'étude de la qualité de l'étalonnage.

3.5.3 Eventuelle participation au projet CASSINI

Pour l'horizon 2000, on peut envisager une participation au projet CASSINI d'exploration de l'environnement de la planète Saturne. Ce projet conjoint NASA/ESA devrait en effet comporter un radiomètre polarimètre en ondes centimétriques, destiné à observer l'état de surface des

satellites de Saturne (en particulier TITAN), des astéroïdes et des anneaux de Saturne. La technique des microondes apparaît particulièrement prometteuse pour l'étude du satellite TITAN, dont l'atmosphère est complètement opaque aux longueurs d'onde visibles. Les compétences instrumentales acquises au laboratoire peuvent laisser envisager une participation à la mise en oeuvre de cet instrument. Les plans actuels prévoient un lancement en 1996, pour une arrivée sur Saturne en 2002.

Une participation à la faisabilité de la détermination des propriétés des surfaces et des couches limites des planètes denses à partir de méthodes acoustiques est envisagée en collaboration avec l'ESTEC, suite aux études ASTEK (Acoustic System for Titan Environment Knowledge) effectuées dans le cadre de ce même projet.

4. ENVIRONNEMENTS IONISES PLANETAIRES

INTRODUCTION

Les caractéristiques des enveloppes ionisées des objets du système solaire, planètes et comètes, dépendent principalement de deux facteurs : la présence (ou l'absence) d'un champ magnétique interne et la présence (ou l'absence) d'une atmosphère. L'extrême diversité des situations rencontrées dans le système solaire prêche en faveur d'une approche comparative. La première étape dans l'étude du système solaire a été franchie, pour CRPE, avec une expérience embarquée à bord de la sonde GIOTTO envoyée avec succès par l'Agence Spatiale Européenne vers la Comète de Halley. Nous décrirons dans la partie "Prospective", les étapes suivantes de ce programme.

En parallèle avec ce programme d'exploration qui se met en place, des études destinées à approfondir notre compréhension des phénomènes physiques mis en jeu a été menée dans l'environnement ionisé terrestre. Nous décrirons tout d'abord les résultats obtenus dans le domaine de la circulation du plasma gouvernée par sa dynamo externe (l'interaction avec le vent solaire) et sa dynamo interne (l'interaction avec l'atmosphère). Le fait que le plasma soit peu dense et très chaud implique que le libre parcours moyen entre deux collisions binaires soit très grand ; les collisions ne jouent donc aucun rôle dans l'interaction entre le vent solaire et la magnétosphère. Ceci explique l'importance jouée par les ondes de plasma qui, en interagissant avec les particules, jouent le rôle que les collisions binaires ne peuvent assurer. Ceci est particulièrement vrai dans les régions frontalières (choc et magnétopause) et dans la région aurorale à haute altitude, où les structures à petites échelles et la turbulence semblent jouer un rôle essentiel dans le transport "anormal" du plasma à travers le champ magnétique et dans l'accélération des particules le long du champ. Nous nous attacherons à décrire les résultats obtenus dans ces divers domaines.

Les études portant sur la dynamique globale du système ont en général été menées à partir de moyens "sol" (le sondeur à diffusion incohérente EISCAT en particulier) qui permettent d'assurer une couverture à grande échelle de la

circulation du plasma. L'étude des ondes de plasma et des structures laminaires et turbulentes a été menée à partir de moyens spatiaux : le satellite VIKING a fourni les mesures les plus récentes, mais les excellentes bases que constituent les données des satellites GEOS, ISEE et ARCAD ont été mises à profit pour nombre d'études.

A - RESULTATS

4.1 ELECTRODYNAMIQUE ET TRANSPORT A GRANDE ET MOYENNE ECHELLE

A l'échelle globale, la circulation du plasma dans la magnétosphère est engendrée par le jeu simultané de la "dynamo vent solaire", liée aux processus d'interactions au niveau de la magnétopause, et de la dynamo atmosphérique provenant de l'entraînement du plasma par les mouvements de l'atmosphère neutre. Leur importance relative dépend de la latitude ; l'effet de la dynamo solaire devient prépondérant à haute latitude. Nous allons d'abord décrire les résultats obtenus dans le domaine de l'électrodynamique de ce système en mettant en relief le rôle joué par les précipitations de particules énergiques dans l'ionosphère et l'échappement du plasma thermique de l'ionosphère.

4.1.1 Couplage ionosphère/magnétosphère

Deux articles de synthèse [1004] et [1263] décrivent le couplage entre la magnétosphère et l'ionosphère. Le premier décrit de manière autocohérente le transport des ions chauds magnétosphériques vers la Terre : un système de courants magnétosphériques est engendré par les gradients de pression qui se développent dans le gaz d'ions chauds. La fermeture, par l'intermédiaire de courants alignés le long du champ magnétique de ces courants magnétosphériques, s'effectue à travers l'ionosphère conductrice. Ce système est bouclé puisque la distribution des champs électriques ionosphériques résultant de la fermeture des courants magnétosphériques est retransmise à la magnétosphère par l'intermédiaire des lignes de force du champ magnétique parfaitement conductrices, ce qui modifie le mouvement du plasma chaud. Ce modèle

permet de retrouver des caractéristiques de la distribution des champs électriques ionosphériques, par exemple le confinement de la convection dans la zone aurorale et sa quasi-exclusion des régions de moyennes latitudes (effet d'écran). Il prédit également l'établissement, à l'état stationnaire, d'une distribution de potentiel électrostatique en quadrature de phase avec la distribution des courants alignés. Modifié récemment pour tenir compte des variations temporelles du générateur de la convection - le champ électrique crée à travers la magnétosphère par l'interaction entre le vent solaire et la magnétosphère -, les résultats de ce modèle ont été comparés avec des données expérimentales [1062]. Ces comparaisons ont montré qu'une description simplifiée du circuit limitée à la zone aurorale et au courant annulaire est suffisante pour représenter correctement le couplage entre ce circuit et celui de moyenne latitude. Toutefois la linéarisation des équations de ce modèle ne permet pas de décrire les injections de plasma à partir de la queue magnétique vers l'intérieur de la magnétosphère, ni la perte d'ions et d'électrons dans la magnétosphère interne. En particulier, les processus d'interaction ondes-particules qui se développent dans la magnétosphère équatoriale font précipiter le plasma magnétosphérique, essentiellement des électrons, vers l'ionosphère aurorale. Ces précipitations modifient les conductivités ionosphériques, et constituent donc une source supplémentaire de couplage entre la magnétosphère et l'ionosphère. Pour pallier cette lacune, une deuxième approche a été mise en oeuvre. Elle permet, grâce à un code numérique dépendant du temps, fondé sur une technique d'éléments finis, de décrire de façon autocohérente le transport des électrons magnétosphériques, et leur perte par précipitation dans l'ionosphère. Les champs électriques qui résultent de ce couplage sont transmis à la magnétosphère, et affectent finalement le transport des électrons magnétosphériques [1010]. Ce modèle reproduit bien la formation de la ceinture des précipitations d'électrons dans la zone aurorale ; sa distribution en temps local et la position de son bord équatorial sont en bon accord avec les observations. Cette ceinture de précipitation déforme les lignes d'écoulement du plasma dans le secteur nuit. La comparaison entre les distributions du champ électrique déduites de ce modèle et les observations indique que ce modèle sous-estime l'intensité des champs électriques méridionaux dans la zone aurorale, alors qu'il les surestime aux moyennes latitudes. Ces différences semblent être dues au fait que la population d'ions chauds magnétosphériques responsables de l'effet d'écran décrit plus haut n'est pas prise en compte.

L'étape suivante, actuellement en cours, consiste à réunir ces deux approches dans un seul modèle décrivant le transport et les pertes des ions et électrons chauds magnétosphériques dans un formalisme magnéto-hydrodynamique. Ce travail a débuté par une évaluation du rôle des pertes dans la génération des courants alignés [1070]. Une étude quantitative des temps caractéristiques de pertes d'ions et d'électrons par précipitation et de pertes d'ions par échange de charge avec l'hydrogène de la géocouronne a permis de montrer que ces pertes introduisent un déphasage supplémentaire entre les

distributions du potentiel électrostatique et des courants alignés [1867, 1868].

4.1.2 Observations à haute latitude

Convection magnétosphérique

Le sondeur à diffusion incohérente EISCAT permet de mesurer dans le domaine des UHF trois composantes de la vitesse des ions dans l'ionosphère aurorale entre 60° et 73° de latitude invariante. On peut, moyennant des hypothèses raisonnables, en déduire les composantes perpendiculaires au champ magnétique de la vitesse ionique, et donc du champ électrique [1069].

L'un des premiers objectifs des études entreprises au moyen de ces données a été de déduire des cartes du potentiel de convection dans la zone aurorale pour des jours d'observation représentatifs de différents niveaux d'activité magnétique. Ceci a été réalisé en utilisant les mesures du champ électrique de convection pour ajuster les paramètres d'un modèle. Les résultats font bien apparaître le système classique de deux cellules de convection centrées autour de 06 H et 18 H TML et donnent une évaluation de la différence de potentiel entre 06 H et 18 H dans la calotte polaire et sa variation en fonction de l'activité magnétique [1022]. Cette étude a été prolongée pour décrire statistiquement la convection du plasma ionosphérique en fonction de l'activité magnétique, à partir d'une base de données du radar EISCAT. Ces modèles empiriques sont en très bons accords avec ceux déduits des données d'autres instruments (radars et satellites) [1846].

L'obtention des cartes du potentiel électrostatique à partir des mesures du seul radar EISCAT repose sur l'hypothèse de stationnarité des conditions géomagnétiques, puisque les mesures sont réparties sur une période de 24 heures. Pour s'affranchir de cette hypothèse souvent peu réaliste, une technique a été mise au point qui permet de déduire des cartes instantanées de la distribution du potentiel électrique en utilisant les données de plusieurs radars, de satellites et de magnétomètres au sol. Cette méthode a été appliquée à une période de la campagne internationale GISMOS en janvier 1984, et a permis d'étudier les variations temporelles de la convection lors d'un sous-orage. Il a été possible, d'autre part, à partir des minima et maxima du potentiel obtenus ainsi, au centre des cellules de convection, de déterminer la différence de potentiel totale à travers la calotte polaire et de comparer celle-ci à des estimations indépendantes fondées sur des données de champ magnétique interplanétaire. L'excellent accord entre les deux estimations donne confiance dans la validité de chacune des deux méthodes [1078].

La conductivité ionosphérique et son rôle dans la convection

Les mesures par EISCAT de la densité électronique dans la région dynamo de l'ionosphère permettent de déduire les conductivités aurorales. Associées aux mesures de champ

électrique, elles permettent d'évaluer les taux de chauffage Joule et les courants perpendiculaires au champ magnétique [1763]. Les variations du taux de chauffage Joule en latitude et en temps local ont été étudiées et comparées aux estimations déduites des variations du champ magnétique au sol [1026]. D'autre part, le calcul de la divergence des courants ionosphériques permet de calculer les courants électriques qui circulent le long du champ magnétique entre l'ionosphère et la magnétosphère. Ce travail a été réalisé sur une campagne de mesure de 24 heures. Les résultats obtenus pour une période où l'activité magnétique était demeurée stationnaire et modérée, font apparaître une structure globale des courants alignés en bon accord avec les modèles statistiques obtenus par les mesures en satellite. Cependant lorsque l'on compare les variations en fonction du temps magnétique local du potentiel électrique et de l'intensité des courants alignés dans les régions de basse latitude (courants de région 2), on observe que ces deux grandeurs sont en opposition de phase, contrairement aux prédictions de la théorie adiabatique qui prévoit une quadrature de phase [1044]. Ceci est à mettre en relation avec le rôle des pertes des particules chaudes magnétosphériques, qui engendrent des gradients de pression azimutaux dans la magnétosphère susceptibles de produire les déphasages observés.

Les spectres en énergie entre 1 et 10 keV des électrons qui précipitent dans une aurore diffuse ont été déduits des mesures de densité électronique du radar EISCAT, et comparés à des mesures directes faites à bord du satellite ARCAD-3 ainsi qu'à des mesures d'électrons, entre 3 et 10 keV du feuillet de plasma, effectuées par le satellite géostationnaire GEOS-2. L'accord entre ces différentes mesures suggère que les flux des électrons du plan équatorial de la magnétosphère sont quasi isotropes. Les ondes électrostatiques cyclotroniques électroniques, observées également à bord du satellite GEOS-2, ne semblent pas assez intenses pour provoquer la diffusion forte en angle d'attaque des électrons de quelques keV. Ceci conduit à penser que ces ondes ne sont pas la cause unique des précipitations aurorales [1029, 1218].

Les conductivités ionosphériques déduites des mesures du radar EISCAT ont été comparées à celles déduites des observations du radar cohérent STARE combinées aux observations d'un magnétosphère au sol. L'accord entre les deux estimations est bon lorsque le champ électrique est faible ; par contre, lorsque le champ électrique est intense, les conductivités déduites des mesures EISCAT semblent sous-estimées. Ceci a été interprété comme le résultat d'un accroissement important de la température des électrons au dessus de celle des ions dans la région E de l'ionosphère, accroissement dont on ne compte pas lors du dépouillement de routine des données EISCAT [1075].

Une étude expérimentale, utilisant les données simultanées des radars EISCAT, Chatanika et Millstone Hill rassemblées lors d'une campagne internationale MITHRAS, a révélé une grande dissymétrie de l'ionisation en région F de

la zone aurorale de nuit aux trois sites. Cette dissymétrie a été expliquée par le décalage entre les pôles géographiques et géomagnétiques [1002].

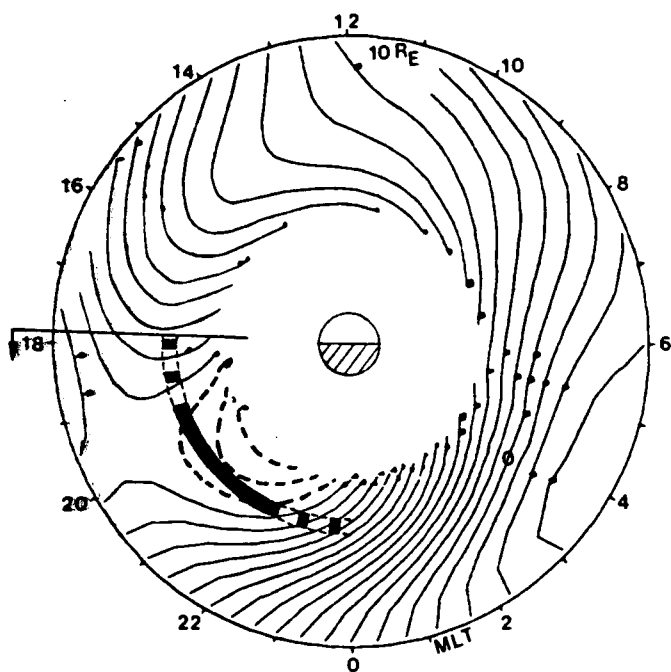
Corrélations sol-satellite

La complémentarité entre les mesures effectuées par les radars au sol et les mesures à haute résolution spatio-temporelle mais discontinues faites par satellite a été mise à profit dans plusieurs études.

Les mesures électrodynamiques simultanées effectuées par le radar de Chatanika et les satellites DE 1 et NOAA 6 ont permis une étude de l'évolution de l'ionosphère aurorale dans le secteur du soir pendant des périodes d'activité magnétique modérée [1063]. La partie très ionisée de la région E s'étend à des latitudes nettement inférieures à celles qui marquent la limite des précipitations électroniques de la région centrale de la couche de plasma. Les protons qui précipitent dans la zone des aurores diffuses aux latitudes inférieures jouent en effet un rôle important dans l'ionisation. La dépression de densité électronique observée dans la région F se situe sur les mêmes lignes de force que l'aurore à proton et les données confirment les modèles théoriques qui attribuent l'existence de cette dépression au transport dans la zone subaurorale et à une augmentation du taux de recombinaison en présence d'un champ électrique fort.

En 1982 le sondeur EISCAT et le satellite GEOS ont fonctionné simultanément pendant 4 campagnes alors que GEOS se trouvait au voisinage de l'apex de la ligne de force d'EISCAT. Utilisant les cartes du potentiel de convection, obtenues à partir des données d'EISCAT, on s'est attaché à en déduire les positions théoriques de la plasmopause dans le plan équatorial, pour ensuite les comparer aux mesures de densité électronique effectuées par le sondeur à relaxation embarqué sur GEOS. Dans tous les cas où l'hypothèse d'une situation stationnaire est justifiée, l'accord entre les données obtenues au sol et dans le plan équatorial est satisfaisant [1028], (*figure 4.1*).

La variation en temps local de la densité, mesurée près de la plasmopause, a pu être déterminée statistiquement. Elle fait apparaître une prééminence de la plasmasphère avant 18 H TL. La densité électronique de la magnétosphère équatoriale présente aussi une variation saisonnière superposée à une variation corrélée à l'activité géomagnétique [1064]. A partir du comportement dynamique de la densité du plasma froid mesurée par GEOS-2 il a été possible d'obtenir un modèle global du champ électrique qui, combiné à un modèle de conductivités ionosphériques, permet d'étudier la configuration des courants alignés. L'accord grossier entre ces courants alignés et leur distribution connue par ailleurs suggère qu'on peut déduire un modèle de champ électrique raisonnable à partir des données de densité du plasma froid magnétosphérique [1080, 1248]. Enfin, ces études ont conduit à reposer le problème du remplissage du tube de force et sa variation en fonction de l'activité magnétique [1081].



1982-01-26- EISCAT CONVECTION + COROTATION POTENTIAL

Figure 4.1. Potentiel électrique dans le plan équatorial de la magnétosphère. Les coordonnées sont le temps local et la distance radiale. La Terre est au centre et le cercle extérieur correspond à 10 Rayons Terrestres. Les lignes équipotentielles sont espacées de 2 kV. Ce diagramme a été obtenu par projection dans le plan équatorial de la carte du potentiel ionosphérique mesuré par EISCAT. Le trait épais indique la position du renflement de la plasmopause à l'orbite géostationnaire. On remarque que le renflement de plasma est observé dans la région de stagnation déduite du potentiel [1028].

Les courants alignés du côté soir de la zone aurorale déterminés à partir du champ de vitesses de convection mesuré par EISCAT ont pu être comparés à l'évolution qui en est faite à partir des variations du champ magnétique mesuré à bord d'ARCAD-3. Un très bon accord montre que, dans ce cas, les courants alignés de moyenne échelle observés par ARCAD-3 correspondent à la divergence des courants Pedersen mesurés par EISCAT [1824].

Les radars HF

Les radars cohérents HF sont capables de détecter des irrégularités décimétriques et de mesurer leur vitesse de phase. On a pu montrer que les vitesses de phase de ces échos étaient égales aux vitesses du plasma mesurées simultanément par EISCAT, dans le même volume de l'ionosphère [1021]. Ce résultat important montre que les radars HF sont capables de mesurer les vitesses de dérive du plasma. Cette potentialité est utilisée par les radars américains de Goose Bay et français de Sheffeville (SHERPA). Ces deux radars qui observent une même région au dessus du Groenland, ont une couverture spatiale d'environ 10° de latitude et 2 heures en temps local et une résolution

temporelle de quelques dizaines de secondes. La combinaison des vitesses radiales mesurées par chaque radar permet la détermination de la vitesse vectorielle horizontale du plasma. Une étude préliminaire a permis cette détermination dans quelques cas, ainsi qu'une analyse quantitative des erreurs introduites par la réfraction des ondes HF dans l'ionosphère. On a pu montrer que les échos de région F et de région E sont discernables et que l'incertitude sur les localisations des échos est inférieure à la résolution spatiale des radars [1833].

Par ailleurs, deux événements d'irrégularités de petite échelle ont été observés dans la région F aurorale, l'un par le radar cohérent EDIA installé en France, l'autre par le satellite HILAT. Dans les deux cas, les mesures simultanées du radar EISCAT ne laissent pas apparaître de gradients structurés à grande échelle de la densité électronique en région F, gradients sur lesquels se développent généralement les irrégularités de petite échelle. D'autres sources possibles de ces irrégularités ont été proposées. Il s'agit, dans le premier cas de précipitations électroniques structurées détectées par EISCAT par l'accroissement de température électronique en région F [1068]. Dans le second cas, des cisaillements de vitesse, détectés par EISCAT et STARE, peuvent être à l'origine de ces irrégularités [1023].

4.1.3 Observations en moyenne latitude

Le couplage électrique entre la zone aurorale et l'ionosphère de moyenne latitude s'effectue suivant deux processus principaux : la pénétration directe de la convection magnétosphérique vers les moyennes latitudes, et les perturbations engendrées par les vents thermosphériques. Le premier mécanisme traduit la transmission directe du champ électrique magnétosphérique à l'ionosphère dans son ensemble : c'est la dynamo vent solaire/magnétosphère. Le second représente la propagation vers les moyennes latitudes des perturbations de vents neutres engendrées en zone aurorale et qui se propagent vers les moyennes latitudes : c'est la dynamo ionosphérique. Les constantes de temps associées à ces deux mécanismes sont différentes. En effet, si les variations temporelles du générateur de la convection magnétosphérique sont transmises instantanément aux moyennes latitudes, la génération d'un système de vents neutres dû au chauffage de la zone aurorale met plusieurs heures à s'établir. On a pu ainsi séparer les contributions respectives des deux dynamos aux perturbations des champs électriques aux moyennes et basses latitudes, en comparant ces observations aux résultats des modèles théoriques décrivant ces deux dynamos. Les apports des radars à diffusion incohérente pour la compréhension de ces mécanismes ont fait l'objet d'un article de synthèse [1258].

Le mécanisme de la dynamo vent solaire/magnétosphère est illustré sur la *figure 4.2*. L'accord entre le modèle de cette dynamo et les observations est excellent, ce qui indique que c'est le mécanisme de la dynamo ionosphère/magnétosphère qui prédomine dans ce cas [1062]. D'autres études de cas utilisant les données de Saint-Santin ainsi que celles du radar

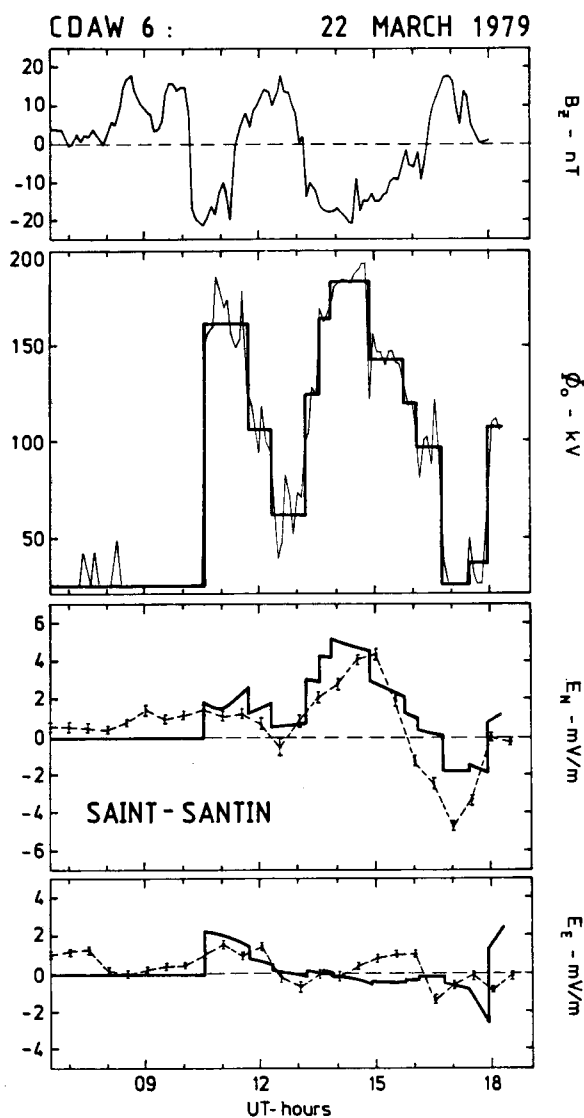


Figure 4.2. Réponse de l'ionosphère de moyenne latitude aux variations de la dynamo vent solaire/magnétosphère. Les variations de la composante Nord-Sud du champ magnétique interplanétaire en fonction du temps (1er panneau) peuvent être traduites par une relation empirique en une différence de potentiel à travers la calotte polaire (second panneau). Les deux panneaux du bas représentent, en pointillé le résultat d'une modélisation théorique du champ de convection à Saint-Santin, tandis que les courbes en trait plein représentent les résultats de mesures [1062].

cohérent STARE et du radar incohérent de Millstone Hill ont permis d'isoler ce mécanisme et de décrire les variations en latitude et en temps local des champs électriques de convection [1015, 1059].

L'étude de la dynamo ionosphérique passe par une description des vents neutres dans la région E de l'ionosphère. Une telle étude statistique en fonction de l'activité géomagnétique a été effectuée à partir des données acquises durant une centaine de jours par le radar de Saint-Santin [1420]. Des événements illustrant les effets aux moyennes latitudes de la dynamo ionosphérique ont été

isolés dans les données [1015, 1016], et comparés aux résultats d'un modèle théorique [1058]. Ce modèle fait l'hypothèse que la seule source des mouvements de l'atmosphère neutre est le chauffage Joule dans la zone aurorale ; il permet de calculer les champs et courants électriques engendrés par l'action dynamo des vents, en tenant compte de l'influence de ces champs et courants sur la dynamique du gaz neutre ; la source de chauffage dans la zone aurorale suit les variations de l'indice auroral AE, et les vents neutres sont calculés partout sur le globe. L'accord entre modèle et données est satisfaisant, et montre l'établissement d'un système de vents neutres qui apparaît avec un retard d'environ 2 heures par rapport au début du chauffage dans la zone aurorale.

Enfin, des cas où les deux mécanismes de perturbation des champs électriques agissent simultanément ont été étudiés, en collaboration avec les radars de Millstone Hill, Arecibo et Jicamarca (campagnes GISMOS et GTMS) [1061, 1259]. Ces études permettent de décrire la variabilité en latitude et en temps local des perturbations de champ électrique dans les régions de latitude moyenne et basse.

En quelques occasions, des courants électriques de polarité inverse à celle observée généralement sont détectés à Saint-Santin. Il s'agit d'un effet local qui n'est généralement pas observé à Millstone Hill, et qui a été attribué à des courants alignés dus à des asymétries interhémisphériques [1017].

4.1.4 Transport vertical du plasma et couplage avec la convection

L'étude de la distribution globale du plasma ionosphérique et de son transport nécessite la prise en compte simultanée des processus chimiques et dynamiques opérant dans l'ionosphère. Dans ce domaine un effort important de modélisation a été entrepris en parallèle avec l'interprétation de données provenant du sondeur EISCAT et du satellite ARCAD-3.

Structure verticale et convection

La mise au point d'un programme de modélisation de l'ionosphère, entreprise depuis plusieurs années, avait pour objectif initial l'interprétation des données obtenues par le sondeur à diffusion de Saint-Santin. La prise en compte des différents processus physico-chimiques aboutit à la résolution d'un système d'équations différentielles couplées du second ordre. Les processus physico-chimiques qui entrent dans le modèle dépendent du temps, de l'altitude, et des coordonnées géographiques. Ils comprennent la production due au rayonnement UV du soleil, les réactions de recombinaison et le transport de l'ionisation. L'équation de l'énergie n'est pas incluse dans le modèle mais pourrait l'être sans modifier la structure du programme. Les températures des ions et des électrons sont dérivées d'un modèle empirique qui tient compte des lois d'échange d'énergie entre les différents constituants. Une application est l'étude des change-

ments de composition ionique induits par les variations du champ électrique de convection. Pour évaluer le transport horizontal du plasma, on a utilisé les cartes d'équipotentiels électriques produites par le radar EISCAT. Les résultats du modèle pour la densité électronique dans la région F ont été comparés aux données du radar EISCAT pour cette même campagne de mesures, dans une région de la zone aurorale entre 00 et 05 TML où on observe un effondrement de cette densité. Un mécanisme chimique, dont il est tenu compte dans le modèle, peut expliquer cet effondrement : un accroissement des coefficients de recombinaison dû au chauffage des ions par les courants. La comparaison modèle/données montre cependant, que ce mécanisme n'est pas suffisant pour expliquer à lui seul les densités [1088]. Ce modèle a également été utilisé pour étudier les conditions de retour à l'équilibre d'un plasma dense créé artificiellement dans l'ionosphère [1426].

Les mouvements verticaux du plasma vus par ARCAD-3

Un aspect du couplage entre l'ionosphère et la magnétosphère est le rôle joué par l'ionosphère comme source du plasma magnétosphérique. Depuis la région F de l'ionosphère où se situe le maximum de production jusque dans les régions lointaines de la magnétosphère, de nombreux processus concourent au transport du plasma ionosphérique, les plus connus étant ceux qui assurent une accélération rapide des ions jusqu'à des énergies largement suprathermiques. Dans le cadre du programme ARCAD-3 on s'est intéressé, au contraire, aux mécanismes d'échappement le long des lignes de force du champ magnétique qui n'affectent pas - ou très peu - l'énergie des particules thermiques. Le spectromètre de masse DYCTION permet de déterminer la vitesse d'ensemble des ions thermiques et en particulier la composante de cette vitesse parallèle au champ magnétique. On observe dans de nombreux cas un flux vers le haut dans la région du cornet polaire et un flux vers le bas dans la calotte polaire [1852]. Cette variation en latitude montre le rôle de fontaine que joue l'ionosphère au pied du cornet polaire.

Qualitativement cet effet de fontaine apparaît en bon accord avec un modèle simplifié fondé sur le chauffage du plasma par les électrons de basse énergie qui précipitent le long des lignes de force du cornet polaire. Pour analyser de façon plus précise l'efficacité de cette source d'ions lourds on a entrepris récemment [1870] la modélisation détaillée du transport du plasma parallèlement au champ magnétique dans la gamme d'altitudes explorées par le satellite ARCAD-3. Les premiers résultats montrent l'effet dominant des gradients thermiques des électrons et des ions.

Les mouvements verticaux vus par le radar EISCAT-VHF

L'exploitation de la partie VHF du sondeur a commencé en 1988 par une étude de l'ionosphère supérieure visant à déterminer la distribution verticale des ions O^+ et H^+ et leur transport vertical. Les échos obtenus lors de la campagne de

l'été 1988 ont été suffisamment forts pour permettre de mesurer la concentration électronique jusqu'à 1 200 km d'altitude environ, et de déterminer la concentration relative des ions O^+ et H^+ . L'ion O^+ reste dominant jusqu'à la limite supérieure d'observation, et des variations importantes de la vitesse verticale des ions O^+ ont été observées. Un travail portant sur le calcul de la vitesse de transport des ions H^+ le long des lignes de force, a commencé [1874]. Il devrait permettre de déterminer l'éventuelle existence du "vent polaire", mécanisme d'échappement des ions H^+ le long de lignes de force magnétiques ouvertes, dont la théorie prévoit l'existence dans les régions polaires et aurorales.

4.2 STRUCTURES LAMINAIRES ET TURBULENTES A PETITE ECHELLE

Dans le futur, la plupart des expériences auxquelles les départements OPN et EMI participeront seront dédiées à l'étude des irrégularités du plasma magnétosphérique, d'où l'importance croissante des études qui visent à caractériser ces irrégularités ou structures à petite échelle.

Le satellite VIKING est venu étoffer le dispositif expérimental existant. Le CRPE participe, en effet, en collaboration avec des scientifiques danois du DSRI à l'expérience V4H embarquée sur VIKING [1039]. Celle-ci permettait de mesurer une composante du champ électrique et une composante du champ magnétique dans un domaine étendu de fréquences (9 kHz à 700 kHz). L'analyse des données est entrée dans sa phase active depuis 1987 [1066] et le CRPE a contribué à la diffusion des informations scientifiques relatives à ces données en organisant le 2^{ème} colloque sur les résultats à La Londe-les-Maures en mai 1988.

4.2.1 Développement des arcs auroraux

Structures d'arcs discrets

Les mesures faites par le sondeur EISCAT à diffusion incohérente du profil de densité et du champ électrique dans l'ionosphère, ont permis d'identifier des structures d'arcs discrets dans une région, la discontinuité de Harang, où l'écoulement du plasma se sépare en deux cellules de convection. Ces structures ont été observées simultanément à l'aide d'une caméra plein-ciel installée à Kilpisjärvi en Finlande. En tirant profit de la capacité unique du système UHF de EISCAT de mesurer les trois composantes de la vitesse ionique, il est possible de déterminer l'orientation privilégiée de ces arcs, via la contrainte d'invariance du champ électrique tangentiel à travers la structure. L'inclinaison déduite, de l'ordre de 40° relativement aux coquilles magnétiques, est confirmée par les images de la caméra plein-ciel. Ce résultat met en évidence l'existence d'une direction de quasi-invariance perpendiculairement au champ magnétique, qui organise les écoulements de plasma et de courants dans la région au voisinage des structures d'arcs [1211], [1239].

Observations satellitaire des arcs auroraux

Parallèlement à ces travaux, l'analyse détaillée d'un passage du satellite ARCAD-3 dans la zone aurorale nocturne [1748] a permis la mise en évidence de deux structures d'arcs doubles aux caractéristiques très voisines qui sont traversées une première fois au minuit local, puis vers 04 H TML. Il s'agit vraisemblablement d'un arc double continu qui s'étend sur un très grand secteur en temps local, ce qui implique l'existence d'un mécanisme de précipitation relativement stationnaire, intéressant une très grande région de la queue magnétosphérique.

Rôle des précipitations dans le cornet polaire

L'étude d'un passage d'ARCAD-3 dans le cornet polaire et la zone aurorale diurne a permis d'approfondir l'électrodynamique de cette région (*figure 4.3*). La convection a été étudiée à la fois à partir de la dérive différentielle des ions du vent solaire injectés dans le cornet polaire et à partir de la mesure directe du champ électrique, montrant un bon accord avec les modèles de convection. La variation latitudinale de la conductivité ionosphérique (évaluée grâce au rapport $\Delta E/\Delta B$) a pu être expliquée par l'apport des particules énergétiques à l'ionisation de la région dynamo ionosphérique. Les régions de courant montant et descendant présentent ainsi des conductivités différentes. La corrélation entre les courants alignés et les flux de particules énergétiques montre que les porteurs de charges sont essentiellement des électrons d'environ 100 eV [1275].

Source des arcs auroraux dans le plan équatorial

La position fixe du satellite GEOS-2 par rapport à la Terre a été mise à profit pour corréler les données obtenues in situ par ce satellite et celles que fournissent les caméras plein ciel situées au pied de la ligne de force passant par GEOS. Cette étude a permis de montrer que la propagation et l'ondulation des formes aurorales observées au sol résultait de la projection, via les électrons accélérés le long des lignes de force, de la modulation de la frontière entre la couche de plasma et le courant annulaire. Cette frontière sépare la région où le champ géomagnétique a une géométrie dipolaire de celle où celui-ci présente une structure de type queue. La modulation est associée à une instabilité à grande échelle qui se développe au voisinage de l'équateur [1247, 1736, 1810].

4.2.2 Accélération des Electrons Auroraux

L'altitude élevée de VIKING (apogée à 13 500 km), permet d'une part d'obtenir des images globales de la région de précipitation électronique, grâce à l'imageur UV. On peut ainsi étudier l'électrodynamique de la région aurorale [1074]. Par ailleurs, la tranche d'altitude et de latitude couverte permettent d'effectuer des mesures dans la région où les électrons responsables des aurores sont accélérés.

Ces études expérimentales s'appuient sur des travaux de simulation numérique. L'étude de mécanismes physiques qui donnent naissance à des champs électriques parallèles au champ géomagnétique dans les régions aurorales (doubles couches) a été poursuivie dans deux directions, après publication d'articles de synthèse reprenant les résultats acquis de 1980 à 1984 [1208, 1234, 1235]. D'une part, un modèle fluide à trois composantes (ions froids, électrons chauds et tièdes) a permis d'établir une équation de Korteweg-de Vries modifiée (mKdV) décrivant le potentiel électrostatique. Il a été démontré que des sauts de potentiel stables pouvaient naître pour certaines conditions initiales [1025, 1036, 1047]. D'autre part, les résultats obtenus antérieurement sur le rôle des courants surcritiques pour déstabiliser le mode acoustique ionique ont été étendus aux régimes sous-critiques avec $T_e \approx T_i$ [1046, 1082]. Cette étude connaît actuellement un regain d'intérêt, grâce aux résultats obtenus à l'aide de VIKING ce qui a suscité le démarrage de nouvelles simulations des instabilités de courant dans un plasma magnétisé, simulations qui nécessitent de mettre en oeuvre un code bidimensionnel.

4.2.3 Turbulence électromagnétique d'Ultra Basse Fréquence

Au niveau du cornet polaire on observe à bord du satellite ARCAD-3, de manière quasi-systématique, en-dessous de 100 Hz, des fluctuations de grande amplitude des champs électriques et magnétiques. Ces événements peuvent prendre l'aspect d'impulsions isolées d'une durée comprise entre 20 et 150 ms ou celui d'une turbulence quasi continue qui peut subsister pendant plusieurs secondes et dont le spectre s'étend souvent au delà de 150 Hz. L'analyse de ces événements a été faite à partir de deux hypothèses opposées : soit il s'agit d'ondes d'Alfvén et les fluctuations observées sont de nature temporelle, soit il s'agit de microstructures associées à des courants alignés dont l'observation reflète le spectre spatial ($L \approx 100$ m à 10 km). Dans le premier cas le champ électrique parallèle devrait atteindre 20 à 30 mV/m, ce qui est très supérieur à ce que prévoient les modèles théoriques. Dans le second, l'intensité des courants devrait atteindre plusieurs centaines de $\mu A/m^2$ [1045, 1067].

Ces structures à petite échelle sont également présentes sur la bordure polaire de la zone aurorale. Dans ce cas, les conductivités ionosphériques ont pu être déterminées, respectivement à partir du flux mesuré des électrons précipités et à partir du rapport $\Delta E/\Delta B$ entre les composantes électriques et magnétiques des fluctuations. Les conductivités déduites de ces deux mesures présentent des désaccords d'autant plus importants que les échelles spatiales transverses de ces fluctuations sont plus petites. L'étude de cet effet a pu être étendue à des structures très fines (< 100 m) en utilisant les mesures de champ alternatifs [1067].

4.2.4 Turbulence Electrostatique

Turbulence EBF à "basse altitude"

Les mesures de densité électronique à haute résolution temporelle, ainsi que celles des composantes électriques des champs d'ondes, effectuées à bord d'ARCAD-3, ont permis d'étudier la turbulence EBF régulièrement observée dans la zone aurorale et la calotte polaire, caractérisée par des fluctuations de densité et de champ électrique corrélées présentant des spectres de puissance en $f^{-\alpha}$ avec $\alpha \approx 2$.

Cette turbulence est en général superposée à des gradients de densité réguliers ou fluctuants. Ce comportement est interprété comme la signature d'une instabilité de dérive de gradient : lorsqu'une irrégularité de densité ($L \approx 10$ km) est transportée par convection dans le plasma, le front avant reste stable tandis que sur le front arrière, instable, naissent des fluctuations spatiales de la densité, corrélées à des fluctuations du champ électrique. La fréquence de ces fluctuations est pratiquement nulle, dans le repère lié au plasma. A partir des deux composantes du champ turbulent, il est donc possible de déterminer le spectre spatial de la turbulence et partant, sa dimensionnalité. La théorie MHD prévoit une turbulence à deux dimensions, les fluctuations parallèles étant court circuitées par la forte conductivité du plasma. Les résultats obtenus sont en bon accord avec cette hypothèse même si l'existence d'une composante parallèle de la turbulence ne peut être exclue, à haute altitude, au dessus de la région F [1005, 1806, 1827].

Bruits à large bande spectrale, observés à haute altitude

On observe, au voisinage immédiat des régions sources du rayonnement kilométrique, dans des zones caractérisées par de très forts gradients de densité, des impulsions électrostatiques très intenses dans un domaine de fréquence s'étendant de la coupure basse du récepteur, parfois jusqu'à la gyrofréquence électronique [1060, 1076, 1260]. La durée typique de ces impulsions est de quelques secondes, ce qui correspond à une étendue spatiale de l'ordre de 10 km. Elles sont étroitement corrélées avec des faisceaux électroniques descendants et montants d'énergie typique de quelques keV. Les champs électriques mesurés atteignent des valeurs supérieures à 200 mV/m r.m.s.

Une turbulence analogue s'observe également, avec une amplitude plus faible, sur le bord équatorial du cornet polaire et dans la fente polaire [1050]. Ces émissions sont bien corrélées avec des faisceaux d'électrons montants (100 eV-1 keV), avec des distributions ioniques en formes de coniques (≈ 100 eV) et avec d'intenses fluctuations électriques, quasi-statiques (≈ 1 Hz), d'une amplitude de l'ordre de 100 mV/m. Leur intensité est modulée par des ondes d'Alfvén de fortes amplitudes observées aux mêmes instants. Compte tenu des très fortes densités observées (≈ 500 cm⁻³), la vitesse d'Alfvén est telle que ces ondes peuvent interagir de manière résonante, avec les électrons

majoritaires dans ces régions, injectés depuis la magnétogaine (énergies de l'ordre de 50 à 100 eV) [1869].

Ces observations posent un difficile problème d'interprétation, dans la mesure où l'énergie électrostatique est observée dans un domaine de fréquence où la relation de dispersion linéaire ne prévoit pas l'existence de modes susceptibles de se propager. Pour résoudre cette difficulté, il faut tenir compte de la forte inhomogénéité du milieu et probablement aussi des non-linéarités dues au niveau élevé de la turbulence.

4.3 INTERACTIONS ENTRE ONDES ET PARTICULES

4.3.1 Rayonnement kilométrique auroral

L'orbite de VIKING, ainsi que l'instrumentation embarquée sur ce satellite, étaient particulièrement bien adaptées à des observations du rayonnement kilométrique auroral [1265]. Il a été possible de traverser de nombreuses fois les régions sources de cette émission et d'y effectuer des mesures in situ. Celles-ci ont permis de raffiner les théories d'émission bâties autour d'un mécanisme de génération étudié sur le plan théorique au CRPE depuis quelques années : l'instabilité "Maser Cyclotron" [1034, 1057, 1245, 1257, 1269, 1270, 1277]. Ce mécanisme est fondé sur l'interaction résonante entre le mouvement cyclotronique des électrons et un champ électrique tournant, de polarisation essentiellement droite, qui est associé au mode extraordinaire rapide (ou mode X), lorsque sa fréquence est voisine de la gyrofréquence locale. Du fait de la vitesse de phase supraluminique de ce mode, la dynamique relativiste des électrons doit être prise en compte dans la description de l'interaction, et ceci même si leur énergie est modeste (1 à 10 keV). Ce mécanisme reste efficace tant que le milieu est fortement appauvri en plasma (rapport $f_p/f_c \ll 1$ entre la fréquence de plasma et la gyrofréquence) et ceci même s'il est tenu compte de l'inhomogénéité naturelle du milieu qui, pourtant, a tendance à détruire l'accord de phase nécessaire au couplage résonant [1013, 1042, 1084, 1216, 1249].

La traversée par VIKING d'une source du rayonnement kilométrique terrestre se traduit par (i) un minimum de la coupure basse fréquence du rayonnement qui se confond alors avec la gyrofréquence électronique, (ii) une intensification du rayonnement, et (iii) une forte baisse du niveau des émissions de plus basse fréquence observées simultanément. On retrouve ces caractéristiques sur le spectrogramme présenté sur la partie haute de la *figure 4.4*. Les mesures effectuées à l'aide des spectromètres électroniques et ioniques (partie basse de la *figure 4.4*) montrent que la source au rayonnement kilométrique coïncide avec une structure de potentiel électrique, qui accélère les électrons vers la Terre et les ions vers le haut. Le fait d'être dans une région d'accélération a deux conséquences majeures quant au mécanisme d'émission des ondes radio : (i) le champ électrique parallèle (au champ magnétique) repousse les

AUREOL 3 - ORBIT 740 S - 16 Nov. 81

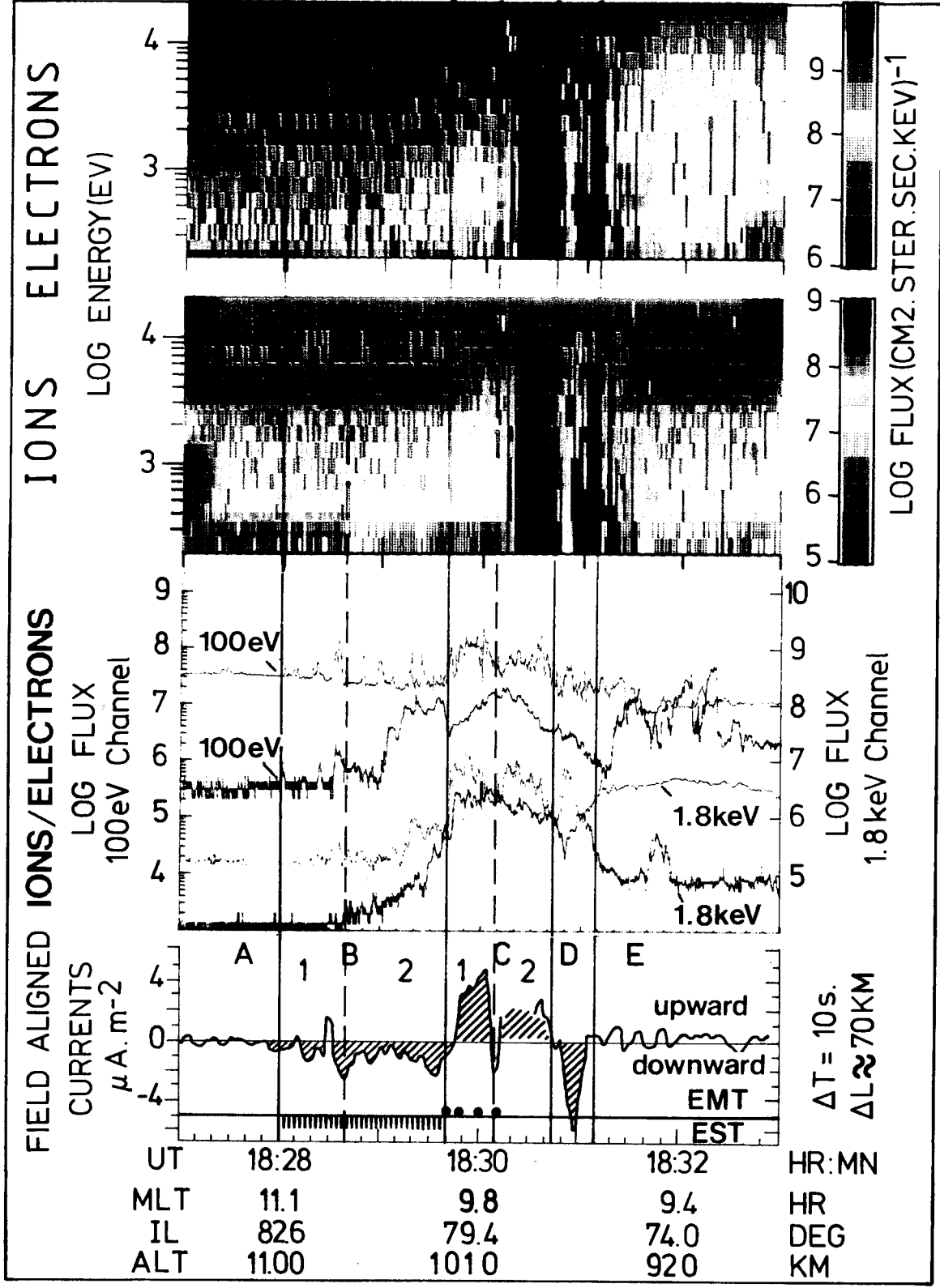


Figure 4.3. Traversée du cornet polaire et de la zone aurorale diurne par le satellite AUREOL 3. Les différentes régions traversées sont identifiées [1275] :

- A : calotte polaire
- B : cornet polaire, zone d'entrée du plasma de la magnétogaine
- C : région de courants montants
- D : région de courants descendants.

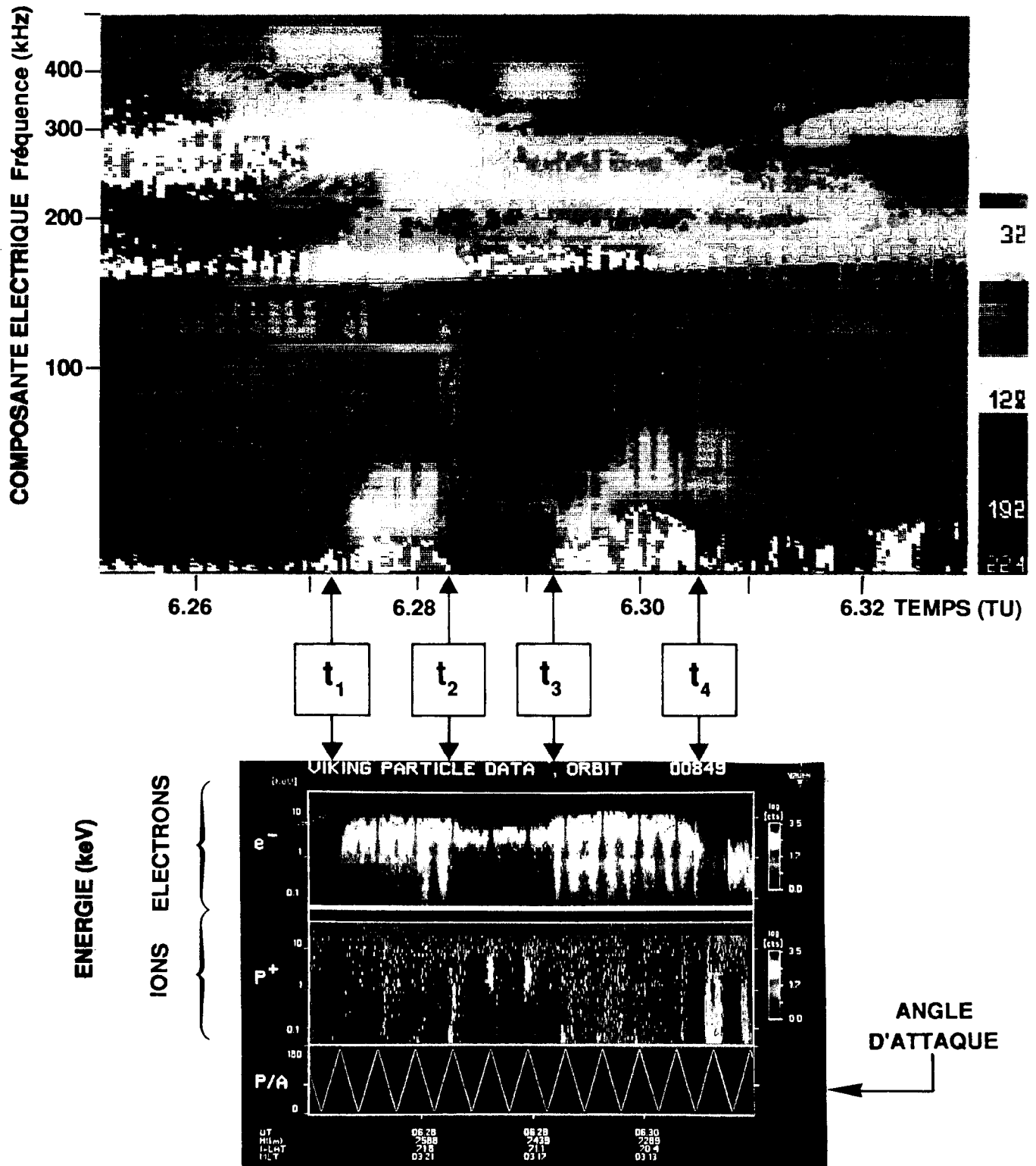


Figure 4.4. Traversée d'une région source du rayonnement kilométrique auroral par VIKING. Le haut de la figure présente un spectre dynamique issu de l'expérience V4H : le rayonnement kilométrique auroral a une fréquence généralement supérieure à la gyrofréquence locale mesurée par le satellite (ligne rouge sur la figure), sauf durant la traversée de la source proprement dite (entre t_2 et t_3) où la coupure basse fréquence de l'émission vient se confondre avec la gyrofréquence. Corrélativement la coupure supérieure du souffle auroral (l'émission basse fréquence présente sur la figure) subit une diminution importante qui témoigne d'une diminution de la densité du plasma. Les deux figures en couleur situées en bas représentent les flux électronique (e^-) et ionique (p^+) observés aux mêmes instants dans des directions matérialisées par la ligne brisée notée P/A (orientation des détecteurs par rapport au champ géomagnétique). La région source est caractérisée par un faisceau d'ions remontant. L'énergie maximale des électrons y est légèrement plus faible que dans les régions adjacentes (t_1 à t_2 et t_3 à t_4). La source du rayonnement semble donc incluse dans une région d'accélération qui s'étend à la fois au-dessous et au-dessus du satellite.

électrons d'origine ionosphérique, créant ainsi une cavité quasiment vide en plasma thermique ; (ii) les électrons sont accélérés dans une région où des champs électriques et magnétiques variables (dans le temps pour $E_{//}$ et dans l'espace pour B) permettent de former des fonctions de distribution hors d'équilibre.

Ainsi, une même cause (un champ électrique parallèle dirigé vers le haut et croissant dans le temps) permet-elle de satisfaire les deux conditions nécessaires au développement de l'instabilité maser cyclotron [1280, 1910, 1911]. Une simulation numérique simple, fondée sur l'utilisation du théorème de Liouville est en cours de développement pour interpréter ces observations. Elle devrait permettre de déterminer théoriquement la forme des fonctions de distributions électroniques qui résultent des effets de l'inhomogénéité du champ géomagnétique et du champ électrique accélérateur, qui est vraisemblablement non-stationnaire.

4.3.2 Rayonnement cohérent des étoiles

Des émissions radioélectriques intenses, sporadiques et fortement polarisées ont été observées ces dernières années. Elles sont émises dans le voisinage de certains types d'étoiles éruptives (étoiles de type UV Ceti, systèmes binaires de type RS CVn ou variables cataclysmiques de type AM Her). La température de brillance extrêmement élevée de ces émissions laisse présager qu'elles sont dues à un mécanisme cohérent qui pourrait être analogue à celui que l'on invoque pour les émissions aurorales planétaires. Cependant, à l'inverse des environnements planétaires, les plasmas de ces environnements stellaires sont très denses ($f_{pe} \geq f_{ce}$), ce qui empêche l'instabilité cyclotron maser de se développer. Par ailleurs, la réabsorption importante à $2f_{ce}$ empêcherait les ondes émises de quitter le voisinage de l'étoile. Un mécanisme différent a été proposé, qui tire parti de l'énergie élevée des électrons dans le voisinage des étoiles du type cité plus haut. Ce mécanisme, le maser synchrotron, permet d'émettre un rayonnement polarisé et cohérent sur le mode extraordinaire à des fréquences très supérieures à f_{ce} (et $2f_{ce}$). Les températures de brillance théoriques déduites de ce mécanisme sont conformes à l'ordre de grandeur de celles qui sont mesurées [1034, 1057].

Une campagne d'observations dans de larges bandes spectrales des étoiles éruptives, effectuée sur le radio télescope de Nançay à l'aide d'un spectrographe acousto-optique mis au point par le groupe "décamétrique" du DASOP, de l'Observatoire de Paris/Meudon a également été menée en 1988 en collaboration avec des chercheurs du CRPE. Cette campagne était destinée à étudier le spectre des radio sources stellaires discutées ci-dessus.

4.3.3 Diffusion angulaire des électrons énergétiques

Bénéficiant de mesures simultanées des ondes et des flux d'électrons obtenues sur les satellites européens GEOS-1 et

GEOS-2, le CRPE a poursuivi plusieurs études dans ce domaine, tant au plan expérimental que théorique [1006, 1032, 1065, 1071, 1079, 1241]. On a pu résoudre quantitativement le problème de la génération d'ondes à spectre large (souffle plasmasphérique), illustré sur la *figure 4.5*. La partie gauche de cette figure montre l'anisotropie de température A et le coefficient d'amplification des ondes γ , calculés à partir des données détaillées du flux des électrons énergétiques ($E > 20$ keV). On vérifie que lorsque l'anisotropie dépasse le seuil d'instabilité, les ondes dont le spectre magnétique B^2_f est aussi tracé, apparaissent. On peut alors calculer l'amplification maximale que subit une onde au cours de sa propagation le long d'une ligne de force magnétique. Le résultat obtenu permet de conclure que, sur ce seul trajet, l'amplification de l'onde est suffisante pour expliquer l'intensité observée dans la magnétosphère terrestre. Les théories antérieures se heurtaient au problème d'une amplification insuffisante des ondes, même en admettant plusieurs allers et retours de celles-ci, après des réflexions successives à haute latitude. Ceci était dû à une sous-estimation des flux des électrons énergétiques par les modèles utilisés, comme le montre la partie droite de la *figure 4.5* : il apparaît une différence de plus d'un ordre de grandeur entre un modèle courant du flux des électrons et les mesures obtenues à bord de GEOS-1 dans la gamme d'énergie 20 keV - 300 keV.

4.3.4 Ondes cyclotroniques ioniques

Les ondes cyclotroniques ioniques émises dans la région équatoriale de la magnétosphère tirent leur énergie des protons énergétiques qui constituent l'une des composantes de ce plasma. La présence d'ions lourds d'origine ionosphérique joue un rôle de catalyseur pour cette émission. En retour, les ondes cyclotroniques ioniques accélèrent ou chauffent les ions ionosphériques. L'étude du rôle joué par les ondes cyclotroniques ioniques sur le chauffage des ions lourds de la magnétosphère, a été poursuivie tant sur le plan analytique qu'en utilisant des codes de simulation numérique [1003, 1018, 1035, 1210].

4.3.5 Ondes magnétozonores de forte amplitude

La simulation numérique d'ondes magnétozonores de forte amplitude a été réalisée à l'aide d'un code particulière analogue à celui qui a été utilisé pour les chocs sans collisions (cf. 4.3.1), mais avec des conditions aux limites périodiques. L'accélération et le chauffage "visqueux" des ions par les ondes ont ainsi pu être étudiés en détail, et un bilan énergétique des interactions ondes-particules établi. Ce bilan a permis d'expliquer la formation d'ions énergétiques par des mécanismes de piégeage/dépiégeage, et son application aux ondes magnétozonores observées dans le plan équatorial de la magnétosphère, près de la plasmopause, a été envisagée [1797, 1033].

L'utilisation du même code a également permis d'interpréter la formation de particules relativiste par des ondes

GEOS 1 - 14 AOUT 1977 - 8.30 - 8.35 TU

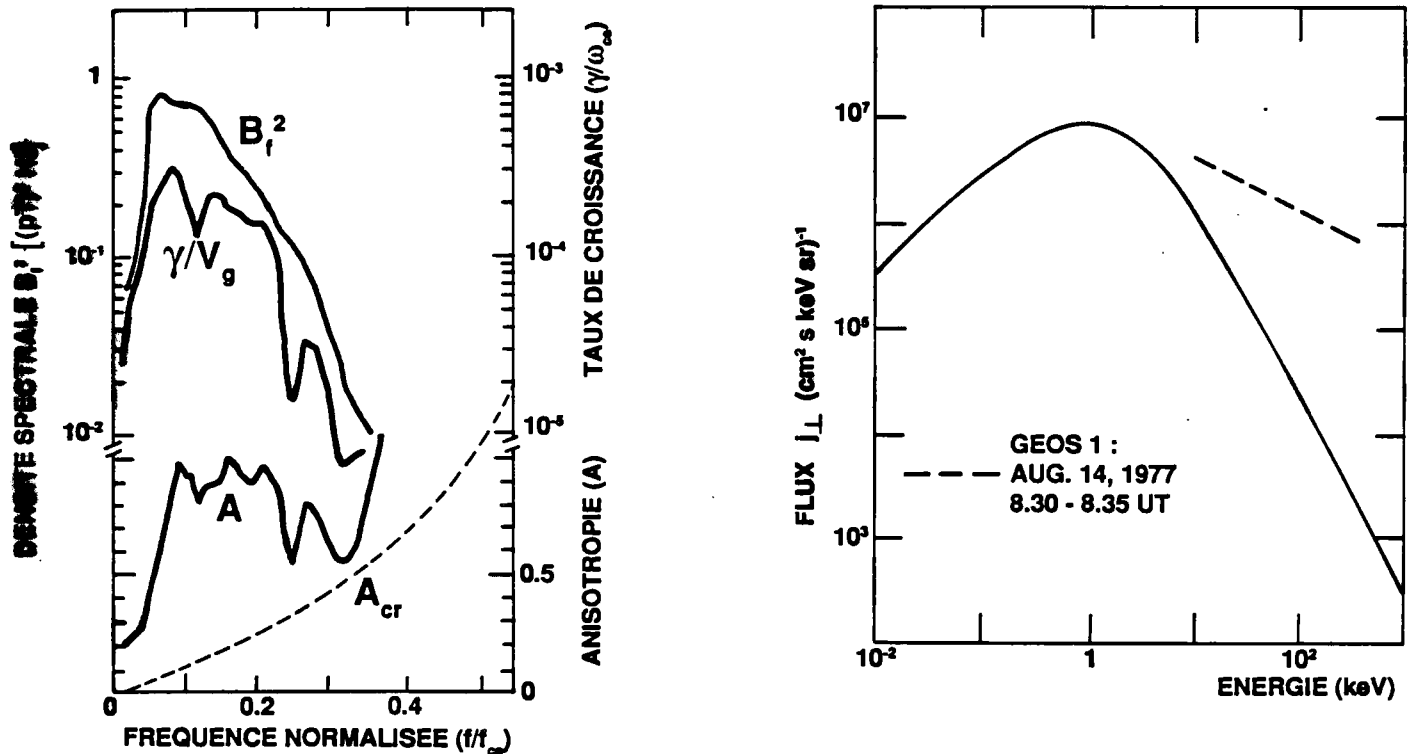


Figure 4.5. Partie gauche de la figure : spectre magnétique B_f^2 d'ondes de type souffle, tracé en fonction de la fréquence f normalisée à la fréquence cyclotronique électronique $f_{ce}(x = ff_{ce})$. Coefficient d'amplification des ondes γ (normalisé à $\omega_{ce} = 2\pi f_{ce}$) et anisotropie de température A calculés d'après les données de flux des électrons. A est comparée à l'anisotropie critique A_{cr} , au-dessus de laquelle les ondes sont amplifiées. Noter la bonne correspondance entre $B_f^2(x)$ et γ/V_g .
Partie droite de la figure : comparaison du flux des électrons en fonction de l'énergie obtenue sur GEOS-1 et d'un modèle utilisé par différents auteurs.

magnétosonores fortement non linéaires, pour des problèmes intéressant la physique solaire (coalescence de boucles magnétiques sur la couronne solaire) et l'astrophysique [1767, 1768].

Plusieurs de ces résultats de simulations ont donné lieu à la réalisation de films 16 mm [1908, 1909], télécommandés sur le centre américain MFE à partir des locaux parisiens du CRPE, grâce aux réseaux de télécommunications français TRANSPAC, et américain TYMNET.

4.4 ETUDES DES FRONTIERES MAGNETOSPHERIQUES

Le vent solaire est constitué du plasma dense de la couronne solaire, en expansion dans le milieu interplanétaire ; on sait que le champ magnétique terrestre, qui constitue un obstacle dans l'écoulement (supersonique et superalfvénique) de ce fluide conducteur, y creuse une cavité, la magnétosphère, dont l'avant est limité par deux discontinuités successives : le choc et la magnétopause. En aval, l'interaction vent solaire-magnétosphère donne également naissance à une queue magnétique, au centre de

laquelle la couche de plasma est le siège de mécanismes d'accélération de particules en direction de la terre. En dépit de leurs dimensions transverses très réduites, ces régions jouent un rôle essentiel dans la dynamique du système global, en cela qu'elles peuvent être considérées comme les différents "étages" de cet accélérateur géant de particules que constitue la magnétosphère terrestre. En outre, il faut souligner que les processus physiques qui s'y développent (accélération par des ondes, reconnection magnétique, chocs non collisionnels) ont une portée générale en astrophysique et en physique des plasmas. Pour étudier la physique de ces régions clés, deux approches complémentaires sont mises en oeuvre : la théorie, s'appuyant sur la simulation numérique, et l'interprétation des données satellitaires.

4.4.1 Le choc

Le choc terrestre est la première discontinuité rencontrée par le vent solaire dans son mouvement en direction de la terre, où celui-ci est brutalement ralenti et comprimé. L'absence de collisions binaires susceptibles d'assurer la "dissipation" fait de cette discontinuité un exemple typique de chocs sans collisions, dont l'étude est développée en

physique des plasmas chauds. Un code particulière électromagnétique 1D non périodique a été utilisé pour cette étude, dans le cadre d'une collaboration avec le département de physique de l'UCLA (Los Angeles). Ces simulations numériques ont permis de préciser le processus d'accélération des particules par le choc, et de mettre en évidence les ondes fortement non linéaires associées, en amont ou en aval du choc lui-même (figure 4.6). Ces différents mécanismes ont été étudiés pour des chocs perpendiculaires (champ magnétique parallèle à la surface du choc), en régimes sous- et super-critique [1053], ainsi que pour des chocs obliques, où une structure de double couche a été identifiée dans un certain domaine angulaire [1054].

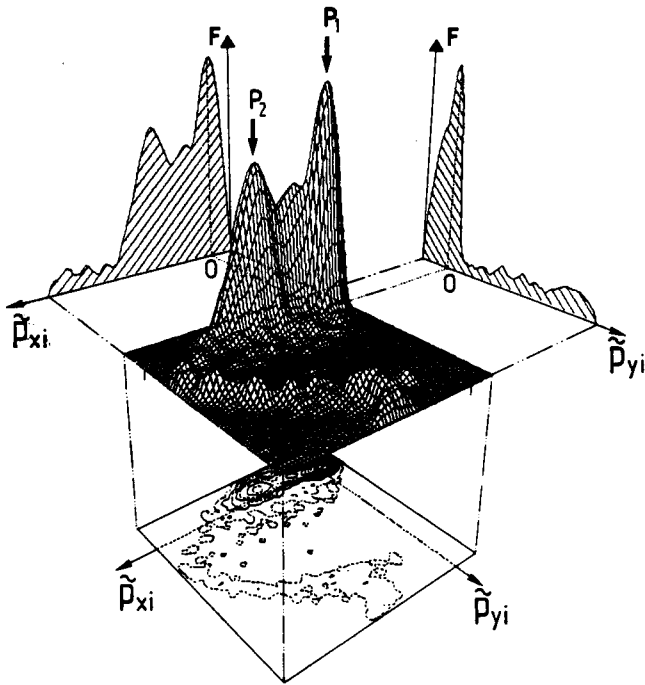


Figure 4.6. Choc perpendiculaire. La figure montre la fonction de distribution des ions, calculée par intégration sur toute la longueur de la simulation. Les deux composantes représentées des vitesses ioniques (p_{xi} et p_{yi}) sont celles du plan perpendiculaire au champ magnétique. Le pic P_1 est dû à la fonction de distribution non perturbée en amont du choc, et le pic P_2 est dû au plasma comprimé obtenu en aval ; l'anneau que l'on observe également correspond aux ions réfléchis sur le front de choc (O_1).

4.4.2 La magnétopause

La magnétopause peut être considérée comme une discontinuité (mais d'un type différent des chocs), en ce sens que les caractéristiques du champ magnétique (direction, module) et du plasma (composition, densité, vitesse, pression) subissent de brusques variations lors de sa traversée. En particulier, il y existe en général un saut de vitesse notable, dont l'énergie libre peut être relaxée sous forme d'ondulations croissantes de la surface de la magnétopause ; ce mécanisme, semblable à celui par lequel le vent peut engendrer des vagues à la surface de la mer, porte

le nom d'instabilité de Kelvin-Helmholtz. L'étude théorique de cette instabilité est développée, notamment grâce à des simulations numériques utilisant un code MHD résistif à deux dimensions et demie. Ces simulations ont montré l'existence d'une "cascade inverse", ce qui signifie que l'instabilité crée des ondes de plus en plus longues au cours de son évolution non-linéaire, comme le montre la figure 4.7 : ceci est en accord avec les longueurs d'ondes observées *in situ* à la surface de la magnétopause (bien supérieures à celles que l'on peut déduire d'une théorie linéaire) : ceci est favorable à une pénétration plus profonde de l'impulsion du vent solaire dans la magnétosphère. Les mêmes simulations ont permis de mettre en évidence, l'apparition de "trous" d'énergie magnétique (également visibles sur la figure 4.7), qui pourraient être à l'origine des "événements à transfert de flux" qui sont observés sur la magnétopause. Ces événements, qui font actuellement l'objet de recherches très actives, sont généralement interprétés comme des passages, au niveau d'un satellite, de tubes contenant des lignes de force connectées et se déplaçant sur la magnétopause (non-connectée partout ailleurs) ; ils seraient dus à un phénomène de reconnection non stationnaire [1081, 1274].

Un accroissement considérable du niveau des fluctuations électromagnétiques de basse fréquence est également l'une des caractéristiques expérimentales des traversées de magnétopause. Cela a pu être démontré grâce à l'expérience "ondes" du satellite GEOS 2, pour des journées assez exceptionnelles où la pression dynamique du vent solaire était suffisamment forte pour comprimer la frontière avant de la magnétosphère jusqu'à l'orbite géostationnaire. Il a été montré que cette turbulence est de type Alfvénique et diverses techniques de traitement du signal ont permis de préciser ses caractéristiques spectrales et directionnelles [1037, 1087]. Leur interprétation a nécessité une étude théorique de l'ensemble des modes linéaires de basse fréquence [1043] ainsi qu'une étude préliminaire des structures non-linéaires susceptibles d'expliquer les spectres observés, en tenant compte de leur propagation propre et de l'effet Doppler dû à leur entraînement par rapport au satellite [1606].

4.4.3 La couche de plasma

La queue magnétique de la magnétosphère, et plus spécialement la couche de plasma qui constitue sa partie centrale, est un gigantesque réservoir d'énergie où le plasma est stocké et accéléré jusqu'à des énergies de plusieurs keV. La relaxation de cette énergie de façon soudaine lors des "sous-orages" magnétiques reste l'un des problèmes majeurs de la physique magnétosphérique. Une contribution à l'étude de ces questions a été apportée par l'étude coordonnée des données de deux satellites situés dans la queue proche (ISEE 1 et 2), deux satellites situés plus près de la terre (satellites géostationnaires GOES-2 et 3), et du réseau de magnétomètres au sol AFGL. Cette étude a permis entre autres d'étudier la répartition en heures locales des phénomènes, et de déterminer entre 15 et 30 rayons terrestres la position de la ligne neutre, dans l'hypothèse où la

formation d'un point en X est responsable du déclenchement des sous-orages [1790, 1796].

On sait aujourd'hui que les couches limites très fines qui entourent la couche de plasma jouent un rôle essentiel dans la physique de la queue magnétosphérique ; leur étude à partir du satellite ISEE 1 a permis d'y mettre en évidence une turbulence intense, de nature électrostatique ou non selon le domaine de fréquence [1759, 1791].

4.5 MESURES ET EXPERIENCES ACTIVES

4.5.1 Diagnostic du plasma

Le laboratoire consacre depuis longtemps une partie de son activité à la métrologie des plasmas notamment en utilisant des techniques radioélectriques. Deux techniques de mesures in situ y ont été développées, le sondage à Impédance Mutuelle (MI) et le sondage à Relaxation (RS). Le sondage MI suppose le milieu homogène entre les antennes émettrices et réceptrices ; cette technique permet des tests en laboratoire, essentiellement des caissons, et a induit, par conséquent, des développements théoriques dans cette direction. Le sondage RS repose sur les inhomogénéités du milieu sondé qui réfracte les ondes vers les antennes réceptrices dans les plages de fréquence où le plasma est très dispersif. Ce type de sondage est plus spécifiquement orienté vers les plasmas spatiaux.

Plasmas de laboratoire

La composante élémentaire d'une antenne dipolaire telle qu'elle est utilisée dans une sonde MI est une petite sphère de charge électrique pulsante placée dans le plasma. Les travaux théoriques sur les mesures dans les plasmas de laboratoire ont porté sur le rayonnement d'un tel élément dans un plasma magnétisé à l'équilibre maxwellien. Nous avons montré que dans certains domaines de fréquence le plasma atténue très fortement les ondes dont les normales sont dirigées à l'intérieur d'un cône axé sur la direction du champ magnétique. Il en résulte un champ d'ondes dont l'amplitude est modulée spatialement. La périodicité de cette modulation dépend de la température du plasma [1009]. La validation de cette théorie par des expériences menées par d'autres laboratoires a permis de proposer une technique de mesure de la température électronique dans des plasmas de caisson [1027].

Plasmas spatiaux

Des sondes à relaxation ont été embarquées sur les satellites GEOS, ISEE et VIKING. Ils fournissent des spectres de raies localisées aux fréquences propres du plasmas. C'est essentiellement à ces fréquences, ou à leur voisinage, que sont engendrées les émissions naturelles. Cette propriété a été utilisée sur les satellites GEOS pour identifier les émissions du plasma magnétosphérique à l'orbite géostationnaire [1079].

L'orbite du satellite ISEE était extrêmement excentrée de sorte que le sondeur a fourni des mesures dans des conditions de plasma très différentes. Cette particularité a été mise à profit pour mener une étude statistique de la réponse de la sonde en fonction des paramètres du plasma magnétosphérique. Cette statistique a servi de base de données pour la mise au point d'un logiciel de reconnaissance automatique des résonances [1041].

En coopération avec le LPCE (Orléans), un sondeur à relaxation et une sonde à impédance mutuelle ont été embarqués sur le satellite VIKING. Pour la première fois ces instruments étaient utilisés pour des mesures dans des plasmas extrêmement magnétisés, très peu denses et de forte énergie thermique. Des profils de densité et de température ont été obtenus dans ce milieu [1066].

Extension des possibilités de diagnostic des expériences actives

Le diagnostic à partir des expériences actives est fondé sur l'analyse des spectres reçus. La possibilité d'utilisation de la distribution spatiale des champs rayonnés par les antennes a été explorée. Ont été étudiées notamment les possibilités de mesure d'une éventuelle vitesse de dérive d'ensemble du plasma ainsi qu'une estimation de la température électronique à l'aide des sondes à relaxation [1605].

Un autre moyen de diagnostic actif pourrait consister en l'injection contrôlée de faisceaux de particules, suivie de l'interprétation de la turbulence provoquée par cette injection. Une telle analyse a été menée dans nos départements, dans le cadre de l'expérience Porcupine [1014, 1019, 1020, 1077, 1219, 1246] et dans celui de la mise au point d'un canon à électrons modulé [1229].

4.5.2 Expériences actives

Un aspect particulièrement important de l'expérience PORCUPINE, abordé pour la première fois dans l'espace, concerne l'étude de l'interaction d'un faisceau d'ions artificiels avec le plasma environnant. L'accent a été mis principalement sur l'étude des mécanismes de neutralisation : les ions du faisceau, injectés transversalement par rapport au champ magnétique, sont neutralisés par l'intermédiaire d'électrons s'écoulant le long des lignes de force. Ce processus conduit à la génération de structures de champs électriques quasi-statiques, du type "chocs électrostatiques", analogues à celles observées dans la magnétosphère aurorale [1020].

4.6 EXPLORATION DU SYSTEME SOLAIRE

Les projets auxquels était associé le CRPE auraient dû se concrétiser par le lancement de trois sondes spatiales GIOTTO, ULYSSE et GALILEO visant à étudier respectivement la comète de Halley, le vent solaire hors du plan de l'écliptique, et enfin Jupiter et son environnement

INSTABILITE KELVIN HELMOLTZ

EVOLUTION DE L'ENERGIE MAGNETIQUE

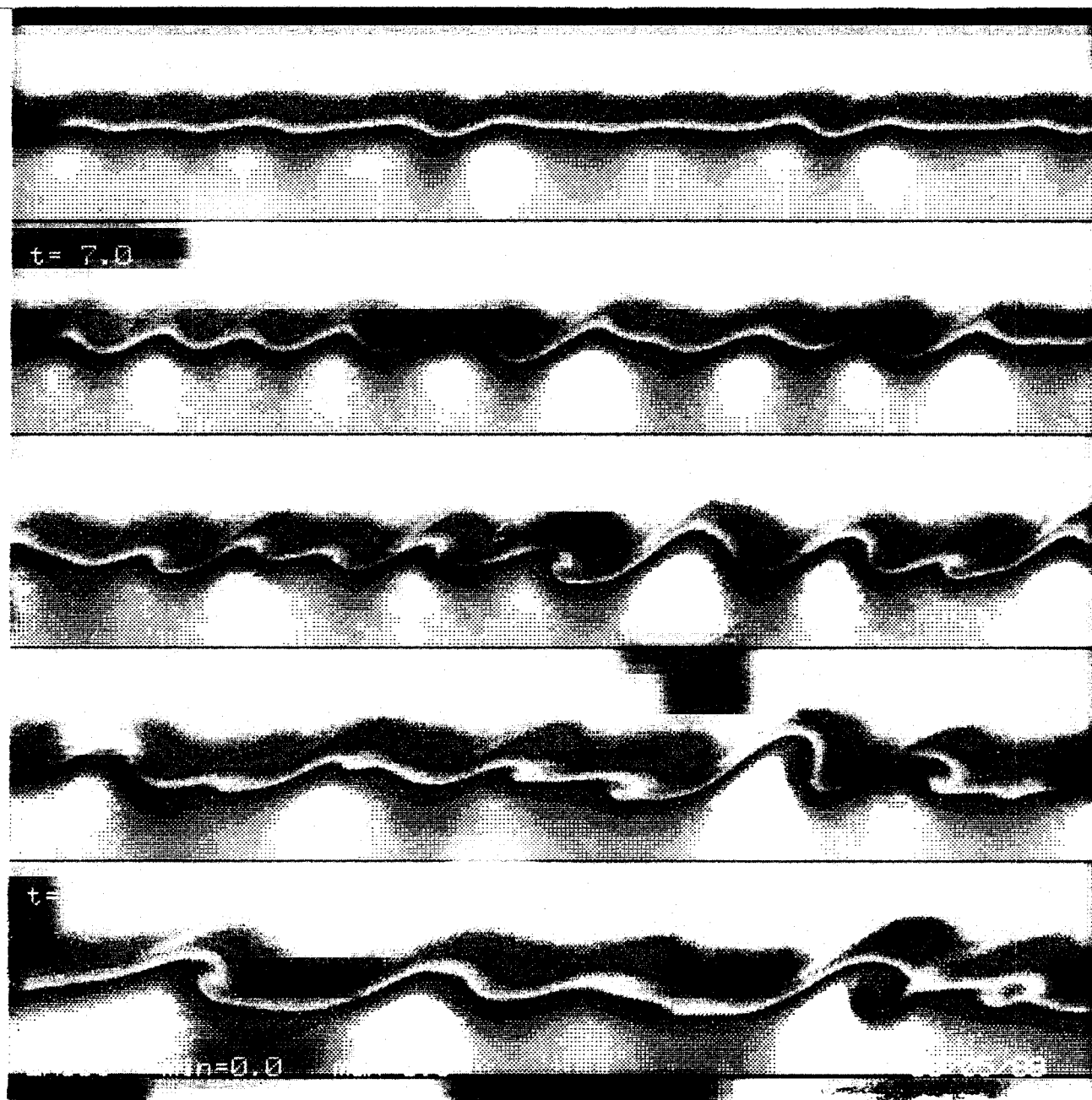


Figure 4.7. Instabilité de Kelvin-Helmholtz. L'évolution non linéaire de l'instabilité est montrée par les cinq panneaux obtenus à cinq temps successifs. On voit la longueur d'onde dominante augmenter avec le temps, et des trous de champ magnétique (couleur sombre) se localiser sur le front des "vagues" déferlantes. La valeur $R_m = 500$ du nombre de Reynolds magnétique correspond à une résistivité assez importante.

ionisé. Seule la première sonde a été lancée, avec succès, par l'Agence Spatiale Européenne ; les autres tirs n'ont pu intervenir en 1986 en raison de l'accident de la navette américaine. La NASA prévoit le tir de GALILEO en 1989 et d'ULYSSE en 1990. Il s'agit de sondes pour lesquelles l'instrumentation est donc achevée depuis longtemps.

Dans le cadre du projet GIOTTO dont l'objectif était l'exploration de l'enveloppe de gaz et de poussières et l'observation du noyau de la comète de Halley, le CRPE a participé à l'expérience NMS (Neutral Mass Spectrometer) dont le responsable principal était le Max Planck Institut für Kern Physik de Heidelberg (RFA). L'instrument se composait de 2 spectromètres, le premier fournissant le spectre en masse des constituants neutres et ionisés thermiques entre 1 et 36 uma, le second le spectre en énergie des neutres et des ions incidents entre ~ 10 et 2 100 eV. L'originalité de ces spectromètres, et leur progrès par rapport aux instruments lancés précédemment, résidait dans l'utilisation d'une technique d'imagerie monodimensionnelle associant des galettes à micro-canaux et des collecteurs à transfert de charges permettant l'obtention du spectre global en masse et en énergie en une seule mesure. Etant donné la grande vitesse de la sonde dans le repère cométaire pendant le survol (~ 70 km/s), le spectre en énergie peut être utilisé dans la coma interne où les températures des ions restent modérées ($< 300^\circ\text{K}$), pour déterminer la composition, la vitesse d'expansion et la température des espèces neutres et ionisées [1031].

L'examen des spectres enregistrés à des distances inférieures à 350 000 km montre [1049] : (i) La prédominance des ions formés à partir de la photodissociation et de la photoionisation des molécules d'eau : H_3O^+ , H_2O^+ , OH^+ , O^+ , H^+ . Les ions H^+ sont détectés jusqu'à des distances supérieures à 10^6 km du noyau, les ions O^+ sont majoritaires au-delà de 150 000 km. Dans la coma interne, à des distances inférieures à ~ 4 500 km, les ions H_3O^+ sont majoritaires ; (ii) L'abondance des ions C^+ et CO^+ : les ions de masse 28 sont essentiellement des ions CO^+ , provenant de la photoionisation de CO, la proportion d'azote moléculaire étant très faible (voir ci-dessous) ; (iii) La présence en quantité notable, surtout à faible distance du noyau d'ions S^+ , dont la densité peut atteindre une valeur comparable à celle des ions du groupe de l'eau.

Plusieurs résultats importants ont été obtenus qui concernent en particulier la dynamique du plasma et les discontinuités qui résultent de l'interaction entre le vent solaire et l'atmosphère cométaire neutre et ionisée, ainsi que la source de l'oxyde de carbone.

A grande distance du noyau, dans la coma externe, le vent solaire est progressivement ralenti parce qu'il capture et entraîne avec lui des ions lourds, essentiellement O^+ et CO^+ , d'origine cométaire. Bien que l'instrument soit relativement mal adapté aux conditions qui règnent dans la coma externe, il a été possible de mettre en évidence [1052]

la présence d'ions O^+ et CO^+ créés localement, un ralentissement progressif du vent solaire jusqu'à $\sim 6 \cdot 10^5$ km et surtout l'existence d'une discontinuité dans l'écoulement à $5,5 \cdot 10^5$ km, observée également sur les mesures du champ magnétique et sur celles des électrons énergiques. Cette discontinuité se traduit par une isotropisation du vent solaire et une chute brutale de la vitesse d'écoulement. Les observations dans la coma interne sont beaucoup plus complètes puisque les conditions de vitesse et de température permettent de déterminer avec précision la densité, la vitesse d'expansion du gaz et la température [1052]. Ces résultats ont ainsi permis d'identifier deux régions radicalement différentes séparées par une surface de discontinuité située à 4 500 km : à l'intérieur de cette "surface de contact", la température du plasma augmente lentement de 180°K (1 700 km) à 250°K (4 300 km). On observe une augmentation brutale de $\sim 1\,000^\circ\text{K}$ au niveau de la surface de discontinuité suivie d'une croissance plus lente au-delà, la température atteignant $5\,000^\circ\text{K}$ à 15 000 km. Aucune variation sensible de densité n'est détectée à la traversée de la surface de discontinuité ; par contre on observe (figure 4.8) un comportement différent de la composante radiale des vitesses d'ensembles des ions et des neutres que l'instrument peut mesurer puisque la vitesse de la sonde est pratiquement dirigée vers le noyau de la comète. Pour les neutres, cette vitesse d'ensemble continue à augmenter régulièrement de ~ 800 m/s (à 4 000 km) à ~ 1100 m/s (à 30 000 km). Au contraire la vitesse des ions décroît de 800 m/s à $\sim 0 \pm 150$ m/s entre 4 300 et 4 700 km et garde une valeur pratiquement nulle jusqu'à environ 7 000 km. A l'intérieur de la surface de contact, le champ magnétique est nul et l'expansion de l'atmosphère cométaire s'effectue librement, le gaz neutre et le plasma étant étroitement couplés ; l'existence de la surface traduit l'action du vent solaire sur le plasma d'origine cométaire dont l'expansion radiale est arrêtée dans une région où la valeur de la fréquence de collisions ions-neutres est suffisamment faible pour que les deux gaz soient découplés.

Le pic observé dans les spectres à la masse 28 uma peut correspondre à des molécules CO, N_2 , C_2H_4 ou à des fragments d'autres hydrocarbures. La comparaison avec les résultats obtenus dans la gamme 30-80 uma et surtout la variation de l'amplitude des pics avec la distance au noyau montre que la contribution d'éventuels hydrocarbures est négligeable. De même l'analyse des résultats obtenus lorsque l'on fait varier l'énergie des électrons dans la source d'ionisation de l'instrument ainsi que la comparaison les observations optiques à partir du sol permettent de conclure que l'oxyde de carbone CO contribue pour 80 % au moins à l'amplitude du pic mesuré à la masse 28. L'analyse de ce pic au cours du survol fait apparaître une caractéristique importante : on n'observe pas la variation en fonction de l'inverse du carré de la distance au noyau que l'on attendrait dans le cas d'une molécule mère, mais au contraire le profil montrant l'existence d'une source s'étendant jusqu'à $\sim 15\,000$ km [1149]. Il n'a pas été possible pour l'instant d'identifier une molécule mère permettant d'interpréter ces

4.7 CONCLUSION

La période 85-88 a vu la mise en oeuvre de moyens expérimentaux nouveaux, tant au niveau de l'instrumentation sol (premières mesures du radar à diffusion incohérente EISCAT VHF et du radar cohérent SHERPA) que des moyens spatiaux (lancement en 86 de VIKING, mission GIOTTO vers la comète de Halley).

Plutôt que de résumer l'ensemble des études menées à RPE, nous allons tenter ici de souligner les directions nouvelles qui se sont dessinées au cours des quelques années couvertes par le présent rapport.

On voit apparaître un thème tout à fait nouveau : l'étude des structures à petites échelles, laminaires ou turbulentes, qui se développent dans les frontières externes de la magnétosphère et dans la région aurorale. Les résultats, imprévus, obtenus grâce aux données des satellites ARCAD et GEOS, dans ce domaine préparent des études plus précises et mieux adaptées à la nature de l'objet étudié, qui seront menées à partir de INTERBOL et surtout de CLUSTER, projet prioritaire de la discipline. Le rôle important joué par le CRPE dans la genèse de ce projet et dans la coordination du consortium "ondes" de CLUSTER concrétise le succès de cette orientation.

La volonté de participer à l'exploration du système solaire, exprimée lors des colloques de prospective du CNES, aux Arcs et à Deauville s'est traduite par une participation à GIOTTO. On verra ci-dessous comment le programme "système solaire" du CRPE va se déployer, dans le domaine cométaire et planétaire.

Sans un effort de modélisation et de simulation numérique le lien, souligné plus haut, entre le programme exploratoire (système solaire) et le programme d'approfondissement des connaissances (INTERBOL-CLUSTER) ne pourrait être correctement mis à profit. La période écoulée a été marquée par un effort important au niveau théorique comme à celui de la modélisation numérique de la convection. Enfin on peut souligner que le groupe de simulation numérique est devenu une réalité ; deux chercheurs confirmés en constituant l'ossature, plusieurs thésitiques et chercheurs l'on rejoint ; le nombre important de publications prouve que l'essai est transformé.

B. PERSPECTIVES

Le programme scientifique du CRPE en physique de l'environnement ionisé comporte deux composantes complémentaires. La première est la poursuite de l'étude approfondie des plasmas de l'environnement 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 télémétrie importants qu'autorisent les missions en orbite terrestre, permettent d'atteindre une finesse d'analyse inaccessible pour les autres corps du

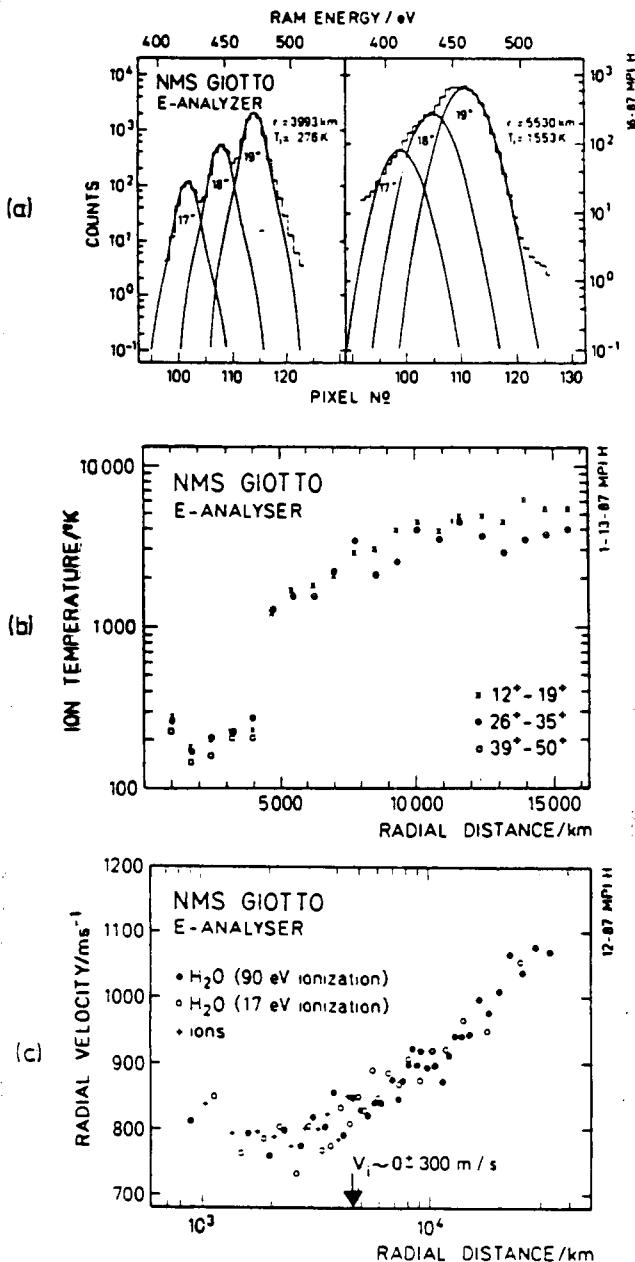


Figure 4.8. Spectrométrie des ions et des neutres à la traversée de la surface de contact de la coma de la comète de Halley par l'expérience MESSAGE

a) Spectre en énergie des ions du groupe de l'eau à deux instants

b) Profil de températures ioniques

c) Profil des vitesses des ions et des neutres

Ces résultats illustrent la discontinuité traversée à 4 500 km dans les températures et vitesses des ions et des neutres : en particulier la vitesse des ions s'annule brusquement à 4 500 km, tandis que la vitesse des neutres continue à croître régulièrement.

résultats et l'hypothèse qui apparaît la plus réaliste est celle de la production de CO à partir des grains de poussières à forte teneur en éléments légers C, H, O, N mis en évidence par les analyseurs des sondes GIOTTO et VEGA.

système solaire. Elle peut alors être mise à profit pour étudier de façon approfondie des régions "critiques" du système ionosphère/magnétosphère, régions jouant un rôle clé dans les transferts de masse, d'impulsion, et d'énergie, et qui sont le siège de mécanismes de plasmas magnétisés d'intérêt universel. A court et moyen terme les régions-clé étudiées resteront les lignes de force magnétiques aurorales et leurs frontières avec les calottes polaires. A plus long terme l'intérêt sera déplacé vers les frontières magnétosphériques (choc, magnétopause, couches limites de la queue magnétique).

Une 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".

Détaillons le contenu de ce programme à court, moyen et long terme.

Depuis la fermeture en 1986 du sondeur à diffusion incohérente de Saint-Santin, les études qui s'appuient sur des moyens au sol on été exclusivement menées à haute latitude, avec l'instrument UHF/EISCAT. La mise en oeuvre du système VHF de EISCAT permet une extension de la couverture en altitude et en latitude (cornoet et calotte polaire). En parallèle le radar cohérent SHERPA offre une amélioration considérable de la résolution spatio-temporelle de la cartographie de la convection. Ces instruments offriront un support essentiel pour les mesures que fournira le projet satellite INTERBOL soviétique. Ce satellite qui sera lancé en 1991 couvre des altitudes légèrement supérieures à celles de VIKING. INTERBOL comporte, en région aurorale, deux sondes, un satellite principal (soviétique) et un sous-satellite (tchèque), ce qui offre un avantage essentiel : la possibilité de séparer les variations spatiales des variations temporelles. Le CRPE est responsable de deux expériences à bord de INTERBOL ; la première porte sur l'analyse de la composition du plasma thermique à bord du satellite principal, la seconde porte sur la caractérisation des fluctuations magnétiques par corrélation entre les deux sondes.

Le projet américain GGS (Global Geo Science) vise à dresser un bilan des échanges entre les divers éléments du système vent solaire - magnétosphère - ionosphère - atmosphère. Le CRPE participera à la réalisation de l'un des instruments qui sera embarqué à bord de la sonde polaire (POLAR). Le lancement est prévu en 1993.

A long terme l'accent va être mis sur les frontières externes : le choc, la magnétopause et la couche de plasma. Le projet CLUSTER vient d'être retenu par l'Agence Spatiale Européenne ; il constitue avec le projet SOHO la première pierre angulaire du programme à long terme de l'Agence.

L'expérience STAFF proposée par le département OPN a été sélectionnée par l'Agence Spatiale Européenne : plusieurs laboratoires français sont associés (Meudon, LPCE, CEPHAG). En outre, le CRPE assure la coordination scientifique et technique de l'ensemble des expériences ondes retenues (5 expériences). Le département EMI participe de son côté de manière plus modeste à l'expérience PEACE de mesure d'électrons.

A long terme, le projet GEM de radar cohérent embarqué sur la plateforme COLUMBUS devrait intéresser les chercheurs du CRPE dans la mesure où il permettra d'améliorer la description de la convection.

Dans le domaine de l'exploration des environnements ionisés des autres objets du système solaire, le CRPE est engagé dans deux missions. Il s'agit de la mission GALILEO de la NASA dont le lancement est prévu en 1989, et de la mission ULYSSE de l'Agence Spatiale Européenne, dont le lancement est prévu en 1990. Dans les deux cas le CRPE a fourni du matériel et sera fortement impliqué dans le dépouillement et l'interprétation.

A moyen terme, l'étude de l'environnement ionisé de Mars, dans le cadre du projet soviétique MARS 94 constitue une étape importante de notre programme. Des propositions faites par le CRPE, en liaison avec divers laboratoires français et étrangers sont actuellement en cours d'évaluation.

A plus long terme l'expérience CREWE destinée à la mesure des électrons et des fluctuations électromagnétiques dans le voisinage d'une comète a été retenue par la NASA dans le cadre du projet CRAF (Comet Rendez Vous and Asteroid Fly by). Le CRPE participe à cette expérience intégrée qui mettra en oeuvre des mesures coordonnées des électrons et des fluctuations électromagnétiques. Le lancement est prévu en 1995.

A signaler enfin le souhait de participer au programme CASSINI, ambitieux projet NASA/ESA destiné à l'étude approfondie de Saturne, de Titan et de la magnétosphère Kronienne. Ce projet prévu pour un lancement en 1996 est retenu par l'Agence Spatiale Européenne et en cours d'évaluation à la NASA.

Ce programme expérimental ambitieux s'appuie sur la maîtrise de techniques de mesure des paramètres importants des plasmas. Les départements EMI et OPN possèdent cette maîtrise dans deux domaines, la spectrométrie des particules de faible énergie et la mesure des champs magnétiques alternatifs. Dans ces deux cas, des moyens techniques au sol sont nécessaires afin de permettre les étalonnages et les tests des instruments. Le caisson d'étalonnage de Saint-Maur et les installations du site de Chambon-Forêt sont les instruments d'essai nécessaires aux deux techniques précédentes. Au plan théorique, les efforts engagés dans le domaine de la simulation numérique portent maintenant leurs fruits. Un noyau de deux chercheurs confirmés a accréé des thésitifs.

Cet outil nouveau développé en liaison étroite avec notre programme expérimental va venir le renforcer et aider à le planifier dans des conditions optimales. C'est l'objectif du projet coopératif que nous mettons en place au niveau Européen dans ce domaine.

La composante plasma du CRPE a renouvelé ses thèmes; elle aborde la planétologie avec un nombre

raisonnable "d'opportunités" de mission. Parallèlement à cet effort d'ouverture, les chercheurs du CRPE ont eu l'initiative du projet CLUSTER de l'Agence Spatiale Européenne, projet qui va permettre, grâce à une stratégie nouvelle de mesures multipoints, de faire un grand pas dans notre compréhension des processus physiques qui contrôlent la dynamique des plasmas naturels.

5. ELECTROMAGNETISME, THEORIE DES COMMUNICATIONS ET PROPAGATION

INTRODUCTION

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 en milieu urbain pour les radiocommunications avec les mobiles.

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

La période 1985-1988 a vu s'amorcer un redéploiement des efforts, plus particulièrement sur le plan technique, qui portaient initialement sur les effets des trajets multiples vers les études sur la propagation millimétrique et en milieu urbain. Cette situation traduit les évolutions dans le domaine des systèmes de télécommunications où les liaisons par satellite et les radiocommunications avec les mobiles prennent une place de plus en plus grande.

Dans le domaine du traitement du signal, le fait que nous ne soyons pas liés directement à une équipe système nous impose un travail très en amont. Le risque d'une telle situation est de faire des recherches déconnectées des applications. Nous avons essayé d'éviter cet écueil 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. Ces nombreuses collaborations extérieures permettent par ailleurs de pallier partiellement la

taille très réduite de l'équipe. Cette situation présente en outre un autre avantage : tout résultat théorique peut être valorisé dans des applications différentes, pourvu que nous réussissions à convaincre les équipes systèmes de son intérêt.

A. RESULTATS

5.1 PROPAGATION

5.1.1 Etudes des trajets multiples sur les liaisons hertziennes

Objectifs

Les phénomènes d'évanouissements sélectifs, dus à des situations météorologiques conduisant à l'existence de plusieurs trajets simultanés des ondes entre émetteur et récepteur (trajets multiples) sont l'une des causes principales de dégradation de la qualité des liaisons hertziennes numériques à grand débit. Les études menées par le CRPE sur ce sujet depuis 1982 ont pour objectif de caractériser le milieu de propagation, lorsqu'il est affecté par de tels événements, d'une façon permettant le calcul de la qualité de transmission que présenterait un système déterminé. L'objectif à long terme est d'obtenir une description physique du canal à trajets multiples et de déterminer les paramètres météorologiques qu'il conviendrait d'inclure dans une modélisation statistique. Un objectif moins éloigné consiste à rechercher des méthodes mathématiques et statistiques de représentation du canal sur une bande de fréquence de quelques dizaines de MHz, et à établir comment de telles représentations peuvent être utilisées comme éléments d'une méthode fiable de prévision de la qualité des liaisons. Ces thèmes, abordés à partir des données PACEM 1 (PACEM : Propagation en Air Clair Et Météorologie) durant la période 1982-1984, ont été approfondis au cours de la période 1984-1988, période qui a également vu la réalisation de deux nouvelles campagnes expérimentales, PACEM 2 et PACEM 3.

Campagnes de mesure

- Campagne PACEM 2

La campagne PACEM 1, réalisée en juin et juillet 1982 avec d'importants moyens de mesure, tant radioélectriques que météorologiques, était destinée à des études de cas. L'expérience PACEM 2 visait au contraire à une étude statistique d'un bond hertzien sur une période de plusieurs années. Le dispositif expérimental consistait en une liaison hertzienne fonctionnant dans la bande des 11 GHz et équipée d'un analyseur de liaison (MLA) mesurant la fonction de transfert dans une bande de 64 MHz. Deux chaînes de réception identiques dont les antennes étaient séparées de 15 m en hauteur permettent d'étudier la diversité d'espace. Les mesures ont été effectuées de janvier 1985 à décembre 1988. Une mesure de la probabilité d'erreur, utilisant la transmission d'une séquence pseudo-aléatoire sur un second canal de la bande des 11 GHz, a été ajoutée à partir de mars 1986. Enfin, des mesures météorologiques de routine étaient réalisées à partir du mât instrumenté de Villeau, haut de 96 m et proche de la liaison.

- Campagne PACEM 3

L'analyse des données météorologiques de l'expérience PACEM 1 [4001 ; 4210] et leur comparaison avec les données radioélectriques laissaient penser que l'hypothèse d'un profil vertical d'indice identique tout le long de la liaison est par trop simplificatrice. C'est pourquoi on a réalisé en juin 1986 la campagne PACEM 3 qui comprenait outre un dispositif très semblable à celui de PACEM 1 (MLA large bande, ballon captif, sodar) des mesures d'indice de réfraction par avion. Cette expérience a bénéficié de la couverture météorologique du programme Hapex-Mobilhy.

Développements expérimentaux

La réalisation des expériences de propagation s'accompagne de développements instrumentaux originaux. Ainsi, les MLA utilisés dans le cadre du programme PACEM ont demandé des aménagements particuliers (cf. chapitre V). Dans un autre domaine, la détermination de l'indice de réfraction à partir des mesures météorologiques classiques a une précision à peine suffisante pour des études fines de radiométéorologie. On a donc cherché à développer un réfractomètre hyperfréquence (cf. chapitre V).

Résultats scientifiques

- Représentation du canal atmosphérique en bande moyenne

Plusieurs approches sont possibles pour représenter un canal affecté de trajets multiples sur quelques dizaines de MHz. L'important est de prendre en compte la sélectivité en fréquence du canal. Une première possibilité consiste à extraire de la fonction de transfert quelques paramètres permettant de calculer la probabilité d'erreur [4010]. L'inconvénient de cette approche est d'être spécifique à un équipement donné. La démarche qui a notre préférence s'appuie sur la représentation de la fonction de transfert par

des modèles mathématiques simples. Tant sur les données PACEM 1 que sur les résultats disponibles pour d'autres liaisons expérimentales, on a montré que des représentations mathématiques à trois paramètres étaient suffisantes (par exemple par un polynôme complexe du premier degré) [4015]. Sur un bond donné, la sélectivité du canal est alors représentée par la statistique conjointe des paramètres du modèle de représentation, et ce indépendamment des équipements de transmission utilisés. Nous avons montré que la loi de probabilité conjointe des paramètres de ces modèles pouvait s'exprimer à partir d'expressions simples dépendant des valeurs de trois coefficients (dits coefficients statistiques), l'un traduisant la probabilité d'occurrence des événements, les deux autres la sélectivité du canal [4007]. La prise en compte d'un équipement donné se fait alors en utilisant sa "signature", ensemble des points de l'espace des paramètres du modèle de représentation conduisant à une mauvaise qualité ; cet aspect de la démarche est discuté dans [4032]. Il ne reste plus qu'à relier la valeur des coefficients statistiques aux caractéristiques du bond hertzien considéré. Expérimentalement, il est possible de déterminer la valeur de ces coefficients à partir de la mesure de la distribution conjointe des niveaux à deux fréquences, plus simple que celle de la fonction de transfert complète [4020].

- Représentation de la fonction de transfert en bande large

Les modèles de représentation décrits au paragraphe précédent ne sont pas applicables à des bandes de fréquence de plus de 100 MHz et leurs paramètres n'ont en général pas d'interprétation physique immédiate. Un modèle physique valable sur une très large bande de fréquence est le modèle multirayons qui a été étudié théoriquement en considérant des déphasages entre rayons, conséquences de la présence de rayons réfléchis et de caustiques [4006]. Les modèles à deux rayons sont une bonne approximation de ce modèle pour une largeur de bande inférieure à 100 MHz. De plus, des modèles de propagation simples donnent les paramètres des rayons physiques en fonction de certaines caractéristiques du bond (comme sa longueur). Dans certains cas, on peut en déduire l'effet de cette caractéristique sur les coefficients statistiques. Une première confrontation de telles déductions théoriques avec des mesures expérimentales s'est montrée encourageante [4029].

- Représentation d'un canal en diversité d'espace

Les données de l'expérience PACEM 2 sont en cours d'analyse en vue de caractériser un canal en diversité d'espace. On a analysé sur une année complète, tant en ce qui concerne les variations saisonnières que les différences entre les signaux reçus sur les deux antennes, le niveau du signal à la fréquence centrale [4233] et la dispersion linéaire d'amplitude sur 50 MHz [4236]. A titre d'exemple, on montre sur la *figure 5.1* les statistiques annuelles cumulées du niveau du signal à la fréquence centrale obtenues sur chacune des antennes de réception, ainsi que sur le canal en diversité par "commutation idéale", c'est-à-dire le canal qui est à tout moment le meilleur des deux.

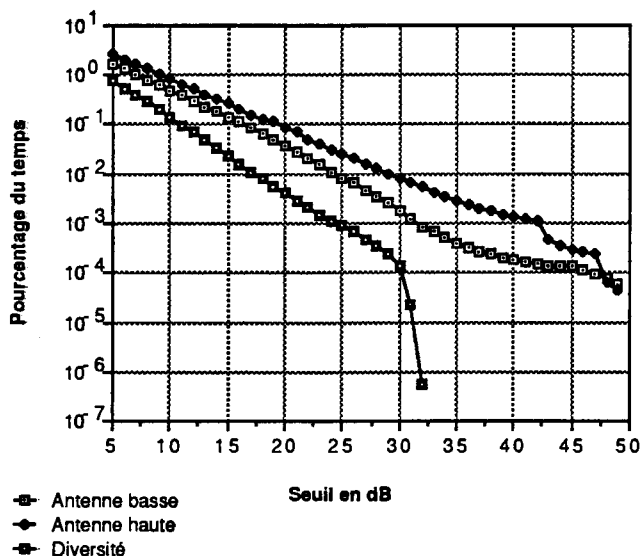


Figure 5.1. La figure représente les distributions cumulées des affaiblissements à la fréquence centrale voisine de 11 GHz pendant l'année 1985 sur la liaison PACEM 2 sur les deux antennes et en diversité ; le facteur d'amélioration de diversité est de l'ordre de 100 pour un affaiblissement de 30 dB et croît avec la profondeur d'affaiblissement.

On s'attache maintenant à étendre au canal en diversité d'espace les modèles de représentation en bande moyenne, ce qui revient à considérer simultanément les deux fonctions de transfert et donc à étudier la statistique conjointe de six paramètres.

- Analyse physique du canal

Au cours de l'expérience PACEM 3, des mesures par avion ont été obtenues durant deux nuits présentant des situations de trajets multiples. A partir de ces données et de celles du ballon captif on a reconstitué (en coopération étroite avec le groupe d'A. Weill) la structure de l'indice de réfraction. Dans les deux cas on observe des gradients horizontaux [4704]. Dans un cas, la situation, stationnaire dans le temps, est attribuée à l'écoulement de l'air le long de la liaison. Dans l'autre, on assiste au passage d'une masse d'air plus humide. Des simulations par tracé de rayons montrent que l'effet de tels gradients horizontaux sur les observations radioélectriques peut être important.

- Analyse de la dynamique du canal

Les modèles statistiques de propagation décrits au premier paragraphe ne cherchent pas à déterminer comment la fonction de transfert évolue au cours du temps. L'étude de ce point a été entreprise à partir des données MLA de PACEM 3. On a tout d'abord développé un logiciel de visualisation graphique permettant d'apprécier qualitativement l'évolution dynamique du canal et de sélectionner les périodes qui feront l'objet d'analyses détaillées. Les deux exemples de la figure 5.2, caractéristiques des deux nuits pour lesquelles on dispose de mesures en avion, montrent des différences de comportement liées à la nature stationnaire ou variable de la situation météorologique.

On a sélectionné trois paramètres pour une première étude dynamique : l'atténuation maximum dans la bande de 1 GHz, la fréquence correspondante et la largeur en fréquence du creux d'atténuation. On s'attache maintenant à trouver une description mathématique appropriée à la description de ces trois paramètres.

5.1.2 Effets des hydrométéores

Les hydrométéores, la pluie en particulier, constituent la cause principale de perturbations des liaisons radioélectriques dans la gamme des ondes millimétriques tant pour les liaisons horizontales que pour les liaisons obliques. 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.

Etude des précipitations en zone tropicale

Le CRPE a continué à apporter sa contribution à l'étude des caractéristiques de la pluie et de ses effets sur la propagation des ondes centimétriques et millimétriques dans les régions tropicales et équatoriales [4012, 4022, 4216, 4217, 4410, 4229, 4416, 4428, 4606].

Cette étude, qui s'appuie sur diverses campagnes de mesure en Afrique, a permis d'élaborer des modèles statistiques de prévision de phénomènes de propagation et de montrer que la distribution cumulative des intensités de précipitation pouvait s'exprimer en fonction de deux paramètres dont l'un, l'intensité de pluie dépassée pendant 0,01 % du temps, rend compte de la forme de la distribution, et dont l'autre donne la pente de cette distribution [4012]. Un atlas mondial des valeurs de cette pente a été établi. Associé aux isocontours des intensités de pluie proposé par le CCIR, il permet de prévoir les intensités de pluie pour les pourcentages de temps compris entre 1 et 0,001.

On a aussi montré que les gouttes de pluies de grande dimension contribuent peu à l'intensité totale de pluie mesurée au niveau du sol. Des modèles de prévision des affaiblissements radioélectriques à partir des intensités de précipitations au sol ont été proposés pour les liaisons terrestres et pour les liaisons Terre-satellite. Ils se sont montrés supérieurs aux modèles proposés antérieurement par le CCIR.

Expérience 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 doit être lancé en 1989. Ce programme devrait permettre l'établissement de méthodes de prévision pour les futurs systèmes de télécommunications par satellite [4420].

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

Depuis 1985 le CRPE participe au groupe OPEX (Olympus Propagation EXperimenters) 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. Cette standardisation doit naturellement favoriser une coopération internationale étroite sur des objectifs scientifiques précis. Il est bon de rappeler que le programme OLYMPUS est prévu pour durer une dizaine d'années.

L'ambition du programme est grande puisqu'on s'est proposé d'atteindre une précision de mesure d'affaiblissement de 0,1 dB. Le travail essentiel conduit durant les années 85-88 a été de définir, d'organiser et de mettre en œuvre la participation française (réduite au CNET) à ce programme. Elle est organisée autour de deux stations de réception. L'une située à Gometz, et gérée par la division ETR du Centre PAB du CNET, dite "grande station", sera apte à faire toutes les mesures (détermination complète de la matrice de transfert) ; l'autre est une station transportable, dite petite station, dont nous avons entièrement défini les caractéristiques techniques. L'utilisation de ces deux stations permettra d'étudier la diversité de trajet et d'avoir des données représentatives de climats locaux différents. La *figure 5.3* représente le schéma synoptique de l'expérience.

Pour atteindre la précision de mesure souhaitée, il est nécessaire de tenir compte des dérives de la puissance émise dues à diverses causes (par ex. variations thermiques diurnes du satellite). Pour effectuer les corrections de ces effets, nous avons opté pour l'implantation d'une radiométrie micro-ondes multi-fréquences qui mesure l'atténuation due aux gaz atmosphériques et aux fines gouttelettes d'eau en suspension dans les nuages. Une thèse sur ce sujet a été commencée en 1988.

Par ailleurs l'analyse des problèmes soulevés par l'influence des hydrométéores sur les ondes millimétriques révèle que la difficulté principale réside dans la caractérisation des précipitations. C'est la raison pour laquelle un effort particulier a été fourni dans la mise en place d'un réseau raffiné de mesures météorologiques associées que nous avons également entièrement défini.

Cette expérience n'a pas été seulement préparée sur le plan météorologique et technique. Dans le même temps, on a mis au point un logiciel permettant de calculer les effets individuels des divers hydrométéores et des gaz atmosphériques pour une gamme de fréquences allant jusqu'à 100 GHz. On dispose ainsi d'un outil indispensable à l'interprétation des résultats expérimentaux que nous obtiendrons.

Liaisons millimétriques horizontales

Là encore le travail a été consacré à la mise en place des liaisons expérimentales, PROMPT à 35 GHz (Propagation en Ondes Millimétriques et Transpolarisation) et DALEMBERT à 94 GHz (Diffusion Atmosphérique sur une Liaison Expérimentale Millimétrique et Brouillage En Radio Télécommunications).

La liaison PROMPT est établie entre la Tour Montparnasse et l'Observatoire de Saint-Maur. Les signaux émis sur les deux polarisations à des fréquences légèrement différentes sont reçus sur deux antennes de façon à pouvoir mesurer les découplage et isolation de polarisation.

La liaison DALEMBERT est une liaison à courte distance, 200 m environ, destinée à mettre en évidence les phénomènes de diffusion latérale grâce à un système d'antennes placées en émission et en réception sur un plateau tournant qui peuvent être pointées vers un volume diffusant. La *figure 5.4* représente le schéma synoptique de l'expérience. Les objectifs et travaux scientifiques liés à ces expériences sont décrits dans la partie "Perspectives" ci-après. Une description technique plus détaillée est donnée au chapitre V.

Etudes théoriques de la diffusion par les hydrométéores

En ce qui concerne la diffusion simple, une programmation de calcul des sections efficaces des gouttes d'eau et de l'affaiblissement linéique par la pluie utilisant différentes méthodes de calcul de diffusion (Rayleigh, T-matrix, Oguchi) a été développée. Elle a été utilisée plus particulièrement dans le cadre des effets de la pluie en milieu tropical (voir plus haut).

Les diverses méthodes et approximations utilisées en théorie de la diffusion multiple par des milieux aléatoires continus ou discrets ont été passées en revue [4402] afin de déterminer lesquelles pouvaient être utilisées dans le cadre de notre étude. Lorsque la longueur d'onde considérée est du même ordre de grandeur que la taille caractéristique des hydrométéores, les effets de diffusion multiple peuvent devenir importants ; pour les représenter de manière relativement simple, on fait appel aux diagrammes de Feynman. On peut ainsi écrire une équation pour la moyenne statistique du champ, l'équation de Dyson. C'est une équation intégrale dont le noyau est une somme infinie de termes qui représentent chacun un type d'interaction entre le champ et le milieu diffusant. La difficulté majeure tient au fait que lorsque l'on approche ce noyau par un sous-ensemble (fini ou infini) de termes, on ne connaît pas le domaine de validité de l'approximation qui en résulte. Pour un milieu discret, on utilise souvent l'approximation de Twersky (premier terme de l'opérateur). On a montré que l'on obtient un résultat très différent lorsqu'on considère la sous-classe des diagrammes "planaires" [4027].



Figure 5.2. La figure représente deux comportements dynamiques de trajets multiples relevés lors de la campagne de mesures PACEM 3. La fréquence à partir de 10,7 GHz est indiquée en abscisse par pas de 100 MHz et le temps est indiqué en ordonnée en nombre de fonctions de transfert (65 ms pour une fonction de transfert). Le code de couleur rend compte de la profondeur de l'affaiblissement. Le premier tracé met en évidence une situation stationnaire où l'affaiblissement de plus de 25 dB persiste à peu près sur la même fréquence pendant plusieurs minutes. Le second tracé fait apparaître un balayage très rapide de l'affaiblissement dans la bande de fréquence.

OLYMPUS

VUE SYNTHETIQUE DE L'EXPERIENCE FRANCAISE

(collaboration ETR RPE)

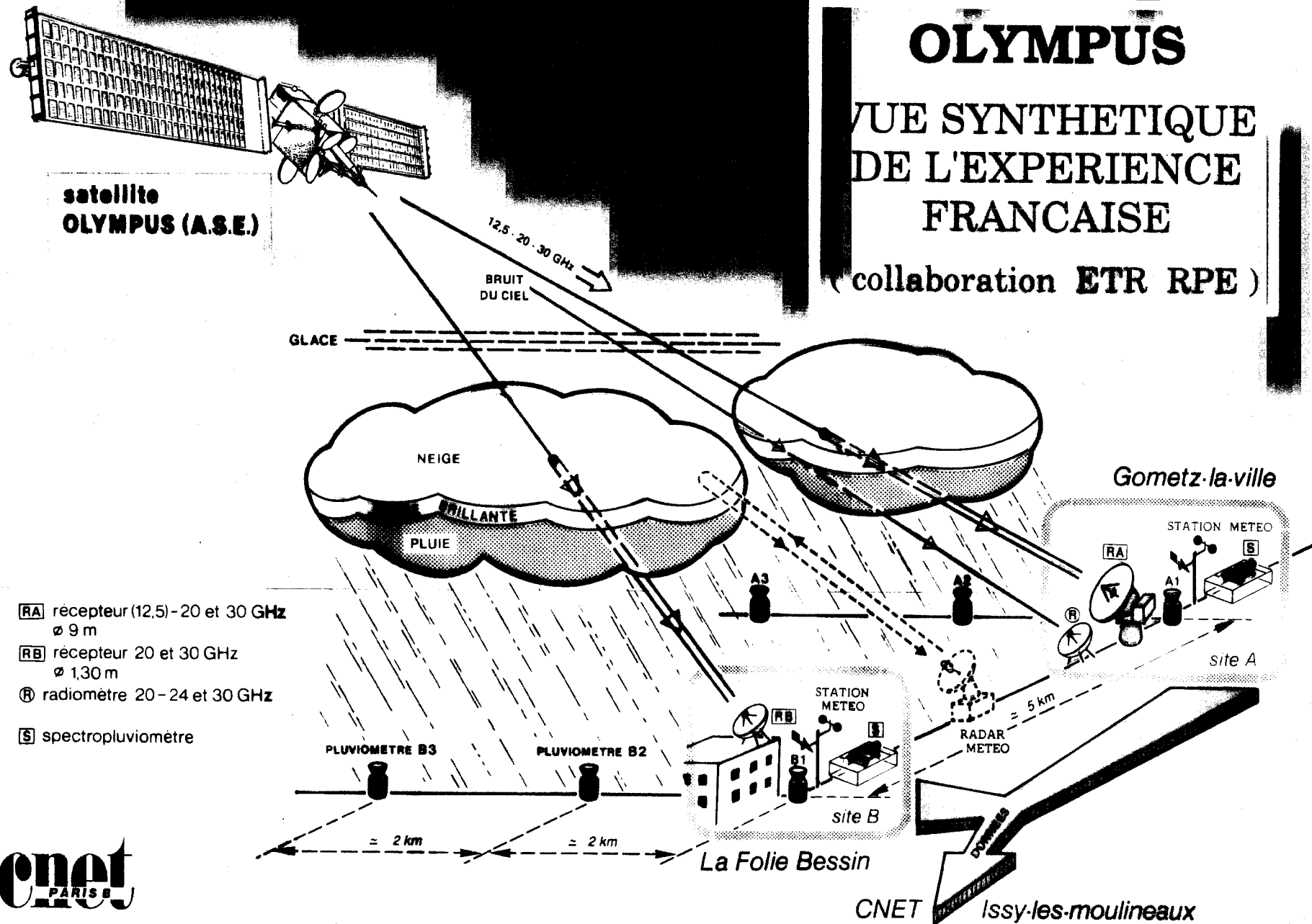


Figure 5.3. La figure donne une vue synthétique de l'expérience OLYMPUS avec les différents instruments de mesures radioélectriques (stations de réception de balises, radiomètres), et météorologiques (stations météorologiques classiques, pluviomètres déportés, radar météo et spectropluviomètres).

DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE MESURE DE LA DIFFUSION PAR LA PLUIE A 94 GHZ A L'OBSERVATOIRE DU PARC SAINT-MAUR

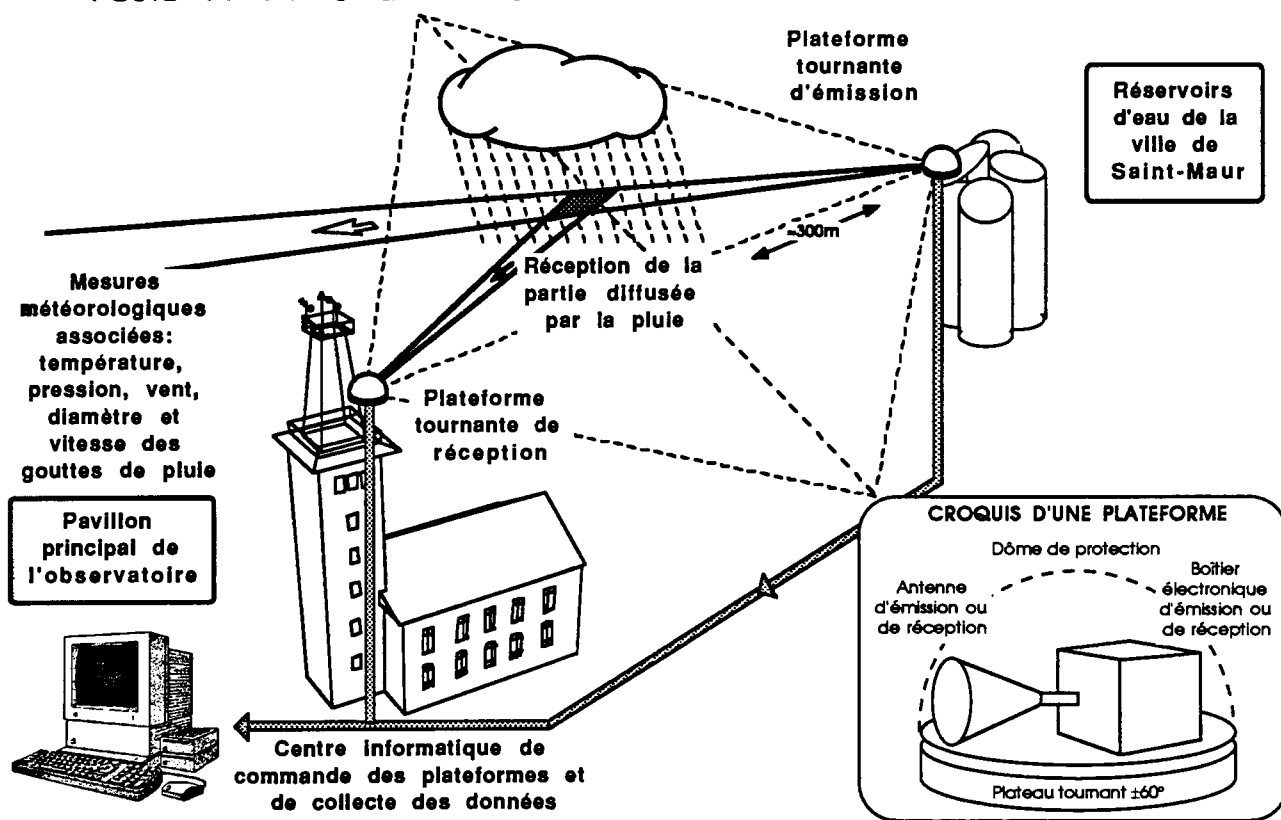


Figure 5.4. La figure donne une vue synthétique de l'expérience Dalember d'étude de la diffusion créée par la pluie avec les deux plateformes tournantes d'émission et de réception d'une balise à 94 GHz, les mesures météorologiques associées et l'acquisition des données.

5.1.3 Effets de la troposphère sur les mesures de distance terre-satellite

Les études entreprises dans le cadre d'un contrat avec le CNES sur l'évaluation des caractéristiques du système DORIS (Doppler Orbit and Range Integration System) de localisation pour le futur satellite d'océanographie POSEIDON se sont terminées par la soutenance d'une thèse [4607].

Il s'agissait d'évaluer l'allongement apparent de la distance terre-satellite lié à la traversée de la troposphère (une étude similaire a été menée au CNET/LAB/MER pour l'évaluation des effets liés à la traversée de l'ionosphère). La stratégie choisie a été de modéliser l'allongement à partir de mesures météorologiques simples au sol (température, pression et humidité). Différents modèles ont été étudiés mais tous se sont heurtés à la difficulté de prévoir la répartition en altitude de la vapeur d'eau à partir des seules mesures au sol. Un modèle semi empirique qui a pour principal avantage d'être applicable sur toute la surface de la Terre a été élaboré après une analyse détaillée de données de radiosondages recueillies sur tout le globe. L'étude a permis de montrer que l'évaluation à la précision requise de quelques centimètres était extrêmement incertaine, et qu'en présence d'une

atmosphère humide l'erreur résiduelle à la verticale ne pouvait être réduite à partir des mesures au sol à moins de 2 à 3 cm [4607, 4403, 4408, 4214, 4224].

5.1.4 Propagation radioélectrique en milieu urbain

Le canal radioélectrique en milieu urbain à 900 MHz, entre une base fixe et un poste mobile, est très probablement l'un des plus perturbés qui puisse être rencontré : essentiellement, à une grande sélectivité due aux multiples trajets de propagation se superpose une importante variabilité, principalement causée par le déplacement du mobile. Face à ces difficultés, la nécessaire numérisation des communications radiomobiles requiert diverses contre-mesures : égalisation, diversités, etc. Ces dispositifs correcteurs sont eux-mêmes d'autant plus efficaces qu'ils sont adaptés au canal de propagation, ce qui nécessite une bonne connaissance de ce dernier.

L'investigation de ce canal entreprise au CRPE se fixe donc deux objectifs : d'une part décrire le canal tant sur le plan de la relation d'entrée-sortie (approche "boîte noire") que sur celui des mécanismes effectifs de la propagation, diffraction et/ou réflexion, simple ou multiple, etc. et d'autre

part de prédire son comportement, c'est-à-dire de relier cette description aux paramètres urbains et aux données de terrain disponibles.

Une telle investigation nécessitait un dispositif expérimental de mesure du canal. Après une longue et difficile mise au point, le dispositif qui a été réalisé, et qui présente la particularité d'être "tout numérique", permet en particulier de disposer de mesures de la réponse impulsionnelle complexe du canal avec une résolution effectivement observée de 0.1 ms (pour des durées pouvant atteindre 33 ms) et une dynamique de mesure supérieure à 40 dB, ce qui représente une qualité de données sans doute inégalée [4013, 4237].

A titre d'exemple, dans la fonction de diffusion peu ordinaire présentée en *figure 5.5* et calculée à partir de données relevées rue Amelot à Paris, toute la résolution requise est conservée autour des premiers trajets qui sont de 20 dB plus faibles qu'un écho dominant parvenant 4.5 ms plus tard.

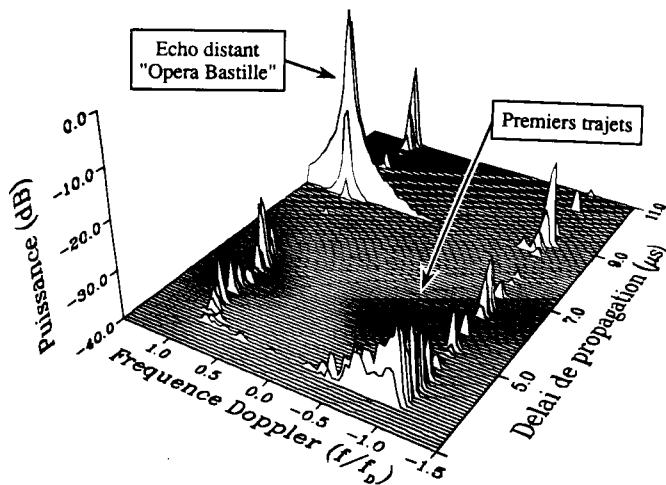


Figure 5.5. La figure représente la fonction de diffusion qui donne pour chaque délai la densité de puissance du décalage Doppler, évaluée sur un trajet rue Amelot (Paris 11). L'Opéra Bastille, situé dans l'axe de la rue, produit un écho de 20 dB au-dessus du niveau des premiers trajets et parvenant 5 μ s après ceux-ci.

L'exploitation des données recueillies a seulement commencé, mais a déjà conduit à d'importants résultats. En particulier, les corrélations fréquentielles du canal ont fait l'objet d'une investigation, les distributions des bandes de cohérence établies et la relation entre ce paramètre et la dispersion des délais a été détaillée [4243]. D'autre part la propriété de quasi invariance temporelle du canal en point fixe a été établie, démontrant que les fluctuations dues aux véhicules en mouvement au voisinage du récepteur sont négligeables auprès de celles dues au mouvement du récepteur lui-même [4230].

Parallèlement à l'expérimentation, une approche théorique permet de poser aux données recueillies, abondantes et

complexes, les "bonnes questions". Dans cette optique, un modèle du canal multitrajet développé récemment réconcilie le modèle classique de canal stationnaire au sens large et à diffuseurs non corrélés, qui réduit la description du canal à une fonction de diffusion telle que celle représentée en *figure 5.5*, avec les approches plus physiques de modèles à rayons. Ce modèle original établit la relation qui peut exister entre la fonction de diffusion et l'intensité moyenne reçue par le mobile en fonction du délai de propagation et de l'angle d'arrivée [4226].

5.2 THEORIE DU SIGNAL

5.2.1 Algorithmes rapides

Initialement, cette étude concernait les transformées en nombres entiers, et s'est élargie progressivement à différentes transformées : Transformées de Fourier, en Cosinus, dans leur versions mono et bidimensionnelles, au filtrage proprement dit, ainsi qu'aux différentes techniques permettant d'implanter ces algorithmes, que ce soit en logiciel ou en matériel.

Les quatre années qui se sont écoulées ont été caractérisées dans ce domaine d'une part par l'homogénéisation de nombreux résultats jusqu'ici disparates, et d'autre part par de nombreuses ébauches de valorisation de ces résultats.

Transformées de Fourier

Nous avons proposé en 1984 un algorithme de Transformée de Fourier Rapide possédant la complexité arithmétique la plus faible parmi toutes les méthodes publiées, tout en gardant une structure régulière. Nous avons également pu montrer que, pour une implantation FORTRAN, le nombre de toutes les opérations les plus coûteuses (y compris les transferts mémoire) était réduit par rapport aux meilleurs algorithmes connus [4003].

L'application de cet algorithme (dit "à radical double", ou "split-radix") à des données complexes, réelles ou réelles et symétriques, au calcul des transformées en cosinus, aux TFR impaires, a montré les mêmes avantages. De plus, cet ensemble d'algorithmes est suffisamment cohérent pour qu'une amélioration ultérieure éventuelle de l'un d'entre eux se traduise immédiatement par un gain correspondant sur tous les autres [4016].

Le principe de cet algorithme a été repris par de nombreux auteurs, et appliqué à d'autres transformées (DCT, Hartley, ...). Il est repris dans un livre récent d'Oppenheim sur le traitement numérique des signaux, et cité comme l'une des avancées importantes de ces dernières années.

Nous avons également pu montrer récemment, en collaboration avec M. Vetterli, Columbia University, que le principe de cet algorithme s'appliquait à d'autres types de longueurs, et qu'un argument d'optimalité analogue à celui de la programmation dynamique prouvait que cet algorithme

était optimal dans la sous-classe des TFR la plus couramment utilisée [4034].

Une question naturelle est alors de situer cet algorithme par rapport à l'optimum théorique. Nous avons alors calculé le nombre minimum de multiplications complexes et réelles nécessaires au calcul d'une TFR de longueur 2^n . Une analyse de ces résultats a permis de constater que le nombre de multiplications de l'algorithme à radical double était égal à l'optimum global jusqu'à une longueur 64 (multiplications complexes) ou 16 (multiplications réelles). D'autre part, la très faible différence existant entre l'optimum théorique et le "radical double" montre qu'un certain nombre d'axes de recherche sur les TFR sont maintenant fermés [4603]. La figure 5.6 donne le nombre de multiplications nécessaires au calcul d'une Transformée de Fourier en fonction de sa longueur et du type d'algorithme.

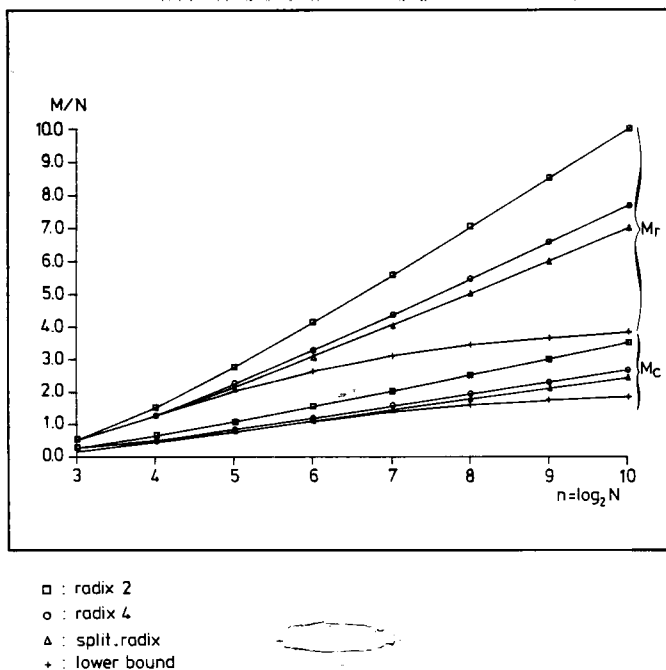


Figure 5.6. La figure représente le nombre de multiplications réelles (M_r) ou complexes (M_c) par point de sortie nécessaire pour le calcul d'une Transformée de Fourier Rapide de longueur N en fonction du logarithme en base 2 de N pour différents algorithmes. On constate que l'algorithme à radical double (split-radix) nécessite le nombre de multiplications le plus faible.

Nous avons également pu montrer, en collaboration avec M. Vetterli, d'une part que la convolution cyclique de données réelles de longueur N pouvait s'effectuer à l'aide d'un seul programme de TFR sur données réelles, à utiliser deux fois, au prix de seulement N additions supplémentaires par rapport au meilleur schéma connu, et d'autre part que l'application d'un algorithme dérivé du "radical double" permettait d'obtenir l'algorithme de Transformée de Hartley Discrète comportant le minimum d'opérations connu à ce jour. Nous avons aussi indiqué que cette transformée de Hartley faisait partie d'une classe de transformées discrètes plus générales, possédant une propriété de "convolution

généralisée", dont très peu de membres sont connus [4019]. Nous avons également pu montrer que les liens très forts existant entre les transformées de Hartley et de Fourier rendaient impossible l'obtention d'algorithmes de calcul de THD plus efficaces que ceux obtenus pour le calcul des TFD de données réelles.

Transformées en Cosinus Discrètes (TCD)

La TCD a suscité beaucoup d'intérêt récemment, en raison de son utilisation dans différents systèmes de compression de données d'images pour lesquels il est essentiel de concevoir les circuits intégrés de TCD les plus simples (et donc les moins chers) possible.

L'application des techniques mises au point sur les TFR a fourni un support théorique pour l'élaboration d'algorithmes et d'architectures de TCD facilement intégrables.

Nous avons pu montrer qu'une TCD de longueur 2^n était fondamentalement équivalente à une convolution cyclique des données d'entrée par une séquence fixe. Il est alors devenu possible d'utiliser pour la réalisation des circuits de TCD l'architecture la plus adaptée parmi toutes celles qui ont été développées pour le calcul des convolutions cycliques.

Si d'autre part on suit directement la structure de décomposition en un ensemble de produits de polynômes, et que ces produits de polynômes sont calculés par arithmétique distribuée, la structure du circuit devient très simple. L'intégration d'un Transformateur en Cosinus bidimensionnel de taille 8×8 permettant de traiter en temps réel des signaux échantillonnés à vitesse vidéo devient alors très facile (un tel transformateur ne demande qu'environ 35 000 transistors).

Nous avons également travaillé sur une évaluation la plus objective possible de ces différents algorithmes de TCD, ainsi que sur la simplification de sous-ensembles les plus adaptés à l'implantation VLSI des transformées rapides.

L'ensemble de ces résultats a fait l'objet de dépôts de brevets [4303, 4304], et n'a donc pas encore été publié (à l'exception d'une communication à ICASSP'87 [4222]). Le CCETT a par ailleurs terminé le dessin d'un circuit mettant en oeuvre l'un de ces algorithmes, en vue d'applications dans les systèmes de vidéotext (projet ESPRIT) et en Télévision numérique. Il s'agit là d'un exemple de simplification de circuits découlant directement d'un résultat théorique nouveau (équivalence entre TCD et convolution cyclique).

Algorithmes de filtrage rapide

L'utilisation des transformées possédant la propriété de convolution cyclique pour le calcul d'une fonction de filtrage (non récursif), bien qu'étant très courante sur calculateur général, impose cependant de travailler avec des blocs de données très longs. Ce point contrebalance largement les bénéfices dus à la réduction de la quantité de calcul par point à calculer dans le cas d'une réalisation matérielle comme dans le cas d'une réalisation à l'aide de processeur spécialisé.

Nous avons alors recherché des algorithmes rapides directement sur les équations de filtrage. Après avoir obtenu quelques résultats dans des cas particuliers, nous avons pu obtenir une formulation systématique permettant de dériver tous ces algorithmes de filtrage rapide [4021].

De plus, nous avons pu montrer que les algorithmes classiques fondés sur la convolution cyclique étaient des cas particuliers de cette nouvelle classe d'algorithmes [4242]. Nous travaillons maintenant sur un ensemble d'outils nécessaires à leur utilisation.

Réalisations et implantations

Les programmes de TFR ont été non seulement optimisés sur calculateur général, mais aussi programmés sur processeurs spécialisés en traitement du signal, les temps de calcul correspondants étant jusqu'à 40 % en dessous des valeurs de références du constructeur.

Nous avons également conçu une nouvelle architecture de circuit intégré de filtrage, permettant une parallélisation facile [4309]. Le circuit correspondant a été dessiné et sera utilisé pour effectuer un filtrage à une cadence proche de 50 MHz en mettant en parallèle 16 circuits identiques, sans aucune commande microprogrammée. Une application est prévue dans le cadre de la réalisation d'un Modem pour transmission numérique par satellite.

Dans le cadre des travaux effectués sur la TCD, nous avons proposé des circuits d'addition et d'addition/soustraction simplifiés (au niveau du transistor) en technologie CMOS [4306, 4307].

5.2.2 Evaluation de la qualité des liaisons sur des canaux de propagation perturbés

Dans l'axe des études concernant la propagation radioélectrique en présence de diverses perturbations, des modèles sont développés, visant à décrire et à prédire le comportement de canaux radioélectriques. Se pose alors le problème de la validation de ces modèles et donc du critère d'adéquation entre modèle et réalité.

Si les modèles doivent servir à étudier la qualité des communications qui empruntent les canaux concernés, il est clair que le critère fondamental (si ce n'est le plus facile d'emploi) est la différence entre la qualité de communication réellement observable et celle que doit permettre d'établir le modèle proposé.

C'est sur la base de ces considérations qu'a été engagée l'étude des moyens permettant d'évaluer l'impact sur les communications numériques de perturbations de canaux hertziens [4008, 4009].

Deux canaux ont été considérés, en conjonction avec leur investigation menée sur le plan de la propagation :

- le canal hertzien en visibilité en période de trajets multiples,

- le canal radiomobile urbain à 900 MHz.

La conclusion de l'étude relative au canal hertzien en visibilité illustre parfaitement les objectifs rappelés ci-dessus. La signature d'un équipement de transmission hertzienne est une caractéristique de cet équipement indépendante du bond particulier sur lequel il est installé, mais étroitement lié au modèle choisi pour représenter le canal.

Alors que cet outil n'était utilisé que pour l'un des modèles possibles, nous avons

- démontré toute la généralité de la notion,
- calculé, comparé et discuté l'emploi de signatures dans d'autres modèles,

- validé les modèles eux-mêmes en montrant dans quelle mesure les signatures d'un même équipement dans différents modèles étaient équivalentes [4224, 4032]. La figure 5.7 donne un exemple de la signature d'un équipement utilisant une modulation par déplacement de phase à 8 états (MDP 8) dans une représentation de Rummler. Cette représentation utilise l'espace des paramètres du modèle (f , B et A ; M est la marge brute de la liaison), dans lequel à toute fonction de transfert correspond le point de sa représentation par le modèle. Tout point à l'intérieur du volume délimité par la surface correspond à un taux d'erreur supérieur à 10^{-3} .

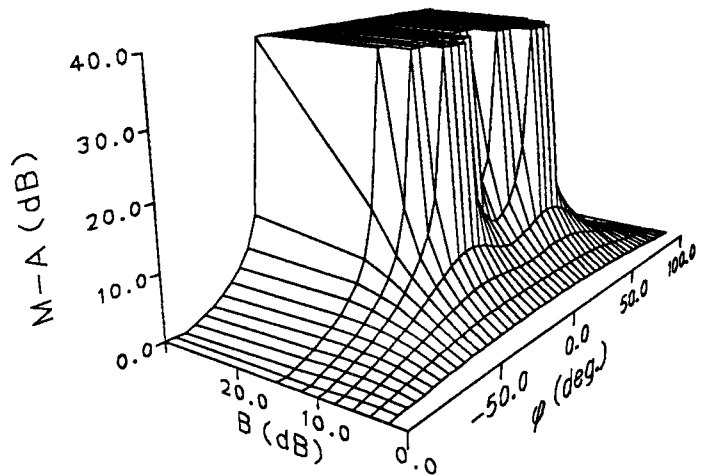


Figure 5.7. La figure représente une signature tridimensionnelle dans un modèle de Rummler (modèle de représentation à 3 paramètres d'un canal hertzien en période d'évanouissements sélectifs) pour un système de transmission numérique utilisant une modulation par déplacement de phase à 8 états. Tout point du volume limité par la surface correspond à une probabilité d'erreur supérieure à 10^{-3} . Ce type de signature est utilisé pour calculer les temps de coupure de liaisons hertziennes numériques haut-débit.

Concernant le canal radiomobile, l'existence simultanée de délais de propagation exceptionnellement longs et d'un mobile se déplaçant rapidement représente une situation particulièrement difficile du point de vue de la propagation. Pour des débits numériques intermédiaires le canal doit tout à la fois être considéré dans ses aspects de sélectivité et de

rapidité et doit être décrit par sa fonction de diffusion comme celle représentée à la *figure 5.5*.

Une méthode de calcul originale a été développée qui s'applique précisément à ces situations complexes et qui a été mise en oeuvre pour des modulations à déplacement de phase (MDP 2 ou 4) et à déviation minimum (MDM) [4221, 4235].

Ces études très proches de la propagation ont récemment été intégrées dans les études de propagation proprement dites.

5.2.3 Analyse spectrale haute resolution et traitement d'antennes

Objectifs

Comme nous l'avons déjà indiqué dans le chapitre propagation, les trajets multiples sont la cause de difficultés dans de nombreux problèmes de transmission (faisceaux 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.

En présence de trajets multiples, les signaux reçus sur les capteurs sont engendrés par une seule source. Tout se passe comme si l'on devait identifier plusieurs sources corrélées caractérisées par leur direction angulaire (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.

En raison du nombre réduit d'échantillons, la méthode classique de Fourier ne permet pas d'atteindre une résolution adéquate. Le problème se traite alors par les méthodes dites à "haute résolution" qui permettent d'atteindre une résolution plus fine.

Résultats

Plusieurs méthodes développées à l'origine pour la recherche de fréquences pures dans le domaine temporel se transposent aisément au traitement d'antennes. Ces méthodes sont fondées sur la connaissance a priori du signal à identifier et des caractéristiques du bruit ; elles exploitent la structure propre de la matrice de covariance obtenue en sortie du réseau (décomposition en valeurs singulières de la matrice de covariance ou inversion de celle-ci) [4201] [4207]. Nous avons étudié les performances théoriques de ces méthodes (Tufts Kumaresan, Music, Prédiction Linéaire, Capon) et les avons comparées à la Borne de Cramer Rao (BCR).

Ce travail a nécessité en premier lieu la caractérisation de la perturbation de l'espace propre de la matrice de covariance ; ceci nous a permis de calculer la variance et covariance des vecteurs sources estimés, et d'en déduire la variance de la

fréquence estimée. D'autre part une paramétrisation adéquate des vecteurs sources nous a permis de trouver une formule théorique simplifiée de la BCR. Enfin on a exprimé la variance des différents estimateurs en fonction de la BCR [4281, 4031].

En ce qui concerne la recherche de nouvelles méthodes nous avons pu obtenir une méthode simplifiée du Maximum de Vraisemblance. La comparaison de cette méthode avec la méthode de Music montre que cette dernière est un cas particulier de la méthode du Maximum de Vraisemblance lorsque les sources sont décorréélées [4220, 4246].

Expérience

Une expérience a été réalisée en collaboration avec la Division MER, du Centre Lannion B du CNET pour déterminer les performances des méthodes d'identification de sources corrélées [4604].

Les résultats que nous avons obtenus montrent d'une part que les performances des méthodes ne sont limitées que par les imperfections du modèle lorsque le bruit est faible, d'autre part qu'un soin particulier doit être apporté à toute procédure d'étalonnage préalablement à l'expérience proprement dite [4423].

Complexité de Calcul

Comme ces méthodes nécessitent une mise en oeuvre très lourde (inversion de la matrice de covariance, décomposition en valeurs singulières) on s'est intéressé à l'étude de la complexité du calcul et à sa réduction. Ces calculs sont accélérés si la matrice de covariance a une structure Toeplitz. Mais la matrice de covariance classique qui est Toeplitz introduit un biais dans l'estimation des sources lorsque le nombre d'échantillons est réduit. Nous avons trouvé une estimation Toeplitz de cette matrice exempte de ce défaut et nous avons étudié ses propriétés [4604].

L'algorithme de Levinson s'applique alors directement, puisque cette matrice a une structure Toeplitz. Néanmoins une singularité due au caractère non défini positif de cette matrice peut apparaître pendant le calcul ; cette difficulté a été surmontée.

Dans le cadre de l'étude de la complexité de calcul, l'algorithme de Burg a été modifié dans le but d'obtenir une estimation non biaisée de la fréquence (avec un rapport signal/bruit élevé) et d'éliminer le problème classique du dédoublement de raies [4248].

Application à l'identification de rayons

Les méthodes de l'analyse spectrale à haute résolution peuvent être également appliquées à l'identification des retards et des amplitudes des trajets multiples. Les fonctions de transfert de l'atmosphère en bande large sont modélisées comme une somme d'exponentielles complexes, dont

chacune correspond à un rayon physique. La mise en évidence de ces exponentielles, à l'aide des méthodes haute résolution permet donc en théorie de caractériser la physique du milieu en périodes de trajets multiples.

Dans un premier temps, les méthodes déjà connues ont été programmées et appliquées aux données de l'expérience PACEM (voir § 5.1.1). Parallèlement, des simulations sur ordinateur ont été menées, de manière à comparer les performances des différentes méthodes [4215]. Dans un deuxième temps, comme aucune méthode ne donnait de résultats vraiment satisfaisants, nous avons été amenés à en élaborer une nouvelle, à comparer ses performances avec celles des autres méthodes, tant sur des simulations que sur les données de PACEM [4240, 4241]. Cette méthode est la seule (à ce jour) qui permette de représenter correctement d'un point de vue mathématique la fonction de transfert de l'atmosphère par une superposition de rayons. Cependant, la sensibilité de la méthode au bruit ne permet pas de conclure au caractère physique des rayons ainsi retrouvés. La *figure 5.8* représente le résultat de la modélisation d'une fonction de transfert à l'aide de deux méthodes où il apparaît clairement que la nouvelle méthode (méthode de Kung modifiée) donne des résultats supérieurs.

Enfin, sur un plan plus conceptuel, nous avons montré que différentes méthodes existantes étaient simplement des variantes l'une de l'autre [4238], ou qu'elles pouvaient se regrouper dans un cadre théorique général, et apparaissaient comme des cas particuliers d'une même méthode [4239].

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 divisions Espace et Transmission Radioélectrique et Microondes Espace et Radioélectricité 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 stagiaire chinois au CRPE et la participation en octobre 1988 de deux scientifiques français à des expériences de propagation sur le site de Qing-Dao. La propagation millimétrique a été plus particulièrement retenue comme le sujet d'études communes en raison de la complémentarité des travaux effectués.

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.

Les études de propagation en milieu urbain ont été effectuées en collaboration avec le Centre d'Etudes des Phénomènes Aléatoires de Grenoble qui a fourni une partie de l'équipement nécessaire aux expériences et qui a participé par l'intermédiaire d'un thésard à l'analyse des données.

Une thèse sur la propagation au-dessus de la mer préparée au Centre de l'Armement de Rennes a été suivie sur le plan scientifique par le laboratoire.

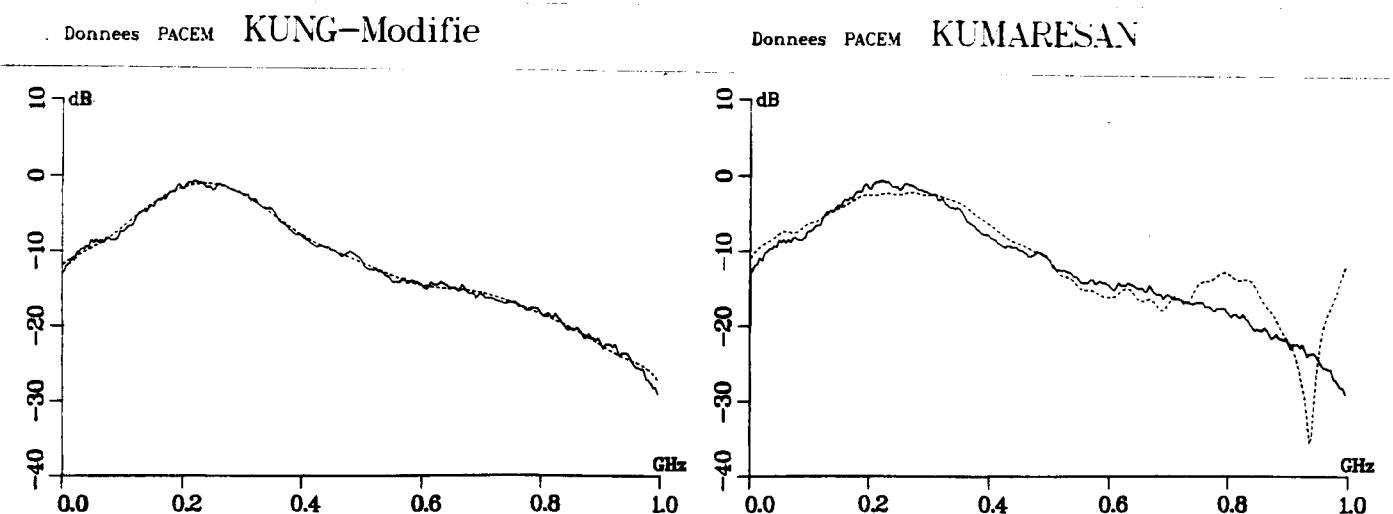


Figure 5.8. Les figures représentent les ajustements d'une fonction de transfert du canal hertzien en période de trajets multiples mesurée sur une largeur de bande de 1 GHz autour de 10 GHz lors de l'expérience PACEM par deux méthodes d'analyse spectrale de haute résolution.

La méthode de KUNG modifiée développée à PABIRPE donne un résultat beaucoup plus satisfaisant (avec 11 rayons) que la méthode classique de KUMARESAN (optimisée avec 15 rayons) car elle ne fait pas apparaître l'évanouissement sélectif en bord de bande qui n'existe pas sur la fonction mesurée.

La valorisation des études internes donne également lieu à des contrats avec des organismes extérieurs tels que le contrat Doris (voir § 5.1.3) passé avec le CNES qui a permis d'étudier la faisabilité des objectifs de mesures de distance Terre-Satellite.

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. Durandeu)
- 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

L'équipe a également assuré une participation active au GRECO Traitement du Signal et de l'Image dans les groupes Algorithme et Architecture, Logiciel et Bases de Données, Traitements d'Antenne, et Adaptatif/Evolutif.

B. PERSPECTIVES

5.4 PROPAGATION

5.4.1 Trajets multiples

Poursuite des études en cours

Au cours des prochaines années, une part importante de l'activité du groupe concernera la poursuite des études en cours à partir des données accumulées au cours des expériences du programme PACEM :

- extension de l'analyse des variations saisonnières de l'affaiblissement à une fréquence et de la distorsion linéaire dans la bande aux quatre années de mesure ;
- achèvement de la modélisation du canal en diversité d'espace ;
- étude des variations saisonnières des modèles statistiques en bande moyenne ;
- poursuite de l'analyse du comportement dynamique du canal.

Par ailleurs, on s'efforcera de synthétiser l'ensemble des résultats obtenus, tant théoriques qu'expérimentaux, dans une méthode de prévision de la qualité d'une liaison qui pourra être actualisée au fur et à mesure des progrès. Cette méthode sera notamment présentée à la CEPT.

Mesures sur le réseau

La question fondamentale qui reste à résoudre pour obtenir une bonne méthode de prévision de la qualité des liaisons en suivant la méthodologie que nous avons décrite est le passage des caractéristiques du bond considéré aux valeurs des coefficients statistiques du modèle de propagation. La valeur de ces coefficients pouvant se déduire de la connaissance de la distribution conjointe des atténuations à deux fréquences, on se propose, afin de débroussailler le problème par une approche expérimentale (l'expérience ACHILLE : Analyse des Caractéristiques Hertiennes Intrinsèques et Locales sur des Liaisons en Exploitation), d'effectuer de telles mesures (ou des mesures équivalentes) sur un ensemble de bonds hertiens représentatifs du réseau français. Le premier semestre 1989 sera consacré à une étude de faisabilité à partir de six bonds surveillés depuis la tour d'Artigues, près de Bordeaux. A la fin de cette période, si l'expérience en vraie grandeur est décidée, il faudra choisir les bonds à surveiller, les mesures sur chacun devant durer si possible deux ans. Cette campagne de mesures se fait en étroite coopération avec la DTRN (Direction des Télécommunications du Réseau National) et avec nos collègues des divisions PAB/ETR et LAB/MER du CNET.

Mesures d'indice de réfraction

L'expérience PACEM 3 a montré que l'utilisation d'un avion sur alerte est coûteuse et d'une mise en œuvre assez lourde. On s'est donc demandé si l'emploi d'un hélicoptère n'offrait pas une alternative plus attrayante. En 1989, suite à des essais de faisabilité, on devrait décider de la possibilité d'effectuer des mesures d'indice de réfraction à partir d'un hélicoptère. On peut également espérer disposer à la fin de 1989 du réfractomètre hyperfréquence en cours de développement. Il est donc possible d'envisager pour 1990 ou plus tard des campagnes de mesures par réfractomètre en avion ou en hélicoptère. De telles mesures sont d'autant plus intéressantes qu'elles sont associées à une liaison radioélectrique ; on pourrait envisager de les effectuer, soit le long d'une des liaisons sous surveillance du réseau DTRN (cf. § précédent), soit le long de la liaison expérimentale de référence que la division MER souhaite installer en Bretagne. Toutefois, la possibilité d'effectuer ces mesures sera conditionnée par les effectifs du groupe propagation après l'achèvement des thèses en cours, notamment par la possibilité de conserver un chercheur permanent en radiométéorologie.

5.4.2 Effets des hydrométéores

Si les effets des hydrométéores sont connus de façon suffisamment précise dans le domaine des fréquences allant jusqu'à 15 GHz, il n'en est pas de même en ce qui concerne les fréquences plus élevées.

Du point de vue de la physique pure on sait évaluer l'influence individuelle des hydrométéores (affaiblissement, dépolarisation) par des méthodes analytiques lorsqu'ils ont une forme simple ou par des méthodes numériques approchées lorsqu'on tient compte de leurs formes réelles. En revanche, les effets collectifs sont beaucoup plus délicats à évaluer pour deux raisons :

- Lorsque les longueurs d'onde sont comparables aux dimensions caractéristiques des particules diffusantes ou de leur distance moyenne, les effets de diffusion multiple peuvent prendre de l'importance. Il est peu probable qu'ils modifient de façon appréciable l'affaiblissement en vue directe. En revanche, la dépolarisation et la diffusion latérale peuvent en être profondément affectées. C'est la raison pour laquelle nous continuons un programme de travail théorique portant sur la diffusion multiple que nous avons couplé à une expérience de mesure de l'indicatrice latérale de diffusion à 94 GHz. Cette expérience, DALEMBERT, qui est à bien des égards analogue à une expérience de laboratoire, devrait commencer à fonctionner fin 89.

- Lorsque le trajet de propagation a une longueur caractéristique supérieure au kilomètre, ce sont les effets des hétérogénéités spatiales des hydrométéores qui sont actuellement les plus délicats à prendre en compte. Cet aspect du problème est la justification des deux expériences à venir déjà mentionnées au paragraphe 5.1.2.

- PROMPT qui s'intéresse aux trajets terrestres courts (de l'ordre d'une dizaine de kilomètres combine les mesures radioélectriques de la matrice de transfert à 35 GHz et des mesures météorologiques complètes utilisant un réseau de pluviomètres ainsi qu'une description fine de la distribution des tailles des gouttes d'eau. On doit en attendre une vérification *instantanée* des modèles théoriques d'affaiblissement et de dépolarisation.

- OLYMPUS procède du même esprit, mais est orienté vers les trajets obliques pour lesquels c'est la répartition en hauteur des hydrométéores ainsi que leur différents avatars (eau, glace...) qui forment le problème dominant. L'utilisation d'un radar météorologique simplifié est envisagé dans cette perspective.

L'utilisation d'une radiométrie multifréquences pour étalonner les balises du satellite OLYMPUS ne doit pas être uniquement rangée dans le domaine de la métrologie. En effet, elle implique une analyse fine de l'atténuation apportée à la fois par les gaz atmosphériques et par les nuages. Les concepteurs de systèmes de télécommunications fonctionnant dans le domaine millimétrique ne peuvent y être indifférents. Dans ce domaine de fréquences, on peut s'attendre à une atténuation de l'ordre de quelques décibels due à chacune des deux facteurs énoncés ci-dessus. Il est clair que ces facteurs sont alors déterminants quant à la disponibilité des liaisons envisagées.

5.4.3 Propagation radioélectrique en milieu urbain

Sur le plan expérimental le dispositif actuel sera complété par la mise en oeuvre d'une antenne mobile dans un plan sur le toit du camion laboratoire, ce qui donnera ainsi une connaissance plus fine des propriétés locales du champ reçu.

Sur le plan de la modélisation du canal, l'objectif sera, d'une part, d'établir une description compacte des statistiques des réponses impulsionnelles quartier par quartier, la description de la qualité de la propagation en un endroit fixé pouvant alors se réduire à la donnée de quelques paramètres statistiques, d'autre part de préciser les lois d'évolution locales de ces réponses impulsionnelles.

Sur le plan de la prédiction du canal, beaucoup d'espoir est mis dans une approche par simulation numérique, qui n'a jamais été tentée à notre connaissance, et qui pourrait permettre une prédiction du champ moyen local avec une précision supérieure aux 7 à 8 dB qu'autorisent les modèles actuels.

5.5 THEORIE DU SIGNAL

5.5.1 Algorithmes rapides

Les différents travaux effectués jusqu'ici se situaient toujours à la frontière théorie-application, avec des interactions dans les deux sens : essayer d'implanter un algorithme d'une manière donnée pose toujours de nouveaux problèmes théoriques, qu'il ne faut pas escamoter, et inversement un nouvel algorithme sera d'autant plus efficace que l'on gardera présentes à l'esprit les contraintes dues à la réalisation.

Dans le cadre des circuits VLSI, cette interaction algorithme<--->architecture (au sens large) apparaît de plus en plus importante (il s'agit là de l'un des sujets du GRECO traitement du signal). C'est pourquoi nous souhaitons garder par la suite le même type d'approche.

Transformées multidimensionnelles

Une évolution naturelle des travaux précédemment décrits est l'étude des transformées multi-dimensionnelles. Nous avons déjà obtenu quelques résultats ponctuels, notamment :

- une simplification des calculs ligne-colonne [4231],
- l'application d'algorithmes classiques à des données à valeur réelle [4030].

Néanmoins, pour pouvoir progresser vers des algorithmes de calcul de TFR multi-dimensionnelles plus efficaces pratiquement, il semble nécessaire de pouvoir formuler de manière homogène ces trois classes d'algorithmes. En effet, des travaux récents semblent montrer que les algorithmes de

type "transformées polynomiales" ne permettaient pas de profiter pleinement de la réduction de complexité arithmétique qu'ils apportaient à cause de leur structure inhabituelle. Une meilleure compréhension permettrait certainement de trouver des algorithmes de type "vector-radix", ou du moins à structure régulière, permettant d'obtenir des complexités voisines de celles obtenues avec les Transformées Polynomiales. Si tel était le cas, ce seraient certainement de très bons candidats pour une implantation efficace.

Sur ce sujet, Cray-Research USA nous a proposé de collaborer à un projet de recherche commun avec différents organismes américains, en vue de leur fournir l'algorithme le plus rapide possible sur machine vectorielle et/ou parallèle. Les problèmes de simulation de phénomènes physiques, qui s'effectuent de plus en plus dans le domaine transformé, requièrent en effet une charge de calcul énorme.

L'application des transformées polynomiales au calcul des transformées en cosinus discrètes devrait également permettre de réduire leur charge de calcul.

Filtrage rapide

D'autre part, nous avons pu montrer que les algorithmes de filtrage rapide que nous avons proposés, peuvent décrire de façon homogène tous les algorithmes connus de filtrage non-récurrents rapides, du calcul direct au calcul par FFT, tout en permettant d'obtenir un certain nombre d'intermédiaires nouveaux [4242]. Ceci ouvre un certain nombre de possibilités étonnantes: par exemple, il est possible de réduire la charge de calcul des implantations de filtre par TFR dans tous les cas de figure.

Ce type d'approche devrait également permettre l'obtention d'algorithmes de filtrage adaptatif à complexité de calcul réduite, sans perturber gravement la structure régulière des algorithmes initiaux. Des indices sérieux semblent montrer d'autre part que la vitesse de convergence des algorithmes ainsi obtenus devrait être sensiblement améliorée par rapport aux algorithmes habituels. Des premiers résultats très positifs ont été obtenus.

Autres développements possibles

Enfin, le résultat que nous venons d'obtenir sur les algorithmes rapides de filtrage semble montrer que quelques-unes des techniques étudiées pour les transformées rapides avaient une application plus générale, et qu'algorithme rapide n'est pas synonyme de structure complexe (ils gardent une grande partie de la structure initiale).

Nous avons commencé à regarder le cas de la résolution de systèmes linéaires faisant intervenir une matrice à structure Toeplitz (application directe à l'analyse spectrale), problème pour lequel nous commençons à avoir des résultats: bornes de complexité, algorithmes utilisables en complexité de l'ordre de $N (\log_2 N)^2$, résultats qui seront prochainement publiés [4252].

5.5.2 Analyse spectrale haute résolution et traitement d'antennes

La comparaison des différentes méthodes va être poursuivie tant du point de vue théorique que de celui de l'étude de ces performances. Comme cela a été mis en évidence par l'expérience, il est nécessaire de trouver des méthodes plus robustes qui permettent l'identification avec des hypothèses moins restrictives (bruit coloré par exemple). La recherche des algorithmes rapides qui permettent la décomposition en valeurs singulières de la matrice de covariance demeure également un point de recherche important.

En ce qui concerne les données relatives aux faisceaux hertziens, d'autres méthodes seront essayées à partir de méthodes existantes ou variantes élaborées. En particulier, nos données sont suréchantillonnées, et cette particularité n'a pas encore été prise en compte dans nos traitements. Enfin, une extension possible du sujet serait de passer du problème de l'imagerie en traitement d'antennes en présence de trajets multiples à celui de la réception d'un signal porteur d'information (porteuse modulée) reçu dans les mêmes conditions.

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 la *table 6.1* les principales expériences sur la période 1985-1988),

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

<u>1 - En Propagation</u>		
1985 à 1988	PACEM 2	en Beauce (Bouffry-Viabon)
mai-juin 1986	PACEM 3	Landes
1987-1988	Mobiles	dans Paris
1988	35 GHz	Montparnasse - Saint-Maur
<u>2 - En Radar Météorologie</u>		
oct. 1987 - janv. 1988	FRONTS 87	Bretagne
1985 - 1988	PROUST	Saint-Santin
<u>3 - Sodars</u>		
mai-juin 1986	MOBILHY	Landes
nov. 1986 et mai 1987	Expérience à la demande de l'EDF	Villeau et Garchy
oct. 1987 - janv. 1988	FRONTS 87	Bretagne
fév. - mars 1988	Brouillard (à la demande du LA)	Lille
sept. 1988	AMI2 (à la demande de l'Institut St-Louis)	Dreux
automne 1988	LIDAR (à la demande du Service d'Aéronomie)	Magny-les-Hameaux
hiver 1988	Brouillard (à la demande du LA)	Lille
<u>4 - Sondeur à Diffusion incohérente (Saint-Santin - Nançay)</u>		
arrêt début 1987 après 22 ans de fonctionnement		
<u>5 - Télédétection avec le radar aéroporté ERASME dans ses différentes versions</u>		
1985	TOSCANE 1	au large de la Bretagne
nov. 1985 - mai 1986	ORGEVAL	près de Coulommiers
automne 1986	AMAZONE	Guyane
fév. - avril 1987	NAIZIN	région de Rennes
automne 1987	TOSCANE 2	au large de la Bretagne
juin - juillet 1988	AGRISCATT 2	vois au-dessus de l'Europe
<u>6 - Satellites</u>		
VIKING	tir le 22-02-86	
GIOTTO	tir le 02-07-85	

Tableau 6.1 - Expériences au cours de la période 1985-1988

Pour ce deuxième volet, le CRPE a acquis des compétences dans trois grands domaines :

- les techniques radars (électromagnétiques ou acoustiques),
- les techniques de mesures sur des liaisons hertziennes,
- les techniques spatiales,

en s'appuyant sur des domaines de l'électronique aussi divers que les hyperfréquences, la vidéo, les très basses fréquences, les techniques de comptages, les systèmes numériques, les processeurs spécialisés, etc.

Dans ce chapitre nous décrivons les principales réalisations, brevets ou industrialisation effectués au cours de ces quatre dernières années.

6.1 RADARS ET INSTRUMENTS ASSOCIES

Depuis de nombreuses années, les équipes techniques du CRPE utilisent les techniques radars dans des applications très diverses :

- sondeur à diffusion incohérente en VHF (1965-1987)
- radars météorologiques RONSARD (bande C) depuis 1973
- radar de télédétection ERASME (bande C depuis 1982 et bande C et X depuis 1988)
- radars strato-troposphériques (ST) UHF depuis 1983
- "radars acoustiques" ou sodars utilisant la propagation du son depuis 1974.

Elles participent actuellement à la définition du radar embarqué sur avion ASTERIX, du radar à vague RESSAC et du projet satellitaire BEST.

Les principales activités techniques effectuées ces quatre dernières années dans ce domaine concernent :

- les radars ST UHF (PROUST et INSU-Météo)
- les radars d'observation de la Terre
- les études plus spécifiques sur la qualité des oscillateurs hyperfréquence
- l'utilisation de processeurs spécialisés pour améliorer la qualité du traitement du signal
- les systèmes de visualisation en temps réel.

6.1.1 Radars strato-troposphériques (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 spatiale
- la partie UHF du projet de radar ST commun à l'INSU et à la Météorologie Nationale.

Chacun de ces radars étant du type monostatique, l'ensemble émission-réception comprend selon le schéma classique (figure 6.1) :

- une chaîne d'émission
- une chaîne de réception
- un module d'interface avec l'antenne
- une centrale de fréquence (comprenant les différents oscillateurs locaux qui seront décrits au paragraphe 6.1.2)
- une antenne (ou plusieurs antennes visant dans des directions fixes)

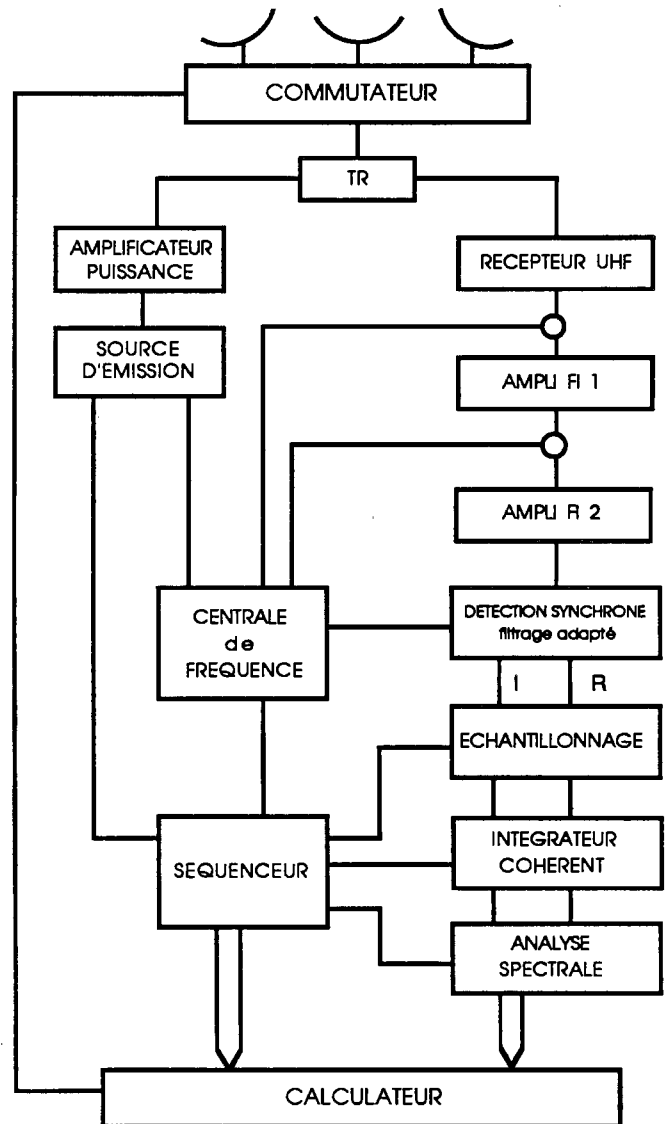


Figure 6.1. Schéma synoptique d'un radar ST

Rappelons simplement l'existence des autres parties du radar : le séquenceur, le module d'échantillonnage, l'intégrateur cohérent, l'analyseur spectral et le calculateur (gestionnaire de l'ensemble) qui pour le radar PROUST ont été réalisés avec la collaboration de l'INSU et pour le radar ST INSU/METEO avec l'INSU et le CNRM.

La chaîne d'émission

Elle est composée de deux parties. Dans la première partie est créé le signal UHF (935 MHz pour PROUST et 961 MHz pour INSU/METEO) modulé en impulsion et éventuellement en phase (lors de l'utilisation du codage en phase pour améliorer la résolution spatiale). Dans la deuxième partie, un amplificateur de puissance permet d'atteindre une puissance crête de 4 kW. La technique utilisée permet d'obtenir une excellente profondeur de modulation (> 120 dB).

La chaîne de réception

Le récepteur est du type superhétérodyne à double changement de fréquence. Le préamplificateur d'entrée a un facteur de bruit de 0,9dB et un temps de recouvrement de quelques centaines de ns. Cette dernière caractéristique est particulièrement importante lorsqu'on veut diminuer la zone aveugle du radar. Le gain de l'ensemble du récepteur est d'environ 110 dB.

Le module d'interface avec l'antenne

Il comprend le duplexeur (circulateur et limiteur), le système de contrôle de la puissance incidente et de la puissance réfléchie et les différents relais commandant la commutation des antennes et celle de la charge de 50 Ohms (pour la séquence d'étalonnage).

L'antenne

Les antennes utilisées pour les 2 radars sont des paraboles (11 mètres de diamètre pour PROUST et 4,6 mètres pour INSU/METEO). L'antenne de 11 mètres est entourée d'un grillage qui atténue d'environ 50 dB les échos de sol ; cette caractéristique est très importante car en visée verticale, les échos atmosphériques sont très faibles et souvent noyés dans le "clutter" des échos de sol.

Le radar INSU/METEO qui doit fournir le profil tridimensionnel du vent utilise trois antennes : la première verticale, la seconde inclinée à 15 degrés du zénith dans la direction N-S et la dernière inclinée à 15 degrés du zénith dans la direction E-O. Les gains de ces antennes sont respectivement 37 dB et 31 dB (figure 6.2).

6.1.2 Les radars d'observation de la terre (ERASME)

Le diffusomètre ERASME est un système réalisé au laboratoire dans sa première version en 1982. C'est un radar aéroporté dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

- fréquence centrale 5,35 GHz (bande C)
- émission en onde entretenue avec balayage linéaire en fréquence sur 220 MHz (radars "FM-CW") à faible puissance (15 mW)
- système d'antenne double

- . cornet d'émission (lobe à - 3 dB de 13°)
- . antenne de réception en réseau de dipôles imprimés (-2° à 9°)
- chaîne de réception à changement de fréquence et gain élevé (~100 dB)
- système d'étalonnage interne par ligne à retard à ondes acoustiques de surface
- analyse du signal par transformée de Fourier (512 points réels).

Au cours de ces dernières années plusieurs modifications successives ont été faites en fonction des différentes mesures à réaliser :

- adjonction d'un amplificateur de puissance (5 W) permettant d'effectuer des mesures à plus haute altitude et adaptation notamment sur l'avion B17 de l'IGN (figure 6.3).

- transformation du radar en système double fréquence (5,35 GHz, 9,65 GHz). Le radar fonctionnant successivement sur ces 2 fréquences, le système de base est le radar bande C sur lequel ont été rapportés un oscillateur local à la différence 9,65 - 5,35 GHz, un mélangeur élévateur à l'émission et abaisseur à la réception, des systèmes de commutation et des préamplificateurs faible bruit spécifique.

- transformation du radar en double fréquence et double polarisation. Un nouveau système d'antenne réseau à source double polarisation a été étudié par l'Université de Rennes. 4 antennes ont été réalisées émission bande C et bande X et réception bande C et bande X.

Le radar ERASME fonctionne actuellement dans cette dernière configuration.

6.1.3 Les études sur oscillateurs

La plupart des systèmes radar Doppler nécessitent des ensembles d'oscillateurs locaux dont les performances dépendent des mesures que l'on cherche à obtenir. Deux études spécifiques sont à distinguer :

- un système à très haute résolution spectrale pour les radars ST
- un système à grande linéarité pour le radar ERASME fonctionnant en onde entretenue à balayage de fréquence linéaire sur 250 MHz (radar FM-CW).

Les oscillateurs à haute qualité spectrale

Dans un radar Doppler, la sensibilité de la mesure Doppler dépend au premier ordre de la pureté spectrale des oscillateurs. Les instabilités des oscillateurs élargissent le spectre autour de la fréquence zéro (spectre émis). Ce spectre se retrouve à la réception dans les portes où existent des échos de sol ; en général, le "clutter" dû à l'environnement (arbres feuillus, mer, ...) augmente la largeur de ce spectre "parasite".

Dans le cas des radars ST, il y a 3 oscillateurs. Un oscillateur UHF pour la chaîne d'émission, deux oscillateurs (un UHF et un VHF) pour la chaîne de réception.

Le radar devant être entièrement cohérent, chaque oscillateur (ou source de fréquence) est synchrone d'un même pilote de référence (5 MHz). Le synchronisme est obtenu soit par multiplication de fréquence du pilote (radar PROUST), soit par asservissement en phase d'un oscillateur sur le pilote (radar INSU/METEO) : boucle simple pour des rapports de multiplication inférieurs à 100, boucle multiple pour des rapports de multiplication nettement supérieurs à 100.

Le pilote 5 MHz servant de référence est un oscillateur à quartz (BVA) dont la stabilité à court terme (entre 10 ms et 1 seconde) est de $5 \cdot 10^{-13}$. La source de fréquence VHF est un oscillateur à quartz ; les sources de fréquence UHF sont des oscillateurs à ondes de surface.

Linéarisation de la source du radar ERASME

Le choix d'un oscillateur hyperfréquence constituant la source émettrice d'un radar en onde entretenue et à balayage linéaire en fréquence (radar FM-CW) est lié au principe de fonctionnement de ce type de radar.

Cette source doit présenter les caractéristiques suivantes :

- Excellente linéarité de la caractéristique fréquence/tension : $< \pm 5 \cdot 10^{-4}$
- Faible bruit de phase
- Bonne agilité (balayage de 250 MHz en 3 ms pour le radar ERASME)

Une première version a été réalisée à l'aide d'un oscillateur à YIG ayant une très bonne linéarité ($\pm 5 \cdot 10^{-4}$) mais un bruit de phase trop important et une trop grande sensibilité à la commande en tension. Une deuxième version (diode varicap) présentait un bruit de phase acceptable et une faible sensibilité à la commande en tension, mais une linéarité mauvaise ($\pm 4 \cdot 10^{-2}$ sur 250 MHz). Il a donc fallu étudier et réaliser un dispositif de linéarisation de la caractéristique fréquence/tension de cet oscillateur par une méthode de compensation numérique.

6.1.4 Les systèmes de traitement temps réel

Pour permettre d'évaluer soit les vitesses d'écoulement des cibles (radars météorologiques, sodars) soit le décalage en distance (cas du radar FM-CW ERASME), la méthode utilisée passe par l'analyse par transformée de Fourier du signal rétrodiffusé.

Le processus est toujours le même :

- conversion analogique numérique du signal
- filtrage numérique (décodage, fenêtre d'apodisation, etc.)
- calcul de la transformée de Fourier
- extraction des paramètres principaux du spectre obtenu.

Depuis le début des années 80 sont apparus sur le marché des composants, des processeurs spécialisés permettant de réaliser les calculs numériques spécifiques (filtrages, FFT, extraction de paramètre) de manière beaucoup plus intégrée et surtout plus rapide et avec plus de précision.

On a utilisé ces méthodes sur les systèmes radars du laboratoire :

- sodar et minisodar
- radar PROUST et INSU METEO
- radars RONSARD
- radar ERASME

Nous décrivons rapidement à titre d'exemple les deux dernières réalisations qui, compte tenu de la rapidité demandée pour les calculs, ont nécessité les études les plus complexes.

Nouveau système de traitement du radar RONSARD

Pour le cas des radars RONSARD, le traitement du signal se fait en temps réel sur des séries temporelles de 64 points complexes dans 64 portes de distance avec un temps de base de 22 msec. En sortie on doit obtenir pour les 64 portes, les 3 moments du spectre (puissance, fréquence moyenne et écart type en fréquence).

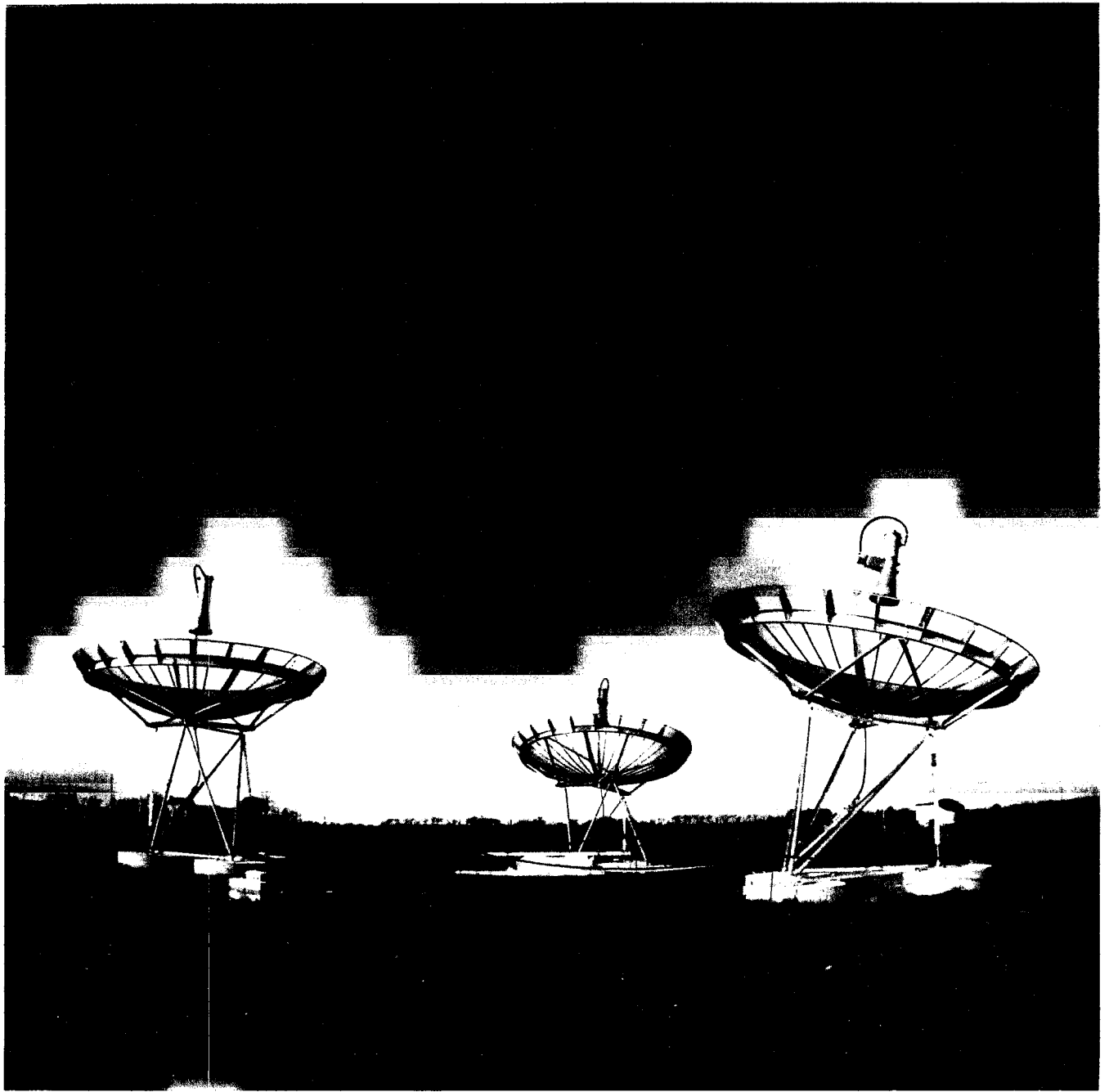
La modification des processeurs existant dans les radars a été effectuée en deux temps : tout d'abord le calculateur de transformée de Fourier (86-87) puis le post-processeur (en cours).

- *Le calculateur de Transformée de Fourier (CTF)*. Ce processeur s'articule autour de modules de calcul à base de TMS 32010 (15 MHz d'horloge) travaillant en parallèle sur un algorithme dit "Split radix FFT" dû à P. DUHAMEL (cf. chapitre 1.4.2). Il se compose de 6 cartes : entrée, mémoire, calcul (2), sortie, gestion. Il permet d'effectuer un traitement complet en 19 ms (i.e. 64 transformées de Fourier de 64 points complexes). Cet ensemble a fonctionné correctement lors de la campagne FRONTS-87 en Bretagne de septembre 1987 à février 1988.

- *Post Processeur de moments*. Afin de diminuer le nombre de composants et d'améliorer la précision, le post processeur a également été complètement refondu. A partir des 64 raies spectrales de chacune des 64 portes, ce post-processeur calcule les 3 premiers moments $M_0 = \hat{A} E_{K_i}$, $M_1 = \hat{A} i E_{K_i}$, $M_2 = \hat{A} i^2 E_{K_i}$ ($E_{K_i} = R^2 + I^2$, raies spectrales) i variant de -31 à +32, image de la fréquence Doppler. Les calculs sont effectués par un microprocesseur TMS 32025 (30 MHz d'horloge).

Refonte du système de traitement du radar ERASME

Dans le but de limiter l'encombrement, on a été amené à remplacer un analyseur de spectre du commerce par un système entièrement défini et réalisé au laboratoire. Un



*Figure 6.2. Photographie des antennes UHF du prototype de radar ST.
Une antenne verticale et deux antennes inclinées dans des plans orthogonaux et à 15° du zénith.*



Figure 6.3. Montage du radar ERASME à bord de l'avion B17 de l'IGN

signal analogique passant dans un filtre anti-repliement, échantillonné à une fréquence de 256 ou 512 kHz et converti en 12 bits, est traité par transformée de Fourier pour délivrer un spectre qui est visualisé en permanence (visualisation linéaire ou logarithmique) sur un moniteur X-Y, puis transféré vers un ordinateur de type LSI pour effectuer les enregistrements. Le traitement numérique est effectué par un ensemble de cartes utilisant des processeurs de signaux Texas-Instrument. Le signal numérisé est prétraité (fenêtre d'apodisation) par une carte utilisant un TMS 320C10 (30 MHz, 16 bits), puis aiguillé vers 5 cartes de calcul identiques (pouvant travailler sur des séries temporelles de 512, 256, 128, 64 points) équipées des TMS320C25 (40 MHz, 16 bits). Chaque carte demande 10 ms pour calculer 1 FFT (exemple pris pour 512 points). En installant 5 cartes en parallèle, le système délivre 5 spectres en 15 ms, soit un spectre tous les 3 ms (cas de l'expérience ERASME). Le spectre obtenu est ensuite intégré par une carte équipée d'un TMS320C10 (le choix va de 1 à 128 intégrations).

Visualisation couleur en temps réel

En vue de pouvoir rapidement qualifier les données lors des campagnes de mesures, un système de visualisation couleur en temps réel a été développé au laboratoire pour les radars RONSARD. Il est construit autour d'un micro-processeur LS1 11-23. Il remplit deux fonctions principales :

- acquisition et traitement des données. Les données statiques (paramètres sur le mode de fonctionnement du radar et sur le mode de visualisation voulu) et les données dynamiques (mesures de réflectivité et de vitesse) sont arrangées et traitées pour préparer la visualisation.

- construction simultanée de deux images, réflectivité et vitesse radiale Doppler, dans deux plans de 512 x 384 pixels et 4 bits de profondeur chacun (16 couleurs par plan), avec affichage au choix de l'un de ces plans, selon l'un des schémas connus des radaristes : exploration en azimut à site fixe (PPI), exploration en site à azimut fixe (RHI) et observation à azimut et site fixes (tri fixe).

Dans le cas de la représentation PPI, la dilatation radiale et la discrétisation de la rotation de l'antenne conduisent à effectuer des interpolations radiales et angulaires si l'on veut assurer l'homogénéisation de la représentativité des pixels de l'écran. Ces deux opérations d'interpolation sont effectuées simultanément pour la réflectivité et la vitesse Doppler dans les deux plans images.

Cet équipement fonctionne dans deux modes : local (les paramètres sont entrés en manuel) ou programmé à partir de l'ordinateur principal du radar. Le matériel utilisé pour cette visualisation est constitué d'un moniteur couleur 19 pouces avec écran antireflet et de 4 cartes MATROX assurant la gestion des images. Un développement du même type sera effectué pour le radar PROUST.

6.2 LIAISONS HERTZIENNES ET INSTRUMENTS ASSOCIES

Afin d'établir les statistiques nécessaires au calcul des futurs systèmes de télécommunications qui pourraient être construits à des fréquences supérieures à 20 GHz, deux liaisons expérimentales (à 35 GHz et à 94 GHz) ont été établies en région parisienne pour permettre de mettre en évidence l'influence des hydrométéores (pluie, grêle, neige) sur la propagation des ondes millimétriques.

6.2.1 Liaison 35 GHz

La liaison expérimentale à 35 GHz (figure 6.4) est une liaison hertzienne à 2 polarisations rectilignes (Horizontale et Verticale). Les 2 émetteurs sont situés au 57^{ème} étage de la tour Maine-Montparnasse et les 2 récepteurs sur le toit de la tour de l'Observatoire du Parc de Saint-Maur. Les signaux hyperfréquences sont du type continu (sans modulation) et à des fréquences différentes pour chaque polarisation (voir table 6.2). A la réception, les amplitudes des signaux des liaisons copolaires et contrapolaires sont détectées (4 niveaux en tout).

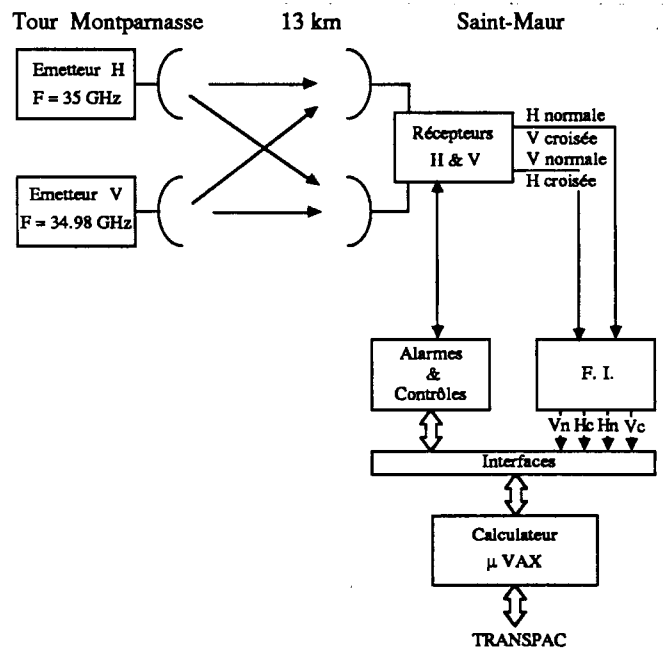


Figure 6.4. Liaison expérimentale 35 GHz Montparnasse - Saint-Maur

Emetteurs	Récepteurs	Signaux reçus	
		Réc. H	Réc. V
H (35000 MHz)		HN (70 MHz)	HC (70 MHz)
	OL (34930 MHz)		
V (34980 MHz)		VC (50 MHz)	VN (50 MHz)

Table 6.2 : Plans de fréquences

Les équipements hyperfréquences sont pressurisés (émetteurs, récepteurs, guides d'ondes) les composants étant placés dans des coffrets hermétiques : un coffret pour l'émetteur H, un pour l'émetteur V et un pour les deux récepteurs.

Un système de Mise Hors Gouttes permet d'éviter la présence d'eau sur les cornets. A ces fréquences, la présence de gouttes d'eau sur les antennes modifie en effet le gain de l'antenne et risque donc de fausser les mesures. Ce système consiste à projeter de l'air sous pression qui balaye les membranes des cornets et chasse tout corps qui pourrait s'y trouver. Pour éviter le phénomène de la rosée, les cornets sont chauffés et maintenus à une température supérieure à la température extérieure, en tenant compte également du taux d'humidité relative. Le site de Montparnasse n'est équipé que du système de chauffage tandis que le site de Saint-Maur est équipé du système complet (chauffage et soufflage) car ce site est beaucoup plus exposé.

En bout de chaîne le système de détection transforme les signaux issus des récepteurs en valeurs stockables par un ordinateur. Il comprend deux parties :

- Un système fréquence intermédiaire à 4 voies qui effectue un prétraitement (séparation, filtrage, transposition des différents signaux en signal vidéo proche de tensions continues).

- Un système de conversion et traitement numérique, utilisant un ordinateur qui à terme sera commun avec l'expérience 94 GHz.

A partir des caractéristiques données par les constructeurs des différents éléments composant la liaison, un bilan de liaison théorique a pu être établi comme suit.

	Pertes/Gains (dB)	Puissance (dBm)
Puissance source		21
Doubleur émission	-4.5	16.5
Guides émission	-1.5	15
Antenne émission	46	61
Affaiblissement temps clair	-145.5	-84.5
Antenne réception	46	-38.5
Guides réception (RV)	-1.5	-40
Mélangeur et ampli F.I.	31	-9

Les puissances mesurées lors de la recette de cette liaison ont été très proches de ces résultats théoriques (-11 dBm sur les 2 voies).

L'ensemble de cette expérience a été réalisée et intégrée au laboratoire. Cette liaison fonctionne en permanence depuis juillet 1988 dans une version provisoire (FI large bande, ordinateur autonome).

6.2.2 Liaison 94 GHz

Le but de cette expérience est l'étude de la propagation en ondes millimétriques et en particulier des effets de la pluie : affaiblissement, diffusion latérale et élargissement spectral.

La première étape pour atteindre ces objectifs a été l'établissement d'une liaison expérimentale à 94 GHz à antennes tournantes permettant :

- la mesure d'amplitude en trajet direct,
- la mesure d'amplitude en trajet diffusé.

Le système permettra, dans une seconde étape, la mesure de la phase.

Cette liaison expérimentale est constituée d'un émetteur situé sur le château d'eau de Saint-Maur et, à 300 m de distance, d'un récepteur situé sur la tour de l'Observatoire de Saint-Maur. Ces deux ensembles munis de leurs antennes sont mobiles dans un plan contenant les directions de propagation (directes et diffusées). Ces ensembles tournent de façon synchrone : l'angle entre la direction du lobe principal et la direction de propagation ER est $\theta/2$ et par suite l'angle correspondant à la diffusion latérale est θ (figure 6.5). Les

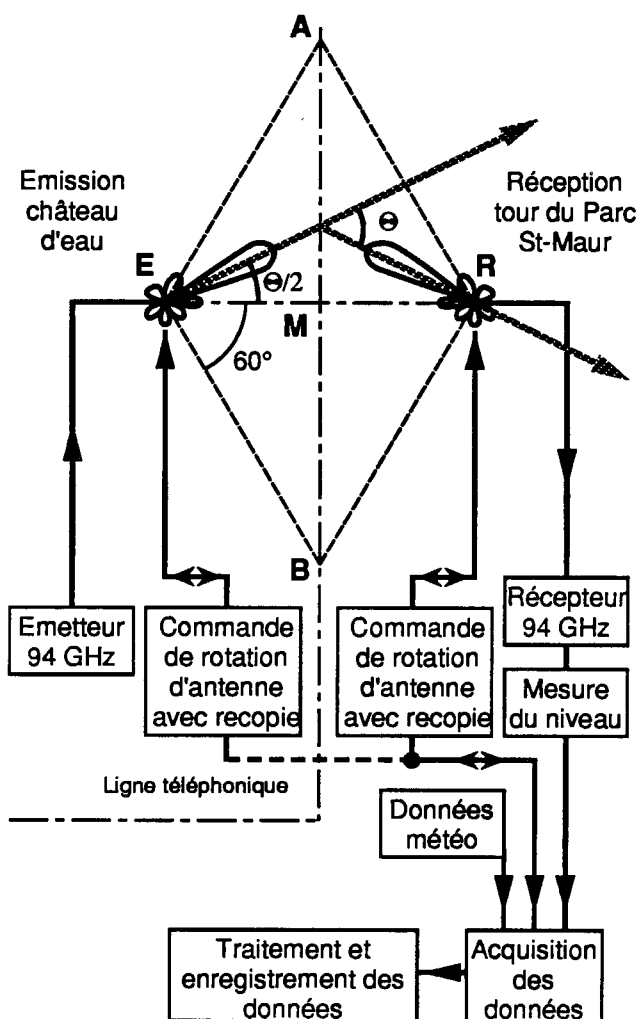


Figure 6.5. Schéma synoptique de l'expérience 94 GHz

valeurs extrêmes de θ sont $\pm 60^\circ$ ce qui permet de tenir compte des dissymétries éventuelles dues à la direction des gouttes de pluie, des lobes secondaires des antennes et de l'environnement. En raison de l'existence de lobes secondaires le récepteur peut détecter des ondes se propageant suivant le trajet direct ; la dynamique de mesure en diffusion latérale est donc $\leq 2 L_s$ où L_s est le niveau en dB des lobes secondaires.

Les équipes techniques du laboratoire ont réalisé l'ensemble des têtes hyperfréquences (recette de composants, intégration) et le système de contrôle de mouvements d'antennes et d'acquisition des signaux à l'aide d'un calculateur basé sur le site de réception. Cette expérience est en cours de recette générale.

6.2.3 Liaison avec les mobiles

Pour étudier le canal de propagation en milieu urbain qui peut être modélisé par un filtre linéaire, une expérimentation a été mise au point pour mesurer dans les domaines fréquentiel et temporel les caractéristiques du filtre dans une bande de fréquences de largeur 20 MHz autour de 900 MHz. A l'origine de l'étude, le dispositif expérimental avait été défini uniquement pour la mesure de la fonction de transfert du canal, par la mise en oeuvre d'un analyseur de liaisons micro-ondes (MLA) assurant la mesure de deux paramètres, l'amplitude et le temps de propagation de groupe (TPG) dans une bande de 20 MHz. Cette expérimentation a été opérationnelle au printemps 1986 où une campagne de mesures en points fixes a eu lieu dans Paris.

Le deuxième volet de l'étude, dans le domaine temporel, a été décidé fin 1985 en collaboration avec le CEPHAG (Centre d'Etude des Phénomènes Aléatoires et Géophysiques). Dans cette expérimentation, l'émetteur transmet des séquences pseudo-aléatoires bouclées sur elles mêmes et la réponse impulsionnelle est obtenue par un calcul de corrélation entre le signal reçu et le code émis. Ce dispositif expérimental, qui utilise l'infrastructure existante et des éléments communs aux deux expérimentations, a permis d'effectuer des premières mesures au début de l'année 1987.

Le dispositif expérimental dans sa version bi-fonctionnelle, représenté par un synoptique (*figure 6.6*), est constitué d'une station fixe d'émission et d'une station mobile de réception et d'acquisition des données.

L'ensemble d'émission, installé dans un local climatisé sur une terrasse du central téléphonique ARCHIVES à Paris, est composé de trois sous ensembles :

- un générateur MLA qui délivre un signal modulé en fréquence dans la bande 880-900 MHz, utilisé pour la mesure de la fonction de transfert du canal radioélectrique,

- un générateur MDP (Modulation par sauts de Phase) qui délivre une porteuse à 890 MHz modulée en phase par un code pseudo-aléatoire, utilisé à la réception pour reconstituer la réponse impulsionnelle du canal,

- une chaîne d'amplification à large bande connectée à une antenne omnidirectionnelle dans le plan horizontal, de gain 10 dBi, située à 42 m au-dessus du sol. La PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) ainsi obtenue est de 49.6 dBm pour chacun des deux types d'émission.

A l'entrée de la chaîne d'amplification, un système de commutation permet de sélectionner séquentiellement l'émission MLA et quatre émissions MDP ayant des longueurs de code différentes. La commutation se fait manuellement sur le site ou par voie téléphonique notamment à partir du radio-téléphone installé dans le camion laboratoire.

L'ensemble de réception installé dans le camion laboratoire est constitué de quatre sous-ensembles :

- une antenne de réception omnidirectionnelle de gain 3 dBi, placée sur le toit du véhicule à 2,6 m au-dessus du sol, associée à une chaîne de filtrage, de préamplification et de transposition en fréquence intermédiaire dans la bande 130-150 MHz,

- un ensemble récepteur MLA qui délivre sous forme analogique les informations d'amplitude et de temps de propagation de groupe,

- un ensemble de démodulation des signaux MDP et de numérisation à cadence rapide,

- un calculateur de bord LSI qui gère l'acquisition des données de l'une ou l'autre des expérimentations et les stocke sur des bandes magnétiques.

Dans le camion laboratoire, la commutation de la réception en mode MLA ou MDP se fait manuellement par des changements de connexions, notamment au niveau des signaux reçus en fréquence intermédiaire (140 MHz), et par le changement de la disquette du calculateur qui contient le logiciel d'acquisition.

6.2.4 OLYMPUS

L'expérience OLYMPUS concerne 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 au programme. 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 principale et transportable seront basées respectivement à et autour de Gometz-La-Ville. Le CRPE a pris la responsabilité de la station de réception transportable.

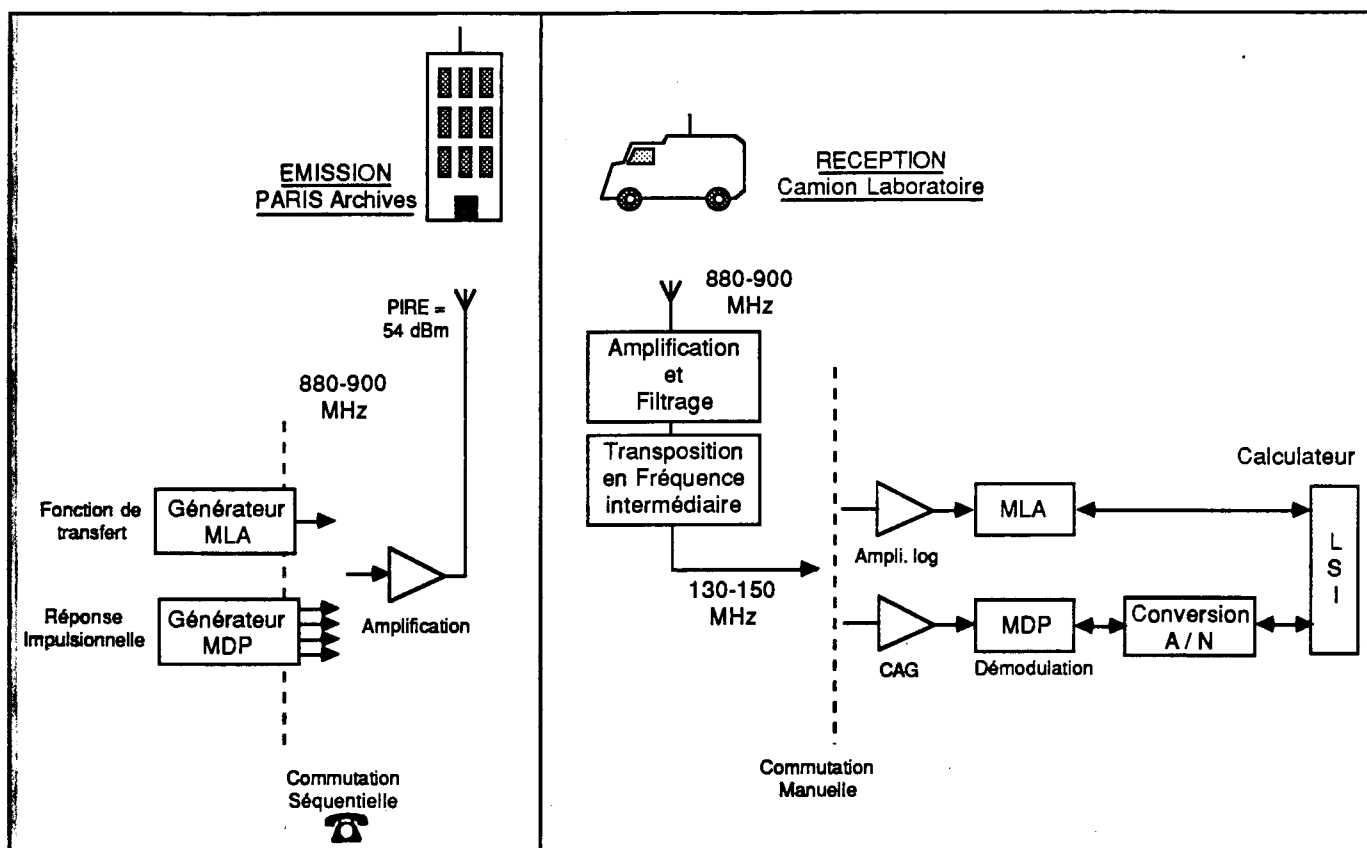


Figure 6.6. Synoptique de l'expérience de liaisons avec des mobiles

Module d'étalonnage d'une station de réception de satellite

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 précision 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, fait l'objet d'une étude depuis mai 1988. L'objectif de stabilité de 0,1 dB sur 6 mois en ambiance extérieure a entraîné en particulier l'emploi de techniques de refroidissement thermoélectriques à effet Peltier à haute puissance (300 W) pour stabiliser l'électronique à $\pm 1^\circ\text{C}$. 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 compensé et régulé.

Le module simulant les caractéristiques de la balise émettrice du satellite OLYMPUS permettra la recette de la

station de réception puis sera incorporé pour permettre les étalonnages quotidiens courant 1989.

Aspects acquisition et prétraitement

Le système d'acquisition de chaque station est fondé sur un ordinateur MicroVAX II. Les logiciels développés sur ces ordinateurs et le matériel périphérique assurent les principales fonctions suivantes :

- l'acquisition,
- la communication,
- l'interfaçage avec les équipements de mesure
- la surveillance de l'état de ces équipements.

En fonction de leurs types, les grandeurs mesurées peuvent être réparties en cinq classes :

- les grandeurs de propagation,
- les grandeurs radiométriques,
- les grandeurs météorologiques,
- les grandeurs de pointage d'antenne,
- les grandeurs de status (d'état).

Afin de fiabiliser les liaisons entre les MicroVAXs et les équipements de mesure un protocole de communication asynchrone "orienté caractère" a été mis au point, ses principales caractéristiques étant les suivantes :

- la sécurisation de la transmission de données par l'utilisation d'une procédure "Envoyer et Attendre" (Send and Wait),

- la détection des erreurs par une parité croisée transversale et longitudinale,

- la correction des erreurs par une procédure de reprise, fondée sur les acquittements, à la numérotation des messages et au temporisateur (chien de garde).

Les grandeurs enregistrées en temps réel au niveau de chaque station (environ 10 Moctet/jour) sont d'abord stockées sur des supports magnétiques locaux puis sont expédiées journellement vers le site d'Issy-Les-Moulineaux via le réseau Transcom à 64 kbit/s. Une autre liaison par modem via le Réseau Téléphonique Commuté est prévue avec chacune des deux stations, elle permettra la surveillance à distance de l'évolution de l'expérience, cette liaison est primordiale notamment pour la station transportable qui est conçue pour fonctionner en mode automatique (sans présence de personnel).

Arrivées au Centre de Calcul d'Issy-Les-Moulineaux, les données de mesure provenant des deux stations sont d'abord réorganisées en une structure unique puis étalonnées, corrigées et qualifiées. Ces différentes transformations appliquées aux données sont effectuées par des logiciels exécutés sur une station de travail (VAX-Station 3100) utilisant une interface Homme-Machine évoluée. Cette étape de prétraitement génère des données prêtes à l'exploitation et à l'analyse scientifiques, ces données seront organisées en Base de Données et archivées sur des Disques Optiques Numériques (DON).

La conception et la mise en oeuvre de ces dispositifs d'acquisition et de traitement ont été effectuées en étroite collaboration avec les ingénieurs de la Division PAB/ETR du CNET.

6.3 LES EXPERIENCES EMBARQUEES SUR SATELLITES

6.3.1 Radiomètre ATSR/M

Le radiomètre hyperfréquence ATSR/M sera embarqué sur le satellite ERS 1 de l'Agence Spatiale Européenne (lancement prévu fin 1990). 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. Il est réalisé sous la maîtrise d'oeuvre du CRPE. Trois sous-ensembles peuvent être distingués :

- La structure, l'antenne, les protections thermiques et le câblage (conçu et réalisé 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).

Le fonctionnement de l'instrument peut être résumé comme suit. Le signal reçu de la terre par l'antenne principale (diamètre 60 cm) est collecté par deux sources primaires centrées sur les fréquences 23,8 et 36,5 GHz. Les signaux sont alors orientés vers les deux radiomètres par l'intermédiaire de commutateurs permettant de substituer un signal d'étalonnage au signal d'antenne. Ce signal d'étalonnage provient soit d'une charge à température "ambiante" soit d'un cornet orienté vers le ciel fournissant une température de quelques degrés K. Les deux radiomètres sont identiques à l'exception de leur ensemble hyperfréquence, adaptés à chaque canal. Le signal reçu est comparé au signal provenant d'une charge de référence dont la température est mesurée. La température de la charge de référence étant connue, la température d'antenne est obtenue par différence. Ce système permet de s'affranchir de la température de bruit du récepteur. Par ailleurs, de nombreux capteurs de température répartis sur les récepteurs hyperfréquence permettront de déterminer leurs contributions en bruit, et de corriger la mesure. Situé avant le changement en fréquence effectuée par un mélangeur faible bruit double bande, un filtre RF permet de réduire les harmoniques dus aux expériences actives embarquées sur le même satellite.

Le modèle de vol de l'instrument (*figure 6.7*), qui a subi avec succès tous les tests de qualification, sera livré à l'ASE pour intégration sur le satellite en juin 1989.

6.3.2 Spectrométrie de masse : moyens sol et expériences embarquées

Dispositif d'étalonnage

Le dispositif que l'on a réalisé est destiné principalement à l'étalonnage de spectromètres à plasma embarqués sur satellites (*figure 6.8*). Cet équipement doit reproduire les conditions d'ambiance rencontrées en orbite : vide, température, ainsi que les caractéristiques du plasma thermique et faiblement suprathermique que l'on veut analyser. Il se compose d'une enceinte à vide d'un diamètre de 120 mm équipée d'un groupe de pompage et d'une source d'ions. Le vide de l'ordre de 10^{-8} torr est atteint grâce à l'association d'une pompe turbomoléculaire et d'une pompe cryogénique. La source d'ions du type "Colutron" permet de réaliser une simulation des flux d'ions rencontrés en orbite dont l'énergie peut varier de quelques eV à quelques keV. Un dispositif mécanique complexe permet l'orientation des détecteurs à l'intérieur de l'enceinte. L'installation qui est en voie d'achèvement doit recevoir durant le 1er trimestre 1989 un ensemble d'écrans thermiques qui permettra de réaliser un environnement thermique contrôlé entre -20°C et +50°C.

Depuis les premiers essais effectués en 1987, nous avons réalisé tous les tests de mise au point de l'optique de l'expérience INTERBOL. Durant les années 1989 et 1990 nous aurons à étalonner les modèles de vol de cette expérience. Cet ensemble d'étalonnage co-financé par le CNES et l'INSU devrait répondre aussi aux exigences des

expériences spatiales futures : CLUSTER, CGS, CRAF, MARS 94.

Expérience GIOTTO

Le CRPE a participé à la réalisation du spectromètre de masse embarqué sur la sonde GIOTTO pour l'analyse de la composition de l'atmosphère neutre et ionisée de la comète de HALLEY. Lancée par Ariane le 2 juillet 1985 depuis la base de Kourou, la sonde a croisé la comète à une distance de 600 km le 14 mars 1986. Le CRPE avait la responsabilité de la réalisation du système de détection de l'instrument. Les contraintes inhabituelles de cette mission (très grande vitesse d'approche : 246 000 km/h, variation considérable de la densité du milieu sur la trajectoire) imposaient des performances élevées : sensibilité voisine de 10^{-4} ion/cm³, dynamique instantanée supérieure à $2 \cdot 10^3$, dynamique globale de l'ordre de 10^{11} . L'instrument comportait deux analyseurs, l'un fournissant directement le spectre en masse entre 1 et 36 uma et l'autre le spectre en énergie dans une gamme s'étendant de 25 à 2 100 eV. La configuration des deux analyseurs permettait une mesure simultanée des spectres en masse et en énergie avec une résolution temporelle de 64 ms. L'élément de base des détecteurs est constitué d'une galette à microcanaux dont la surface sensible est de $25 \times 5 \text{ mm}^2$ associé à un circuit de 64 anodes de $0,4 \times 5 \text{ mm}^2$. Le plan focal du spectromètre de masse qui a une dimension de $100 \times 5 \text{ mm}^2$ est couvert par quatre éléments jointifs, de telle sorte que les zones mortes entre éléments soient inférieures à 200 μm . Le spectromètre en énergie utilise seulement deux éléments. Depuis son point de rendez-vous à 150 millions de km de la terre, l'instrument a fourni pendant plus de trois heures de données sur l'atmosphère cométaire. Les dernières mesures ont été effectuées à une distance de 750 km du noyau.

Expérience HYPERBOLOÏD (INTERBOL)

L'expérience Hyperboloïd sur le satellite auroral de la mission soviétique INTERBOL dont le lancement est prévu pour 1991 est conçue pour déterminer les caractéristiques essentielles de la population d'ions de basse énergie (≤ 100 eV) de la magnétosphère (densité, vitesse d'ensemble et température des ions H⁺, He⁺, O⁺, O⁺⁺). L'instrument explore toutes les directions d'arrivée c'est-à-dire les 4π stéradian de l'espace des vitesses et effectue pour chaque direction de mesure une analyse en énergie et en masse des ions incidents. Il se compose de 3 parties principales :

- l'optique électrostatique qui comprend les fenêtres d'entrée au nombre de (16 et 10 respectivement 2 plans perpendiculaires), les analyseurs en énergie et le concentrateur ionique,

- le secteur magnétique pour la sélection en masse,
- les détecteurs et l'électronique de commande et de traitement. Pour l'amplification des signaux on utilise des galettes à microcanaux comme sur le projet GIOTTO.

Les performances essentielles de cet instrument sont sa vitesse d'analyse ~ 1 sec., la détection simultanée des ions majoritaires H⁺, He⁺, O⁺ et O⁺⁺ et sa dynamique globale voisine de 10^{11} . Plusieurs modes de fonctionnement sont prévus ; balayage angulaire, analyse en énergie, poursuite du maximum de flux. La programmation de ceux-ci peut-être modifiée en vol par télécommande depuis la terre.

Le prototype de cet instrument sera livré à l'IKI en septembre 1989.

6.3.3 Mesure du champ magnétique terrestre : moyens au sol et expériences embarquées sur satellite

Les réalisations techniques entreprises au cours des années 1985-1988 par le laboratoire pour l'étude des ondes magnétiques d'origine naturelle, ont porté :

- sur la fabrication de récepteurs magnétiques destinés aux satellites GALILEO de la NASA et ULYSSES de l'ESA, et
- sur la réalisation de prototypes d'équipements électroniques qui visent à équiper les satellites de recherche magnétosphérique de la décennie INTERBOL, CLUSTER et MARS 94 sur lesquels notre laboratoire est impliqué, et les projets CRAF et CASSINI à l'horizon 2000.

Notre contribution aux sondes interplanétaires GALILEO et ULYSSES qui seront mises en orbite par la navette spatiale américaine en 1989 et 1990 a consisté en la fabrication de magnétomètres alternatifs à deux composantes couvrant la gamme des basses et moyennes fréquences. Ces réalisations ont été entreprises en association avec l'industrie spatiale française qui a apporté ses compétences en matière de procédés de fabrication. La collaboration industrielle et l'apport technologique de la NASA notamment, nous ont permis d'acquérir une compétence en matière de calculs des équilibres thermiques et de protections contre les radiations des équipements embarqués. Cette compétence a été mise à profit pour la définition de la charge utile ATSR/M du satellite ERS1.

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 réalisons 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 de bande passante différentes pour couvrir la bande de mesure intéressante d'un projet donné comme ce fut le cas des projets GEOS et GALILEO. Une étude a été entreprise pour rechercher les causes de limitation de la bande passante et définir les modifications à apporter aux capteurs pour accroître leur bande utile sans modifier leur sensibilité en

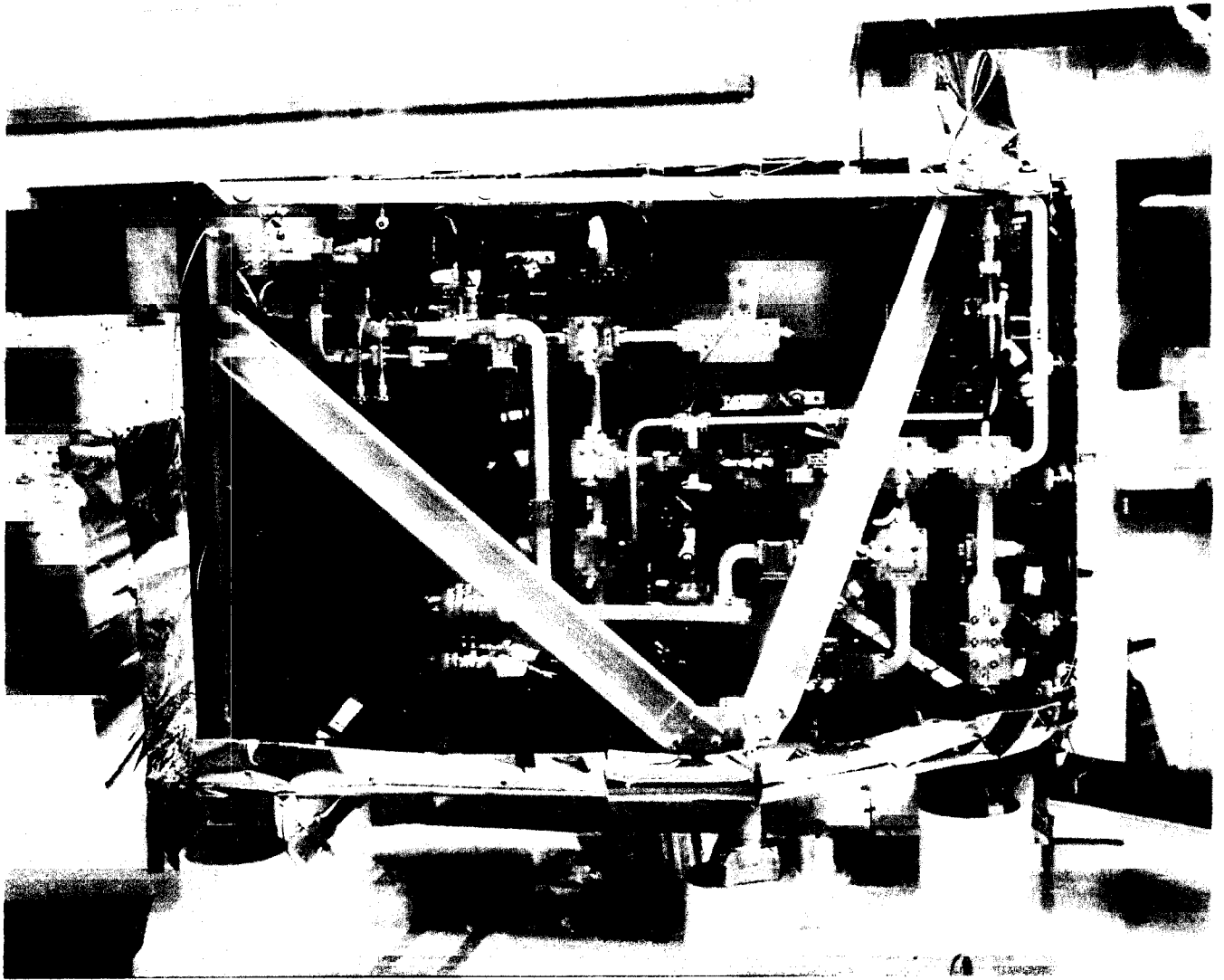


Figure 6.7. Modèle de vol de l'expérience ATSR-M. L'antenne, repliée derrière l'ensemble hyperfréquence, n'est pas visible sur le document. En haut à droite le cornet de ciel, protégé par sa couverture thermique.

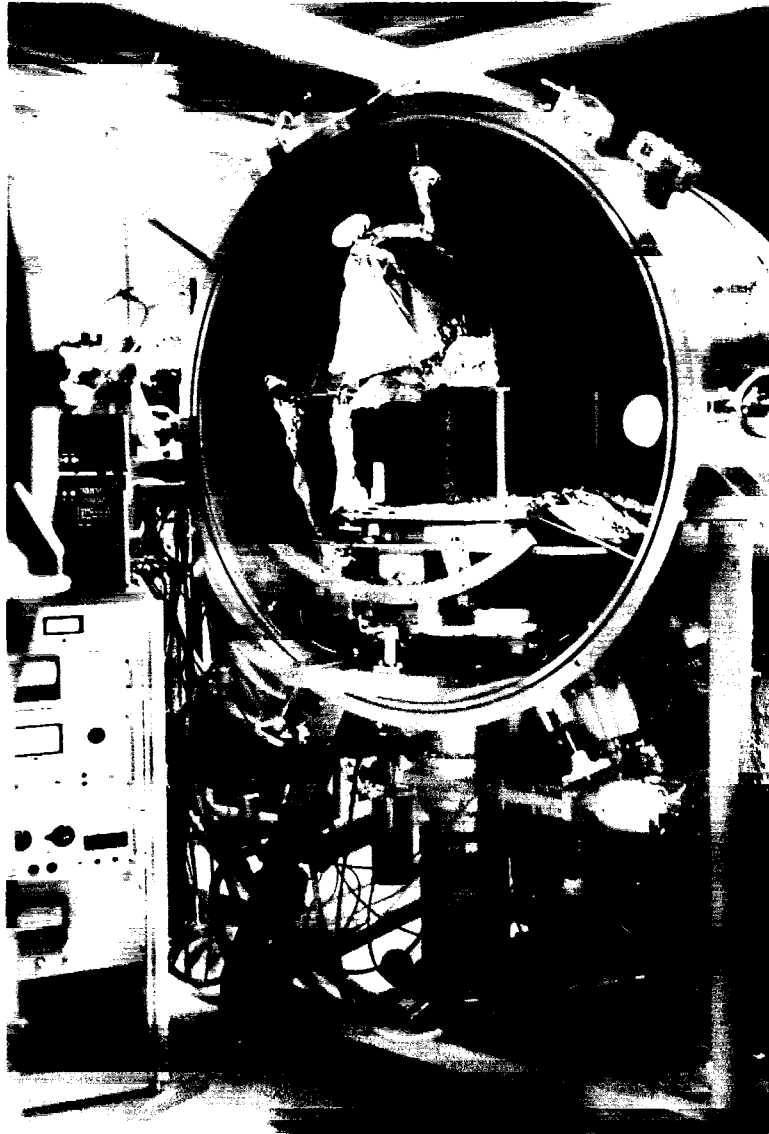


Figure 6.8. Caisson d'étalonnage de détecteurs de particules. On distingue les dispositifs mécaniques qui permettent de faire varier l'orientation de l'instrument par rapport au faisceau.

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,
- et celle des laboratoires associés au nôtre dans les projets spatiaux, qui analysent les composantes de haute fréquence des ondes électromagnétiques, naturelles ou artificielles.

L'étude a été menée en deux temps :

- l'analyse de l'origine des réponses parasites des antennes
- l'analyse de plusieurs techniques de bobinage des enroulements.

Ces travaux ont conduit à la réalisation d'un prototype 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 3dB	: 30 Hz - 18 kHz
sensibilité	: $2 \cdot 10^{-4}$ nT. Hz-1/2 à 0,1 Hz
	: $2 \cdot 10^{-6}$ nT. Hz-1/2 à 10 kHz

De tels capteurs seront montés sur les projets en cours CLUSTER et MARS 94 de l'ESA et de l'IKI, puis sur les projets ultérieurs comme CRAF et CASSINI de la NASA pour lesquels il a été fait appel aux compétences du laboratoire.

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 3 dB. Cette forme de capteurs qui représente un bon compromis, permet d'implanter des expériences sur des satellites de petite taille sur lesquels les contraintes d'encombrement des structures déployables sont critiques et sur lesquels, aussi, la sensibilité requise par les expériences peut être moins élevée en raison de la propreté électromagnétique médiocre de ses satellites (à cause de la proximité des expériences avec les équipements embarqués). Des capteurs de cette forme seront montés sur le sous satellite tchèque de la mission INTERBOL.

Réalisation d'amplificateurs sous forme de composants intégrés

L'implantation des amplificateurs magnétiques sur des véhicules spatiaux interplanétaires à grande durée de vie 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 est actuellement entreprise en association avec une société de l'industrie spatiale. L'objectif est d'adapter l'électronique existante à une réalisation sous forme de couches épaisses et d'incorporer les protections thermiques et radiatives au sein-même du composant. Par ailleurs, la fabrication est conçue de telle manière que le composant réalisé sera adaptable à toutes les formes d'amplificateurs étudiés couplées à nos capteurs. Son utilisation immédiate est prévue dans le cadre du projet CLUSTER.

Restructuration de la station d'étalonnage de Chambon la Forêt

La mesure simultanée de normales d'ondes sur plusieurs satellites, (expérience STAFF du projet CLUSTER), nécessite une parfaite connaissance des axes magnétiques des capteurs avec une précision bien supérieure à celle obtenue jusqu'à présent. La mise à niveau de la station d'étalonnage du site de Chambon-la-Forêt devenait nécessaire. Des travaux entrepris depuis 1988 avec le soutien financier de l'INSU et du CNES, devront permettre la mesure simultanée de 2 composantes magnétiques et la cartographie des diagrammes de rayonnement des capteurs avec une précision de l'ordre de 0,2 degré. Les champs magnétiques d'étalonnage, contrôlés par des moyens informatiques, pourront être mis en rotation dans trois plans orthogonaux

6.4 BREVETS ET INDUSTRIALISATION

Trois ensembles d'instruments ou techniques ont fait l'objet de brevets dont l'un, ancien, est en cours d'industrialisation.

6.4.1 Banc de mesure pour liaison hertzienne à large bande

La connaissance des perturbations de propagation dues aux trajets multiples implique la mesure de la fonction de transfert entre l'émetteur et le récepteur de la liaison hertzienne. Pour des largeurs de bandes inférieures à 100 MHz deux méthodes sont utilisées : la détermination par la réponse impulsionnelle ou la mesure par balayage de l'amplitude et de la dérivée de la phase. Dans le cas des liaisons hertziennes à haut débit, on est conduit à mesurer la fonction de transfert sur 1 GHz de bande et seule, la dernière méthode est techniquement applicable. Toutefois une étude particulière a dû être menée pour obtenir une bonne stabilité à moyen terme. L'équipement de base est un MLA (Microwave Link Analyser) du commerce. Une première étape a consisté à le modifier pour permettre un balayage de 1 GHz. La deuxième étape la plus délicate consistait à stabiliser et à contrôler la fréquence de telle manière que la fréquence à la réception, comprise entre 10,7 et 11,7 GHz soit connue à ± 2 MHz sur 1 mois. Les procédés de repérage en fréquence précédemment utilisés étaient 10 fois moins précis. La technique mise au point à l'aide de modulateurs

biphase compatibles avec la mesure de la fonction de transfert a fait l'objet d'une demande de dépôt de brevet (86 11 759 du 14/08/86). Les performances ont été effectivement vérifiées au cours d'une campagne de mesure de plus d'un mois dans le sud-ouest durant l'été 1986 (PACEM 3).

6.4.2 Réfractomètre

L'étude expérimentale de la propagation par trajets multiples implique non seulement la maîtrise d'un instrument de mesure caractérisant les liaisons hertziennes tels que le MLA mais aussi la capacité de mesurer l'indice de réfraction de l'air le long du trajet. Pour effectuer cette mesure avec un même instrument, ce dernier doit être aérotransportable et fournir des données avec une haute résolution temporelle. C'est le cas du réfractomètre hyperfréquence dont le principe consiste à mesurer la fréquence de résonance d'une cavité ayant comme diélectrique le milieu à mesurer. Cette cavité peut être montée sur un avion ou un hélicoptère et l'instrument a une résolution temporelle de 10 ms. Les difficultés de mise au point d'un tel instrument tiennent aux exigences de précision de la mesure : l'erreur absolue sur la fréquence de résonance aux environs de 10 GHz doit être inférieure à $\pm 10^{-6}$ sur 24 h et 10^{-5} sur 6 mois en ambiance aéronautique. Ceci entraîne en particulier des études sur les traitements de surface les plus résistants à la pollution compatibles avec un bon coefficient de qualité de la cavité. Mais le problème majeur a été la méthode de mesure de la fréquence de résonance ; les méthodes antérieures, peu satisfaisantes quant à leur dérive à long terme avaient jusqu'à ce jour empêché le développement d'un tel instrument. Un nouveau procédé a été mis au point ; au lieu de déterminer le maximum par une méthode de balayage, on réalise un asservissement sur le zéro de phase à

partir d'une source à résonateur diélectrique. Cette technique a fait l'objet d'une demande de dépôt de brevet (88 10 127 du 27/07/88). Deux prototypes seront opérationnels courant 1989.

La réalisation menée par l'ONERA/CERT de Toulouse sous la direction du CRPE est en cours d'achèvement.

6.4.3 Spectropluviométrie

Le spectropluviomètre optique a été développé par le CRPE en 1976 pour la mesure de la taille et de la vitesse de chute des gouttes de pluie. Son principe est l'occultation optique d'un faisceau de lumière infrarouge parallèle (1 cm x 4 cm x 25 cm) par les gouttes durant leur chute. Après traitement de l'information plusieurs paramètres caractérisant la pluie peuvent être calculés comme le taux précipitant, la réflectivité équivalente d'un radar pluie, la distribution diamètre vitesse sur un temps de mesure donnée (60 ou 120 s) dans un tableau histogramme à deux dimensions (16 cases diamètre x 16 cases vitesse). La dynamique en diamètre est comprise entre 0,3 et 5 cm et les vitesses entre 0,6 et 10 m/s. Ce principe a fait l'objet d'un brevet n° 74-40094 (1977).

Cet instrument a été utilisé dans de nombreuses expériences en donnant des résultats satisfaisants. Un industriel français ayant pris la licence de ce spectropluviomètre, une opération de redéfinition et de remise à niveau avec des composants actuels a été faite pour lui permettre de réaliser un prototype courant 1988 et de le rendre commercialisable pour l'année 1989. Il sera utilisé pour les expériences de propagation horizontale (35 et 94 GHz) et oblique (OLYMPUS).

7. MOYENS INFORMATIQUES

Le département Traitement Informatique des Données a pour mission d'apporter un soutien informatique aux activités scientifiques du laboratoire. Ce soutien peut se décomposer selon trois parties principales : en premier lieu le département définit et met en oeuvre la politique générale d'équipement informatique du laboratoire, à savoir définition, acquisition, mise en oeuvre et maintenance de systèmes informatiques nouveaux, et intégration de ces systèmes dans les moyens existants. La définition de cette politique se fait en relation avec les besoins spécifiques de chaque équipe scientifique, avec un souci d'unification et de communication d'une part au niveau laboratoire et au niveau des autres divisions du CNET, afin de pouvoir bénéficier d'une assistance du centre de calcul du CNET, d'autre part au niveau de l'INSU afin d'harmoniser les moyens informatiques des laboratoires du Département TOAE. En second lieu, un certain nombre d'informaticiens du département sont affectés à des travaux de programmation et de dépouillement scientifique ; ils travaillent en étroite relation avec les équipes scientifiques qui ont défini les expériences et qui exploitent les données. La dernière partie concerne les activités Temps Réel. Le groupe temps réel du département 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 d'expériences à bord de satellites. Il travaille en collaboration avec les équipes scientifiques et les ingénieurs et techniciens du département ITS (Instrumentation Terrestre et Spatiale).

7.1 L'EVOLUTION DES MOYENS INFORMATIQUES DE 1985 A 1989

7.1.1 Les moyens en 1985

Les moyens informatiques du CRPE ont considérablement évolués depuis 4 ans, tant au niveau du matériel qu'au niveau des fonctionnalités offertes et des méthodes de travail.

La figure 7.1 donne un aperçu des moyens existants en 1985 ; la plupart des travaux étaient effectués sur des

calculateurs ou centres de calcul extérieurs au laboratoire, principalement le centre de calcul du CNES à Toulouse et le calculateur Multics du centre de calcul du CNET à Issy-les-Moulineaux.

Au niveau local, et en dehors des systèmes d'acquisition temps réel des différentes expériences, seuls deux calculateurs HP-1000 (16 bits) permettaient d'effectuer sur place des travaux essentiellement de dépouillement des données des expériences sol du laboratoire, les expériences spatiales (vu leur production importante de bandes magnétiques) étant dépouillées sur le centre de calcul du CNES, lequel est accessible depuis chaque site par un terminal semi-lourd regroupant un concentrateur de terminaux et une imprimante de grand débit.

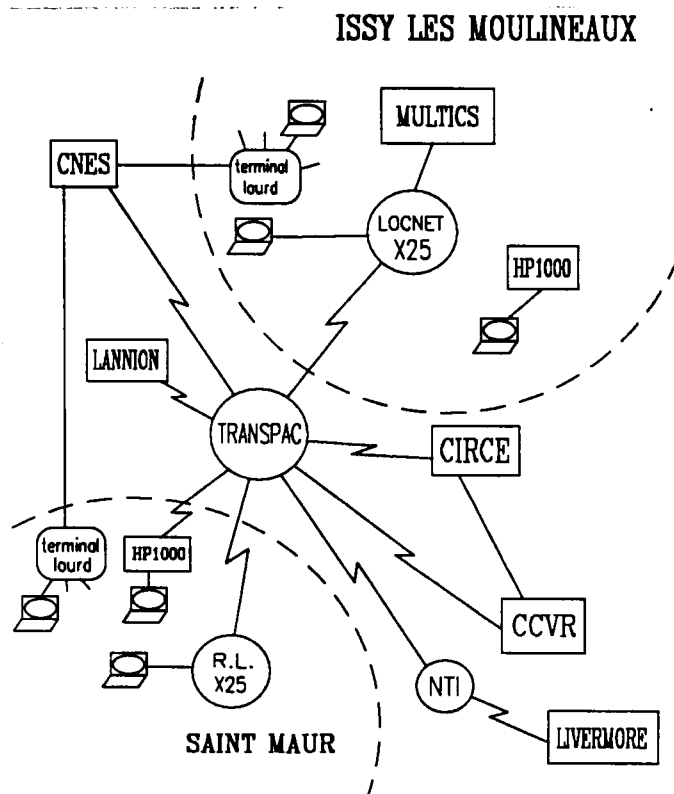


Figure 7.1. Schéma général des moyens informatiques du CRPE en 1985

Le ordinateur Multics, compte tenu des facilités de crédit d'heure de calcul sur ce centre, était utilisé largement (2 à 3 000 heures par an) pour effectuer des calculs scientifiques pour l'ensemble des départements du laboratoire. Sur le CIRCE commençait la simulation numérique, au moyen des calculateurs IBM de l'époque, ainsi que sur le ordinateur CRAY-1 du CCVR.

Mis à part les deux ordinateurs HP-1000 utilisés en autonome, ces moyens étaient utilisés à partir de consoles de visualisation (type terminaux alphanumériques VT 100) reliés au réseau local du CNET, et donnant accès au ordinateur Multics d'une part, et au réseau TRANSPAC d'autre part, et par ce chemin aux différents centres de calcul extérieurs. Le CNES était également accessible depuis les terminaux reliés directement au concentrateur de la ligne spécialisée de chacun des deux sites.

Les moyens graphiques consistaient uniquement en quelques terminaux de type Tektronix 4014 ou compatibles, munis d'une copie d'écran, et connectés aux centres de calcul. Les sorties graphiques plus importantes devaient être effectuées sur les centres de calcul extérieurs et les résultats étaient transmis par courrier postal.

En 1985, le CRPE disposait d'une trentaine de terminaux alphanumériques et d'une dizaine de terminaux graphiques reliés soit au réseau local du CNET, soit au concentrateur du CNES, pour l'ensemble des deux sites. Les seuls ordinateurs locaux utilisés pour dépouiller les expériences étaient donc les deux ordinateurs HP-1000, celui de Saint-Maur étant de plus utilisé quotidiennement en tant que système d'acquisition pour l'expérience en Télécommunication PACEM.

7.1.2 L'évolution entre 1985 et 1989

Les principales étapes concernant la mise à niveau des moyens informatiques du laboratoire depuis 1985 sont résumés sur la *table 7.1*, dont les grandes lignes sont décrites ci-après.

Le centre de calcul VAX d'Issy-les-Moulineaux

Compte tenu des moyens informatiques très insuffisants de l'époque au regard des demandes, tant au niveau matériel pour permettre le dépouillement des données sol qu'au niveau des conditions d'utilisation des centres de calcul (travaux le plus souvent en différé même pour des petites tâches, interactif lent et pénible à distance, etc...) la première priorité du laboratoire a consisté à s'équiper d'un centre de calcul propre, afin de résoudre dans un premier temps les problèmes les plus cruciaux.

Le centre de calcul VAX, dont la définition et le financement a demandé deux années, est constitué d'un ordinateur VAX 780 acquis dans le cadre d'un lot négocié par l'INSU. Ouvert aux utilisateurs en décembre 86, il a été très sollicité dès son arrivée, essentiellement en mode interactif,

	1986	1987	1988
CENTRE DE CALCUL ISSY (VAX 780)	Achat et installation ouverture en décembre	Complément disques (+ 1 GB)	Complément périphériques laser, consoles dérouleurs, mémoire, Gigatape
CENTRE DE CALCUL St-MAUR (MSUN-1326, 1306, 05)		Projet et financement	Achat et installation
CALCULATEUR VECTORIEL DU CNET (CONVEX-C2)	Participation à la réflexion et à la nécessité	Rédaction du cahier des charges	Décision et achat par le CNET
STATIONS TRAVAIL ETP (SUN 3-60, 3-50 + D.O.N.)		Décision et achat	
Terminal CNES Issy-les-Moulineaux	Suppression SOLAR Issy Changement imprimante		
Terminal MULTICS Issy-les-Moulineaux	Imprimante déportée MULTICS (Versatec)		
Terminal CIRCE Issy-les-Moulineaux	Projet et financement	Achat et installation	Complément IBM-PS/2 8580 (32 bits)
Réseaux EARN et SPAN		Connexion du VAX 780 à EARN et à SPAN	
MICROS ORDINATEURS	Choix des 2 standards (Mac et PC) Expérience Mac en bureautique	Mise en place du réseau Apple-Talk Laser Issy Laser St-Maur	2ème laser secrétariat Issy 31 Mac, 23 PC et 3 lasers acquis en 3 ans

Table 7.1 Principales réalisations informatiques du CRPE depuis 1986

et sa complète saturation actuelle, deux ans après, montre à quel point ce type de machine locale était et demeure nécessaire.

La saturation de la machine a deux causes : d'une part le besoin et le succès de ce type de machine, entraînant un nombre croissant d'utilisateurs, également dû à ses possibilités d'utilisation nouvelles à l'époque et au fait que les fonctionnalités offertes par cette machine n'ont cessé de croître par l'apport de différents types de périphériques ; on peut citer les quatre dérouleurs de bandes, deux Giga-octets d'espace disque, un système de traitement d'image Gould et un système d'archivage sur cassettes de 1 Giga-octet, permettant le stockage de 5 à 6 bandes magnétiques (6 400 bpi, 2 400 pieds) sur un support très réduit. La configuration actuelle de cette machine est schématisée *figure 7.2*.

Le VAX 780 est de plus relié au réseau local du CNET et à TRANSPAC, permettant le travail à distance, ainsi qu'aux réseaux internationaux SPAN et EARN, utilisés essentiellement en messagerie et en transfert de petits

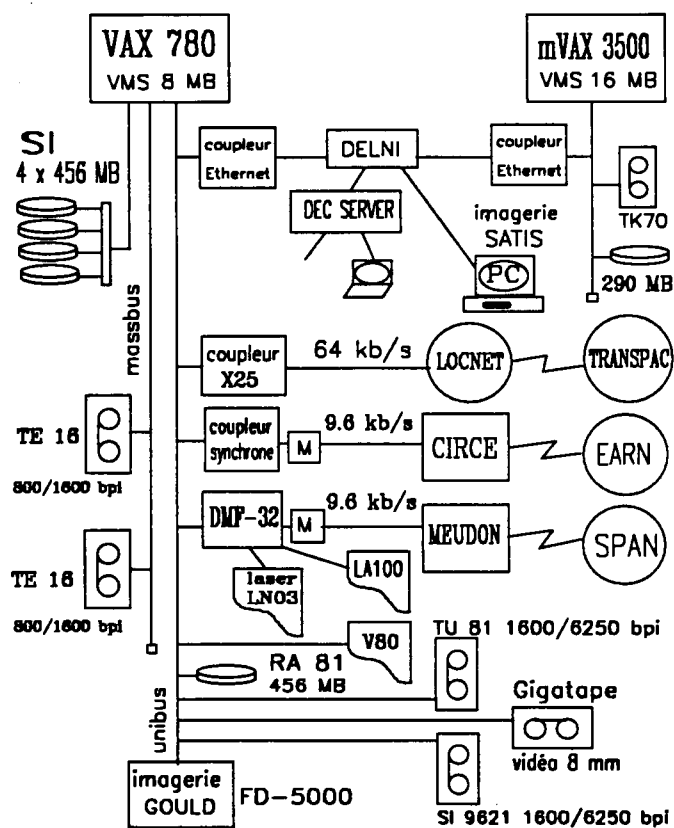


Figure 7.2. Le centre de calcul VAX du CRPE

fichiers ; EARN est de plus utilisé pour rapatrier sur le VAX des résultats en provenance du CIRCE.

Si l'accroissement des périphériques a conduit à un état actuel à peu près satisfaisant en ce domaine, la saturation de la machine est due à la puissance de 1 Mips de l'unité centrale qui est totalement dépassée de nos jours, et qui était déjà à la limite lors de son arrivée fin 86.

Dans ce contexte, on peut noter sur cette figure la présence d'un second ordinateur DEC de type micro-VAX 3500 et un début de réseau Ethernet. Ce ordinateur a été acquis dans un double but : d'une part, pour donner des moyens de dépouillement de taille suffisante à la future expérience en propagation OLYMPUS, effectuée en collaboration avec la division ETR du CNET, et dont les données arriveront directement sur cette machine par une ligne à 64 kb/s, et d'autre part pour renforcer la configuration de l'actuel centre de calcul pendant les périodes où le micro-VAX 3500 sera sous-utilisé par les expérimentateurs OLYMPUS. Cette configuration est actuellement en cours d'installation, et devrait permettre de remédier au moins temporairement aux problèmes d'insuffisance de puissance CPU (le 3 500 étant quatre fois plus puissant que le 780), et surtout de mettre en place le début d'un réseau Ethernet permettant d'instaurer une informatique répartie à base de machines périphériques, dont l'acquisition progressive est plus facile et plus rapide à mettre en place, tout en

permettant d'avoir des machines modernes au meilleur rapport performances/prix.

La micro-informatique

Parallèlement au développement d'un centre de calcul interne au laboratoire, les besoins en bureautique informatisée, puis en traitements scientifiques de petite taille mais nécessitant un haut degré de confort et d'interactivité, ont conduit à la mise en place des premiers micro-ordinateurs en 1986, qui ont été l'allumette de l'explosion de la micro-informatique qui s'est produite immédiatement après, et dont l'ampleur ne cesse de croître actuellement.

Entre 1986 et maintenant, 54 micro-ordinateurs ont été acquis au laboratoire. Ils se répartissent actuellement en 31 Mac Intosh reliés en 2 réseaux de type Apple-Talk (1 sur chaque site) et chacun couplé à un serveur d'impression laser (3 imprimantes dont 2 à Issy-les-Moulineaux), en 12 IBM-PC ou compatibles et en 11 IBM-PS-2 en cours de mise en réseau, avec un serveur d'impression laser. La plus grande partie de la frappe est actuellement traitée par les micro Apple, ceux-ci regroupant la plus grande part de la bureautique effectuée au laboratoire, et une part non négligeable d'activités scientifiques. Les IBM sont plutôt utilisés pour des travaux scientifiques, pour des petits calculs ou du traitement fin de données, ou encore du graphique ou de l'imagerie.

Les terminaux et l'accès aux centres de calcul externes

Les micro-ordinateurs sont également utilisés en émulation de terminal alphanumérique et graphique, et remplacent progressivement ceux-ci dans les bureaux ou les salles en libre-service, cumulant ainsi en un même matériel les fonctions de terminal et de poste bureautique et scientifique.

En matière de terminaux ou de poste de travail, le CRPE possède maintenant 114 postes au total, (pour les 164 personnes du laboratoire, donc pratiquement 1 par utilisateur), répartis en 60 terminaux et 54 micros (soit 1 micro pour 3 personnes). Ces chiffres sont à comparer aux 40 terminaux en tout et pour tout en 1985, soit donc un facteur 3 sur le nombre de points d'accès aux centres de calculs locaux ou extérieurs, pour un nombre de chercheurs relativement constant. Ce simple chiffre permet de juger de l'importance grandissante de l'utilisation des moyens informatiques au laboratoire depuis 4 ans. A terme, pratiquement chaque personne utilisatrice de moyens informatiques aura pour son usage personnel, soit un terminal, soit un micro ordinateur. Dans ce bilan, on compte les terminaux installés dans les salles en libre service, telle la salle informatique de Saint-Maur où une dizaine de consoles ont été installées et servent une fois par semaine pour les travaux pratiques en informatique du DEA de Télé-détection, au moyen des calculateurs Multics du CNET et VAX du CRPE.

Au niveau de l'accès aux centres de calcul externes, les moyens ont été également renforcés en dehors du nombre considérablement augmenté de terminaux ou points d'accès. On peut noter la mise en place en 87 d'un terminal sur le CIRCE, permettant le travail en interactif par le biais de consoles IBM 3270 ou compatibles, seul moyen confortable d'utiliser le monde IBM de ce centre. Par ailleurs l'arrivée au CIRCE de la machine Siemens VP200, d'une puissance de 200 Mflops (supérieure au CRAY-1) a permis de donner un essort sérieux aux activités de simulation numérique du laboratoire qui a justifié la mise en place de moyens appropriés pour accéder à ce centre.

La politique des réseaux nous a également conduit à installer récemment deux autres lignes spécialisées : l'une d'elle permettra de relier entre eux le réseau local de chacun des deux sites du laboratoire ; ainsi les utilisateurs situés à Saint-Maur et désireux d'utiliser les moyens de calculs implantés à Issy-les-Moulineaux, tels Multics, le calculateur vectoriel Convex ou même le centre VAX ou la station SUN, pourront accéder à ces machines sans passer par le réseau TRANSPAC, et donc être dans la même situation que les utilisateurs situés sur le site d'Issy-les-Moulineaux. La seconde ligne mise en place va permettre, après avoir obtenu l'accord des deux parties, de relier le réseau local du CNET à celui du CNES. Ainsi, pour travailler sur ce centre, il ne sera plus nécessaire de passer par le réseau TRANSPAC ou d'utiliser une console dédiée connectée aux concentrateurs existants. Tous les utilisateurs de chaque site pourront, à partir de n'importe quelle console du réseau local, accéder au calculateurs du CNES comme les résidents du CNES eux-mêmes.

Le calculateur vectoriel du CNET

En 1986, suite à des demandes exprimées depuis un certain temps, la direction du CNET a pris la décision de s'équiper d'un calculateur scientifique de puissance en rapport avec les besoins d'un centre de recherche. Deux ingénieurs du département informatique du CRPE furent sollicités pour prendre part à la réflexion générale du CNET sur l'évolution de ces moyens de calculs. Le cahier des charges fut rédigé en 1987 par une commission présidée par un ingénieur du CRPE, en collaboration avec des représentants des autres divisions du CNET et des membres du centre de calcul. Ce travail a conduit à l'arrivée en 1988 au centre de calcul du CNET d'un calculateur vectoriel CONVEX-C2 d'une puissance de 40 Mflops, soit 1/4 environ d'un calculateur de type CRAY-1. Cette machine, accessible par le réseau local, est déjà utilisée par certaines équipes scientifiques du laboratoire.

La station de travail du département Télécommunication

En 1987, suite à l'encombrement du calculateur Multics et aux besoins spécifiques du département ETP pour le dépouillement de l'expérience en propagation PACEM, le laboratoire a pris la décision de s'équiper d'une machine de niveau départemental pour traiter localement et dans de

bonnes conditions les données de cette expérience. Une station de type SUN 3/60 sous Unix fut acquise, complétée par un disque optique numérique. L'utilisation de cette machine, dont la puissance de l'unité centrale était déjà de plusieurs fois celle du VAX 780, a été un succès et fut également l'occasion d'introduire le concept de station de travail au CRPE, tout en permettant de s'introduire dans le monde Unix qui ne pouvait plus être ignoré.

Le centre de calcul SUN de Saint-Maur

Au regard du développement du centre de calcul VAX d'Issy-les-Moulineaux, il était devenu nécessaire de développer un centre local équivalent sur le site de Saint-Maur. Après l'expérience positive de la station de travail SUN d'Issy-les-Moulineaux, l'arrivée en Août 88 d'un serveur de puissance, fichier et périphériques de type Matra-SUN sous UNIX, et de deux stations SUN périphériques a permis de poser la première pierre de l'informatique répartie sur le site de Saint-Maur. Sur ce réseau de machines Unix seront prochainement connectés les micros-ordinateurs de type IBM-PC, permettant ainsi le travail en local et sur une machine personnelle pour les éditions et manipulations de fichier, et l'accès à la puissance CPU du serveur (4 Mips) et à ses périphériques (imprimante laser graphique, dérouleur de bandes) pour les calculs, les manipulations de données et la sortie des résultats. Du fait du dépôt de bilan récent de la société Matra-SUN, l'installation de ce type de matériel, non complètement compatible avec du matériel SUN, a posé un grand nombre de problèmes et a conduit à des délais importants de mise en oeuvre.

Résumé des moyens existants

La figure 7.3 représente le schéma actuel des moyens informatiques du CRPE, vus dans leur ensemble. Il est à comparer à la figure 7.1, qui résumait les moyens existants en 1985.

Du côté matériel, on peut noter tout d'abord l'apparition des centres de calculs internes au laboratoire (VAX à Issy-les-Moulineaux, SUN à Saint-Maur), le calculateur vectoriel du CNET (Convex C-2), la station de travail SUN du département ETP, le système d'imagerie SATIS et sur chaque site les réseaux de micro-ordinateurs Mac Intosh et IBM-PC. Le calculateur HP-1000 d'Issy-les-Moulineaux, obsolète, a disparu.

Du côté des lignes spécialisées et des réseaux, outre les réseaux locaux de micro-ordinateurs on peut voir apparaître l'interconnexion entre les réseaux locaux du CNET et du CNES, l'interconnexion entre le réseau local du CNET et celui du site de Saint-Maur, l'accès au réseau SPAN via le raccordement du VAX 780 au noeud du centre de calcul de Meudon et l'accès au réseau EARN via le raccordement du VAX au centre de calcul du CIRCE, sur lequel par ailleurs le laboratoire est connecté par l'intermédiaire d'un terminal semi-lourd.

7.4 LES MOYENS HUMAINS

On ne peut parler de politique informatique et de mise en oeuvre de systèmes nouveaux sans évoquer le personnel technique nécessaire aux opérations de documentation, de réflexion et d'installation de ces matériels et des logiciels associés sans lesquels la machine n'est rien, ainsi que les nombreux interfaces requis pour l'harmonisation d'une informatique répartie, et ceci sans même soulever les problèmes de maintenance d'un parc grandissant de moyens variés entraînant des besoins croissants au niveau de l'assistance aux utilisateurs.

Le tableau ci-dessous montre la répartition du personnel TID au cours des 4 dernières années en fonction des thèmes d'activité (temps réel, dépouillement scientifique, gestion de systèmes, réseaux, maintenance), exprimée en homme-années, et compte tenu des arrivées, départ et temps partiels, ainsi que des multi-compétences éventuelles.

	temps	dépouill.	système	réseaux	maintien	TOTAL
1985	4.1	6.4	2.3	0.5	2.8	16.1
1986	3.8	5.7	2.3	1.0	2.6	15.4
1987	4.4	6.5	3.1	1.1	2.4	17.5
1988	4.5	7.5	2.0	1.3	2.4	17.7

Plusieurs remarques sont à présenter :

- les activités de dépouillement scientifique occupent le plus grand nombre de personnes, en raison de l'importance des tâches à effectuer dans ce domaine et au détriment de l'activité "système".

- les autres activités se font à personnel à peu près constant, bien que certains ingénieurs aient dû s'orienter davantage vers les réseaux.

- tout le parc informatique développé de 1985 à 1988 (*figures 7.1 et 7.3*) s'est fait à effectif quasi constant en ingénieurs systèmes, qui sont actuellement en nombre très insuffisant à la fois au regard des développements ultérieurs envisagés qu'au niveau de la maintenance et de l'exploitation des systèmes mis en place.

- le départ d'un ingénieur informaticien non remplacé sur le site de Saint-Maur a fortement retardé les développements informatiques prévus sur ce site.

8. ANNEXE

Place des Femmes au CRPE

Les trois tableaux suivants donnent par catégorie d'emploi et par grade la répartition du personnel entre hommes et femmes.

Sur 161 personnes 64 sont du sexe féminin, se répartissant comme suit :

Cadre A : 116 dont 39 femmes

Cadre B : 45 dont 25 femmes

On note un retard certain des carrières féminines par rapport aux carrières masculines⁽¹⁾

(1) On pourra consulter C. MAZAUDIER : "On the role of French women in the development of science and technology. Two case studies", Comptes Rendus de la Conférence CIDA/TWAS, Trieste, octobre 1988 (à paraître 1989).

Table 1 CHERCHEURS

Chercheurs CNRS : 26

	DR1	DR2	CR1	CR2
Hommes	2*	8	4	2
Femmes	0	1	8	1

*M. WALDTEUFEL, en poste au MRT, n'est pas inclu dans ce décompte

Chercheurs Université : 10

	Professeur	Maître Conf.	Maître Ass.	Assistant
Hommes	3	2	0	1
Femmes	0	1	1	2

Chercheurs sur poste CNET : 20

	IGC	IGIII	IGII	IG1
Hommes	2	5	6	1
Femmes	0	0	5	1

Chercheurs sur postes ingénieurs CNRS ou ORSTOM : 6

	IR0	IR1	IR2
Hommes	0	2	1
Femmes	0	0	3

Thésards : 23

Hommes : 14
Femmes : 9

Total : 85 dont 53 H et 32 F

Table 2 INGENIEURS

Ingénieurs**Ingénieurs CNET : 8**

	IGC	IGIII	IGII	IGI
Hommes	0	1	3	3
Femmes	0	0	1	1

Ingénieurs CNRS ou ORSTOM : 19

	IR1	IR2	IE1	IE2
Hommes	4	4	2	4
Femmes	0	2	1	1

Total : 27 dont 21 H et 6 F

Table 3 TECHNICIENS ET ADMINISTRATIFS

Techniciens CNRS ou ORSTOM : 12

	AI	AJT2	T1	T3
Hommes	2	1	1	2
Femmes	0	0	2	4

Administratifs CNRS ou ORSTOM : 7

	AAR1	AJA2	Sa 1,2,3	6B
Hommes	0	0	0	0
Femmes	1	2	3	1

CNET Techniciens + Administratifs : 30

	DA	ATP	AS	ATAP	ATA	AT3	AAP	STEDA	Titulaires divers
Hommes	1	6	1	0	0	3	1	0	5
Femmes	0	0	1	1	1	0	2	4	4

Total : 49 dont 23 H et 26 F

9. BIBLIOGRAPHIE

P H Y S I Q U E D E L ' A T M O S P H E R E N E U T R E

ARTICLES PUBLIES DANS LES REVUES A COMITE DE LECTURE

1985

- 2001 CHAUZY S., CHONG M., DELANNOY A., DESPIAU S.
The June 22 tropical squall line observed during COPT 81 experiment :
Electrical signature associated with dynamical structure and
precipitation
J. Geophys. Res., 90 (D4), 6091-6098, 1985
- 2002 DE SOUZA R., TOUZEAU M., PETITDIDIER M.
Quenching reactions of metastable N₂ (A, $^3\Sigma_v=0, 1, 2$) molecules by O₂
Chem. Phys. Lett., 121 (4,5), 423-428, 1985
- 2003 FELLOUS J.L., CEVOLANI G., KINGSLEY S.P., MULLER H.G.
Atmospheric dynamics observed during the Energy Budget Campaign
J. Atmos. Terr. Phys., 47 (1-3), 233-241, 1985
- 2004 PETITDIDIER M., DESAUTEZ A., GLASS M., PENAZZI G.
A decoder for a 30-m height resolution S.T. radar
Radio Sci., 20 (6), 1141-1145, 1985
- 2005 ROUX F.
Retrieval of thermodynamic fields from multiple-Doppler radar data
using the equations of motion and the thermodynamic equation
Mon. Wea. Rev., 113 (12), 2142-2157, 1985

1986

- 2006 HAUSER D., AMAYENC P.
Retrieval of cloud water and water vapor contents from Doppler radar
data in a tropical squall line
J. Atmos. Sci., 43 (8), 823-838, 1986
- 2007 LEMAITRE Y., TESTUD J.
Observation and modelling of tropical squall lines observed during
the "COPT 79" experiment
Ann. Geophysicae, 4B (1), 21-36, 1986
- 2008 SCIALOM G., TESTUD J.
Retrieval of horizontal wind field and mesoscale vertical vorticity
in stratiform precipitation by conical scanings with two Doppler
radars
J. Atmos. Oceanic Technol., 3 (4), 693-703, 1986

1987

- 2009 BERTIN F., CREMIEU A., GLASS M., MASSEBEUF M., NEY R., PETITDIDIER M.
The Proust radar : First results
Radio Sci., 22 (1), 51-60, 1987
- 2010 CHONG M., AMAYENC P., SCIALOM G., TESTUD J.
A tropical squall line observed during the COPT 81 experiment in West Africa - Part 1 : Kinematic structure inferred from dual-Doppler radar data
Mon. Wea. Rev., 115 (3), 670-694, 1987
- 2011 COLLECTIF [Comité Scientifique de l'Expérience Landes-Fronts 84 - Synthèse réalisée par J.P. CHALON]
Landes-Fronts 84 : Une expérience d'étude des bandes de convection associées aux systèmes frontaux
Météorologie (La), VII (16), 7-23, 1987
- 2012 LEMAITRE Y.
Phénomènes de moyenne échelle dans les systèmes frontaux
Météorologie (La), VII (18), 25-37, 1987
- 2013 MANSON A.H., MEEK C.E., FELLOUS J.L., MASSEBEUF M.
Winds oscillations (~6 h -6 days) in the upper middle atmosphere at Monpazier (France, 45 N, 1 E) and Saskatoon (Canada, 52 N, 107 W) in 1979-1980
J. Atmos. Terr. Phys., 49 (11/12), 1059-1069, 1987

1988

- 2014 CHALON J.P., JAUBERT G., ROUX F., LAFORE J.P.
The West African squall line observed on 23 June 1981 during COPT 81 : Mesoscale structure and transports
J. Atmos. Sci., 45 (19), 2744-2763, 1988
- 2015 CLOUGH S.A., TESTUD J.
The FRONTS 87 experiment and mesoscale frontal dynamics project
WMO Bulletin, 37 (4), 276-281, 1988
- 2016 HAUSER D., ROUX F., AMAYENC P.
Comparison of two methods for the retrieval of thermodynamic and microphysical variables from Doppler radar measurements : Application to the case of a tropical squall line
J. Atmos. Sci., 45 (8), 1285-1303, 1988
- 2017 LEMAITRE Y., TESTUD J.
Relevance of "Conditional Symmetric Instability" to interpret the wide frontal rainbands - A case study : 20 May 1976
Quart. J. Roy. Met. Soc., 114 (479), 259-270, 1988
- 2018 ROUX F.
The West African squall line observed on 23 June 1981 during COPT 81 : Kinematics and thermodynamics of the convective region
J. Atmos. Sci., 45 (3), 406-426, 1988

- 2019 SUN J., ROUX F.
Thermodynamic structure of the trailing stratiform regions of two West African squall lines
Ann. Geophysicae, 6 (6), 659-670, 1988
- 1989
- 2020 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 (3), 728-744, 1989
- 2021 HELLOCO F., BONDIOU A., RICHARD P.
Correlations between the VHF-UHF emission associated with lightning discharges and the reflectivity and dynamic structure of the cloud
J. Geophys. Res. [à paraître, 1989]
- 2022 ILLINGWORTH A.J., HAUSER D., AMAYENC P.
A comparison of shadowgraph instruments for measuring raindrop size spectra
J. Atmos. Oceanic Technol. [à paraître, 1989]
- 2023 LEMAITRE Y., SCIALOM G., AMAYENC P.
A cold frontal rainband observed during the LANDES-FRONTES 84 experiment : Mesoscale and small scale structure inferred from dual Doppler radar analysis
J. Atmos. Sci. [à paraître, 1989]
- 2024 TESTUD J., AMAYENC P.
Stereoradar meteorology : A promising technique for observation of precipitation from a mobile platform
J. Atmos. Oceanic Technol. [à paraître, 1989]

ACTES DE CONFERENCES INTERNATIONALES ET OUVRAGES COLLECTIFS

1985

- 2201 DALAUDIER F., BARAT J., BERTIN F., BRUN E., CROCHET M., CUQ F.
Comparison between S.T. radar and in situ balloon measurements
in Proceedings of the 7th ESA Symposium on "European Rocket and Balloon Programs and Related Research", ESA SP-229, pp. 247-251, 1985
(Loen, Norvège, 05-11 mai, 1985)
- 2202 KOPP E., BERTIN F., BJORN L.G., DICKINSON P.H.G., PHILBRICK C.R., WITT G.
The "CAMP" Campaign 1982
in Proceedings of the 7th ESA Symposium on "European Rocket and Balloon Programs and Related Research", ESA SP-229, pp. 117-123, 1985
(Loen, Norvège, 05-11 mai, 1985)
- 2203 MANSON A.H., MEEK C.E., MASSEBEUF M., FELLOUS J.L., ELFORD W.G., VINCENT R.A., CRAIG R.L., ROPER R.G., AVERY S., BALSLEY B.B., FRASER G.J., SMITH M.J., CLARK R.R., KATO S., TSUDA T., EBEL A.
Mean winds of the mesosphere and lower thermosphere (60-110 km) : A global distribution from radar systems (MF, Meteor, VHF)
in Advances in Space Research, 5 (7), [COSPAR, 1984], pp. 135-144, 1985
(Graz, Autriche, 25 juin - 07 juillet, 1984)
- 2204 PETITDIDIER M.
Ondes de gravité dans l'atmosphère moyenne
Compte Rendu du Colloque d'Evaluation et de Prospective - ATP : "Atmosphère Moyenne", pp. 73-88, C.N.E.S.-C.N.R.S., 1985
(Observatoire de Haute Provence, France, 24-25 juin, 1985 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 2205 ROUX F.
The retrieval of three-dimensional thermodynamic fields from multiple-Doppler radar data
in Proceedings of the International Symposium on "Variational Methods in Geoscience", pp. 47-49, CIMMS, 1985
(Norman, Oklahoma, U.S.A., 15-17 octobre, 1985)
- 2206 ROUX F.
Thermodynamic structure of a West-African squall line
in Proceedings of the 14th Conference on "Severe Local Storms" pp. 68-71, A.M.S., 1985
(Indianapolis, Indiana, U.S.A., 29 octobre - 1er novembre, 1985)
- 2207 THOMAS D., BERTIN F., PETITDIDIER M., TEITELBAUM H., WOODMAN R.F.
Simultaneous fine structure observation of wind and temperature profiles by the Arecibo 430 MHz and in situ balloon measurements
in Proceedings of the 7th ESA Symposium on "European Rocket and Balloon Programs and Related Research", ESA SP-229, pp. 381-384, 1985
(Loen, Norvège, 05-11 mai, 1985)

1986

- 2208 AMAYENC P.
Utilisation des radars et réseaux de mesure des précipitations au sol
Actes des Journées-Séminaire de Prospective Scientifique sur le projet BEST, pp. 49-104, 1986
(Ecole Polytechnique, Palaiseau, France, 27-28 février, 1986)
- 2209 BERTIN F., CREMIEU A., GLASS M., MASSEBEUF M., PETITDIDIER M.
The PROUST radar : First results
in MAP Handbook (Workshop on "Technical and Scientific Aspects of M.S.T. radar"), BOWHILL S.A. Ed., Volume 20, pp. 153-156, 1986
(Aguadilla, Puerto-Rico, 21-25 octobre, 1985)
- 2210 BERTIN F., GLASS M., NEY R., PETITDIDIER M.
The PROUST radar
in MAP Handbook (Workshop on "Technical and Scientific Aspects of M.S.T. radar"), BOWHILL S.A. Ed., Volume 20, pp. 343-345, 1986
(Aguadilla, Puerto-Rico, 21-25 octobre, 1985)
- 2211 BONDIOU A., RICHARD P., TAUDIERE F., HELLOCO F.
Preliminary correlations between 3-dimensional lightning discharge mapping and radar measurements
in Proceedings of the International Conference on "Lightning and Static Electricity" [ICOLSE 86], pp. 1-8 (Addendum), 1986
(Dayton, U.S.A., juin 1986)
- 2212 DALAUDIER F., BARAT J., BERTIN F., BRUN E., CROCHET M., CUQ F.
Comparison between S.T. radar and in situ balloon measurements
in MAP Handbook (Workshop on "Technical and Scientific Aspects of M.S.T. radar"), BOWHILL S.A. Ed., Volume 20, pp. 160-165, 1986
(Aguadilla, Puerto-Rico, 21-25 octobre, 1985)
- 2213 HAUSER D., AMAYENC P., ROUX F.
Thermodynamic and microphysical fields inferred from Doppler radar data in a tropical squall line
in Proceedings of Joint 23rd Conference on "Radar Meteorology" and Conference on "Cloud Physics", pp. J49-J52, A.M.S., 1986
(Snowmass, Co., U.S.A., 22-26 septembre, 1986)
- 2214 LAROCHE P., DELANNOY A., GONDOT P., HELLOCO F., GAYET J.F.
Airborne observations of small scale (< 1 km) fluctuations of microphysical, dynamical and electrical properties in convective storms
in Proceedings of Joint 23rd Conference on "Radar Meteorology" and Conference on "Cloud Physics", pp. J285-J289, A.M.S., 1986
(Snowmass, Co., U.S.A., 22-26 septembre, 1986)
- 2215 LE CAM M.N., ISAKA H., HAUSER D., AMAYENC P.
Retrieval of microphysical variables from Doppler radar data in a tropical squall line by using two different methods
in Proceedings of Joint 23rd Conference on "Radar Meteorology" and Conference on "Cloud Physics", pp. JP134-JP137, A.M.S., 1986
(Snowmass, Co., U.S.A., 22-26 septembre, 1986)

- 2216 LEMAITRE Y., SCIALOM G., AMAYENC P.
A cold frontal rainband observed during the Landes-Fronts 84 experiment : Dynamic structure from dual Doppler radar analysis
in Proceedings of Joint 23rd Conference on "Radar Meteorology" and Conference on "Cloud Physics", pp. J207-J210, A.M.S., 1986
(Snowmass, Co., U.S.A., 22-26 septembre, 1986)
- 2217 PETITDIDIER M., CROCHET M.
Scientific results for network of S.T. radars and cooperative campaigns
in MAP Handbook (Workshop on "Technical and Scientific Aspects of M.S.T. radar"), BOWHILL S.A. Ed., Volume 20, pp. 317-322, 1986
(Aguadilla, Puerto-Rico, 21-25 octobre, 1985)
- 2218 PETITDIDIER M., KLAUS V., BAUDIN F., CROCHET M., PENAZZI G., QUINTY P.
The INSU and DMN networks of S.T. radars
in MAP Handbook (Workshop on "Technical and Scientific Aspects of M.S.T. radar"), BOWHILL S.A. Ed., Volume 20, pp. 347-348, 1986
(Aguadilla, Puerto-Rico, 21-25 octobre, 1985)
- 2219 PETITDIDIER M., KLAUS V., BAUDIN F., CROCHET M., PENAZZI G., QUINTY P.
Radars S.T. : Reseau de recherche et reseau operationnel
in Proceedings of the Third WMO Technical Conference on "Instruments and Methods of Observation (TECIMO III)", pp. 187-192, 1986
(Ottawa, Canada, 08-12 juillet 1985)
- 2220 ROUX F.
Restitution des champs thermodynamiques à partir des données de plusieurs radars Doppler
Actes de l'Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, pp. 187-192, C.N.R.M., 1986
(Toulouse, France, 20-22 octobre, 1986)
- 2221 SCIALOM G., LEMAITRE Y.
Retrieval of the wind field by scannings with several Doppler radars
in Proceedings of Joint 23rd Conference on "Radar Meteorology" and Conference on "Cloud Physics", pp. JP111-JP113, A.M.S., 1986
(Snowmass, Co., U.S.A., 22-26 septembre, 1986)
- 2222 THOMAS D., BERTIN F., PETITDIDIER M., TEITELBAUM H., WOODMAN R.F.
Simultaneous fine structure observation of wind and temperature profiles by the Arecibo 430 MHz radar and in situ balloon measurements
in MAP Handbook (Workshop on "Technical and Scientific Aspects of M.S.T. radar"), BOWHILL S.A. Ed., Volume 20, pp. 157-159, 1986
(Aguadilla, Puerto-Rico, 21-25 octobre, 1985)

1987

- 2223 LEMAITRE Y., BROVELLI P.
Role of the cold front low level jet for triggering and organizing moist convection in a baroclinic atmosphere - A case study : 18 May 1984
in Proceedings of the Symposium "The Role of Convection in Mesoscale Development", XIX General Assembly U.G.G.I./I.A.M.A.P., paper M6-P11, A.M.S., 1987, and in Proceedings of the Third Conference on "Mesoscale Processes", paper JP 1.3.11, 1987
(Vancouver, Canada, I.A.M.A.P. : 09-22 août; A.M.S. : 21-26 août, 1987)

- 2224 PETITDIDIER M.
Les radars Stratosphériques-Troposphériques
Compte Rendu de la Réunion Annuelle 1987 du Programme UARS,
pp. 184-190, 1987
(Paris, France, 12 mars 1987 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 2225 ROUX F.
Characteristics of the West African squall lines observed during COPT 81
in Proceedings of the 17th Conference on "Hurricanes and Tropical Meteorology", pp. 67-70, A.M.S., 1987
(Miami, Flo., U.S.A., 04-10 avril, 1987)
- 2226 TESTUD J.
Retrieval of microwave attenuation from stereoscopic observations by radar
in Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium [IGARSS'87], p. 613, IEEE, 1987
(Ann Arbor, Michigan, U.S.A., 18-21 mai, 1987 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 1988**
- 2227 BONDIOU A., RICHARD P., TAUDIERE I., HELLOCO F.
Electromagnetic characterization of lightning : Application to the discharge study and to the storm evolution analysis
in Proceedings of the 8th International Conference on "Atmospheric Electricity", pp. 464-471, 1988
(Uppsala, Suède, 13-16 juin, 1988)
- 2228 CARBONE R., FOOTE B., MONCRIEFF M., GAL-CHEN T., COTTON W., HJELMFELT M., ROUX F., HEYMSFIELD G., BRANDES E.
Panel report on convective dynamics
in Proceedings of the 40th Anniversary and Battan Memorial Conference on "Radar Meteorology", 1988
(Boston, Mass., U.S.A., 09-13 novembre, 1987)
- 2229 DELANNOY A., GONDOT P., HELLOCO F., LAROCHE P.
Airborne precipitation charge measurement related to local electrostatic field and temperature
in Proceedings of the 8th International Conference on "Atmospheric Electricity", pp 404-409, 1988
(Uppsala, Suède, 13-16 juin, 1988)
- 2230 KAROUCHE N., AMAYENC P., MARZOUG M.
Design of a spaceborne rain mapping radar
in Proceedings of XXXIX Congress of International Astronautical Federation, pp. 241-247, I.A.F., 1988
(Bangalore, Inde, 08-15 octobre, 1988)
- 2231 MARZOUG M., AMAYENC P., KAROUCHE N.
Design of a spaceborne radar for tropical rain mapping at the climatological scale
in Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium [IGARSS'88], ESA SP-284 (VOL. 1), 247-248, 1988
(Edimbourg, G.B., 13-16 septembre, 1988)

- 2232 ROUX F., AMAYENC P., HAUSER D., LEMAITRE Y., SCIALOM G., TESTUD J.
Dual Doppler radar observations during the Mesoscale Frontal Dynamics
Project / FRONTS 87
*in Proceedings of the Palmén Memorial Symposium on "Extratropical
Cyclones" and their Role in the General Circulation of the Atmosphere,*
pp. 234-237, A.M.S., 1988
(Helsinki, Finlande, 29 août - 02 septembre, 1988)

1989

- 2233 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
- 2234 BESSEMOULIN P., PETITDIDIER M., PIRCHER V., ROUX F., URBAN B.
Mesoscale structure of the cold front observed on 12-13 January 1988
during the MFDP/FRONTS 87 experiment
in Proceedings of the 24th Conference on "Radar Meteorology",
pp. 451-454, A.M.S., 1989
(Tallahassee, Fl, U.S.A., 27-31 mars, 1989)
- 2235 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)
- 2236 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)
- 2237 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)
- 2238 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)
- 2239 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)

NOTES TECHNIQUES ET DOCUMENTS DE TRAVAIL

1985

- 2401 AMAYENC P., CHONG M., LEMAITRE Y., SCIALOM G.
Expérience Landes-Fronts 84 - Catalogue des données du CRPE
Document de Travail DT/CRPE/1128, février 1985
- 2402 AMAYENC P., HAUSER D., SCIALOM G.
Détection d'échos en ciel clair avec les radars RONSARD
Note Technique CRPE/140, mai 1985

1986

- 2403 AMAYENC P.
Utilisation des radars pour la mesure quantitative des précipitations
Note Technique CRPE/149, mai 1986
- 2404 BERTIN F.
Evaluation des possibilités des radars air clair pour l'aide à l'atterrissage
Document de Travail DT/CRPE/1145, décembre 1986

1987

- 2405 BERTIN F.
Détection des cisaillements de vent par des radars Air Clair :
Application à la sécurité aérienne
Contrat d'Etudes CNET/Direction Aviation Civile
Document de Travail DT/CRPE/1155A, novembre 1987
- 2406 TESTUD J. AMAYENC P.
Stereoradar meteorology : A promising technique to observe
precipitation from a mobile platform
Document de Travail DT/CRPE/1155, décembre 1987
- 2407 TESTUD J., BAUDIN F., AMAYENC P.
Etude d'un radar Doppler aéroporté - Projet ASTERIX
Note Technique CRPE/159, septembre 1987

1988

- 2408 MARZOUG M.
Etude d'un radar spatial pour la mesure des précipitations
Note Technique CRPE/163, juin 1988
- 2409 ROUX F.
The West African squall line observed on 23-24 June 1981 during COPT
81 (summary of the available data)
Document de Travail DT/CRPE/1164, juillet 1988

2410 ROUX F., HAUSER D., LEMAITRE Y., SCIALOM G.
Expérience FRONTS 87 - Catalogue de données des radars RONSARD
Document de Travail DT/CRPE/1162, juin 1988

2411 TESTUD J., AMAYENC P.
Stereoradar meteorology : A promising technique to observe
precipitation from a mobile platform
Note Technique CRPE/162, avril 1988

AUTRES RAPPORTS

1985

2412 BERTIN F., BAUDIN F., BEHE R.
Eléments comparatifs d'antennes UHF pour un réseau de radars S.T.
*Rapport établi par le C.R.P.E. pour l'EERM dans le cadre de la
convention I.N.A.G. No. 16/84, novembre 1985*

2413 COLLECTIF (AMAYENC P., BERNARD R., EYMARD L., TESTUD J., MEGIE G.,
PELON J., JEGOU J.P., BARAT J., FLAMANT P., CHEDIN A., SADOURNY R.,
SZEJWACH G., FOUQUART Y.)
Projet d'expérience spatiale BEST : Bilan Energétique du Système
Tropical
*Rapport présenté au Séminaire de Prospective Scientifique du C.N.E.S.
Deauville, France, novembre 1985*

2414 COLLECTIF (redige par AMAYENC P., CHALON J.P., DUROURE C., ISAKA H.,
JOLY A., LEMAITRE Y., PIRCHER V., TARDIEU J., TESTUD J.)
Expérience Fronts 87 - Participation Française : Objectifs
scientifiques - Projet
Projet, juillet 1985

2415 COLLECTIF [U.K. and French Steering Groups BROWNING K.A., HOSKINS
B.J., JONAS B.R., THORPE A.J., DUROURE C., JOLY A., LEMAITRE Y.,
PIRCHER V., TESTUD J.]
Mesoscale frontal dynamics project
Report - Draft 1, novembre 1985

2416 ELOURAGINI S.
Etude d'une ligne de convection orageuse à partir des données de
l'expérience Landes-Fronts 84
Rapport de Stage DEA, Paris, juin 1985

2417 PETITDIDIER M., NEY R.
Réseau de recherche et réseau opérationnel : Etude et réalisation
d'un prototype de radar S.T.
*Rapport établi par le C.R.P.E. pour l'E.E.R.M., dans le cadre de la
convention I.N.A.G. No. 16/84, novembre 1985*

1986

- 2418 AMAYENC P., VIDAL-MADJAR D.
Projet d'étude de la faisabilité d'un système actif de mesure des précipitations depuis l'espace
Rapport au C.N.E.S., 18 pp., novembre 1986
- 2419 BROVELLI P.
Etude d'une ligne de convection observée aux moyennes latitudes au cours de l'expérience Fronts 84
Rapport de stage (Ecole Nationale de la Météorologie ITM 83/86) Toulouse, France, 20 juin 1986
- 2420 BROWNING K.A., TESTUD J.
Mesoscale Frontal Dynamics Project / FRONTS 87
Report 1 - Joint Project Proposal (prepared from plans of the UK and French Steering Groups), CRPE/Met. Office, août 1986
- 2421 COLLECTIF [U.K. and French Steering Groups BROWNING K.A., HOSKINS B.J., JONAS B.R., THORPE A.J., DUROURE C., JOLY A., LEMAITRE Y., PIRCHER V., TESTUD J.]
Mesoscale frontal dynamics project
Report - Draft 3, mars 1986

1987

- 2422 COLLECTIF
Expérience FRONTS 87 - Mode opératoire des radars RONSARD
Rapport interne CRPE, 17 pp., septembre 1987
- 2423 GONDEAU J.
Modulations d'impulsions pour un radar météorologique embarqué sur avion : Etude comparative entre plusieurs systèmes d'émission
Rapport de Stage DEA "Méthodes physiques en Télédétection", Paris, juin 1987
- 2424 LUNNON R.W., LEMAITRE Y.
Mesoscale Frontal Dynamics Project / FRONTS 87
Report 4 - Observational and logistical aspects of the project, août 1987
- 2425 TESTUD J., LEMAITRE Y.
Mesoscale Frontal Dynamics Project / FRONTS 87
Report 6 - Résumé des procédures opérationnelles, septembre 1987
- 2426 THORPE A.J., GARNER S.T., TESTUD J.
Mesoscale Frontal Dynamics Project / FRONTS 87
Report 3 - Theoretical aspects of the project, CRPE/Met. Office, avril 1987

1988

- 2427 AMAYENC P., TESTUD J.
LANDES-FRONTS 84 : Exploitation de données des radars RONSARD
Rapport de synthèse final DRET, 21 pp., Paris, juin 1988
- 2428 BENNEJEAN P.
Tomographie d'une cellule pluvieuse par radar
Rapport de Stage DEA d'Astrophysique et Techniques Spatiales, Universités Paris 7 et XI, juin 1988
- 2429 COLLECTIF [Contributions C.R.P.E. de AMAYENC P., BAUDIN F., BERNARD R., EYMARD L., MARZOUG M., TESTUD J., VIDAL-MADJAR D.]
BEST : Bilan Energétique du Système Tropical
Objectifs scientifiques et définition préliminaire d'une mission spatiale dans le cadre des programmes GEWEX et Geosphère-Biosphère
Document de synthèse, Eds. CNES, Toulouse, France, 58 pp., septembre 1988
- 2430 COLLECTIF [Contributions C.R.P.E. de AMAYENC P., BAUDIN F., BERNARD R., MARZOUG M.]
Analyse préliminaire de la mission BEST (Bilan Energétique du Système Tropical) préparée par CRPE, LMD, LOA, SA, CNES-CST/DP
Document de Travail CNES/SCM/ESM No. 339, 234 pp., août 1988
- 2431 COLLECTIF [Contributions C.R.P.E. de AMAYENC P., BAUDIN F., BERNARD R., EYMARD L., MARZOUG M., TESTUD J., VIDAL-MADJAR D.]
BEST : Tropical System Energy Budget
Scientific objectives and preliminary definition study of a space mission dedicated to GEWEX and Global Change
Synthesis Document, Eds. CNES, Toulouse, France, 58 pp., octobre 1988

1989

- 2432 COLLIER C., SZEJWACH G., TESTUD J.
Mesures des précipitations depuis l'espace
Rapport ESA [à paraître, 1989]

THESES**1985****2601 OCHOU A.D.**

Estimation des taux de précipitation par radar météorologique.
Application aux données de l'expérience COPT 81
Thèse de 3ème cycle, Paris VI, 25 septembre 1985

1987**2602 ROUX F.**

Les lignes de grains de "COPT 81" : Environnement, précipitations,
cinématique et thermodynamique
Thèse de Doctorat d'Etat, Université Paris 7, 7 mai 1987

1989**2603 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 Paris 6, 25 avril 1989

COMMUNICATIONS A DES CONGRES (n'ayant pas donné lieu à publication)

1985

- 2701 BERTIN F., MASSEBEUF M., PETITDIDIER M., GLASS M., CREMIEU A.
The S.T. PROUST radar : First results
Vth I.A.G.A. Scientific Assembly
Prague, Tchécoslovaquie, 05-17 août, 1985
- 2702 LEMAITRE Y.
Systèmes frontaux : Structure à mesoéchelle et organisation en bande des précipitations [Exposé de synthèse sur invitation]
Journées d'Etudes de l'ATP "Recherches Atmosphériques" de l'I.N.S.U.
Paris, France, 23-24 septembre, 1985
- 2703 LEMAITRE Y.
The Landes Fronts 84 experiment - Preliminary results
Workshop on "Mesoscale Frontal Dynamics Project"
Londres, G.B., 21-22 novembre, 1985
- 2704 LEMAITRE Y.
La convection dans les systèmes frontaux - Résultats et perspectives
Journées Scientifiques et Techniques du C.R.P.E.
Issy-Les-Moulineaux, France, octobre 1985
- 2705 LEMAITRE Y., SCIALOM G., AMAYENC P.
Structure dynamique et thermodynamique à moyenne échelle d'une bande de pluie frontale observée pendant l'expérience Landes Fronts 84
Journées d'Etudes de l'ATP "Recherches Atmosphériques" de l'I.N.S.U.
Paris, France, 23-24 septembre, 1985
- 2706 OCHOU D.
Estimation des taux précipitants à partir des mesures radar et des stations au sol durant COPT 81
Séminaire au C.R.P.E.
Issy-Les-Moulineaux, France, 29 mars 1985
- 2707 PETITDIDIER M.
Physico-chimie des aurores
Séminaire au Laboratoire de Physique des Gaz et des Plasmas
Orsay, France, mars 1985
- 2708 PETITDIDIER M.
Dynamics of the middle atmosphere - A review (Exposé de synthèse sur invitation)
7th ESA Symposium on "European Rocket and Balloon Programs and Related Research"
Loen, Norvège, 05-11 mai, 1985
- 2709 PETITDIDIER M.
Du côté de chez PROUST : Une nouvelle technique d'observation de l'atmosphère moyenne (Radar S.T.)
Séminaire au Service d'Aéronomie
Verrières-le-Buisson, France, 13 décembre 1985

- 2710 ROUX F.
Dynamique et thermodynamique de deux lignes de grains observées durant "COPT 81"
Colloque sur les Recherches Françaises en Météorologie et Télédétection sur le Continent Africain
Ecole Polytechnique, Palaiseau, France, 18-20 juin, 1985
- 2711 ROUX F.
Progress on analysis of data from West African squall lines and frontal structures in S.W. of France
Séminaire au N.S.S.L.
Norman, Oklahoma, U.S.A., 11 octobre 1985
- 2712 ROUX F.
Progress on analysis of data from West African squall lines and frontal structures in S.W. of France
Séminaire au N.C.A.R.
Boulder, Colorado, U.S.A., 23 octobre 1985
- 2713 SCIALOM G., LEMAITRE Y.
Une nouvelle méthode de restitution du champ de vent à moyenne échelle à partir des mesures à plusieurs radars Doppler
Journées d'Etudes de l'ATP "Recherches Atmosphériques" de l'I.N.S.U.
Paris, France, 23-24 septembre, 1985
- 2714 TESTUD J.
A comparison of the dynamics of two African squall line observed during COPT 81 experiment
Séminaire au N.C.A.R.
Boulder, Colorado, U.S.A., 12 septembre 1985
- 2715 TESTUD J.
The French contribution to the mesoscale frontal dynamics project
Summer School in "Mesoscale Meteorology"
Reading, G.B., 08-12 juillet, 1985
- 2716 TESTUD J.
Capabilities of Radar facilities in France
Workshop on "Mesoscale Frontal Dynamics Project"
Londres, G.B., 21-22 novembre, 1985
- 2717 TESTUD J.
Proposal for French contribution to Mesoscale Frontal Dynamics field program (Expérience FRONTS 87)
Workshop on "Mesoscale Frontal Dynamics Project"
Londres, G.B., 21-22 novembre, 1985
- 2718 TESTUD J.
Frontal dynamics from Doppler radar [Exposé de synthèse sur invitation]
Meeting on "Atmospheric Fronts" of the Royal Meteorological Society
Londres, G.B., 20 novembre 1985

- 2719 TESTUD J.
Présentation du projet de radar météorologique Doppler embarqué sur le futur avion de recherche atmosphérique FOKKER 27
Séminaire au DFVLR
Munich, R.F.A., 11 décembre 1985
- 1986**
- 2720 BROVELLI P.
Etude d'une ligne de convection observée aux moyennes latitudes au cours de l'expérience FRONTS 84
Séminaire au C.R.P.E.
Issy-Les-Moulineaux, France, 13 juin 1986
- 2721 LALANDE T.
Modélisation numérique d'une ligne de grains tropicale :
Discrétisation par la méthode des éléments finis, premières étapes
Séminaire au C.R.P.E.
Issy-Les-Moulineaux, France, 13 janvier 1986
- 2722 LEMAITRE Y., TESTUD J.
Fronts 84 : Dynamique de plusieurs bandes de pluie frontales
Journées d'Evaluation de l'ATP "Recherches Atmosphériques" de l'I.N.S.U.
Clermont-Ferrand, France, septembre 1986
- 2723 ROUX F.
Dynamics of tropical squall lines observed during the COPT 81 experiment in West Africa
Séminaire à ECMRWF
Reading, G.B., 26 juin 1986
- 2724 ROUX F., AMAYENC P., TESTUD J.
COPT 81 : Dynamique des lignes de grains tropicales - Bilan de la campagne
Journées d'Evaluation de l'ATP "Recherches Atmosphériques" de l'I.N.S.U.
Clermont-Ferrand, France, septembre 1986
- 2725 SCIALOM G.
Trois nouvelles méthodes de restitution du champ de vent à moyenne échelle à l'aide de plusieurs radars Doppler
Séminaire au C.R.P.E.
Issy-Les-Moulineaux, France, 10 avril 1986
- 2726 TESTUD J.
Apport des radars Doppler
Journées-Séminaire de Prospective Scientifique sur le projet BEST
Ecole Polytechnique, Palaiseau, France, 27-28 février, 1986
- 2727 TESTUD J.
Présentation du projet de radar météorologique Doppler embarqué sur le futur avion de recherche atmosphérique FOKKER 27
Séminaire a Istituto di fisica dell'Atmosfera
Rome, Italie, 20 janvier 1986

1987

- 2728 AMAYENC P.
Etude de la convection profonde par radar Doppler
Conférence aux élèves de la section Mécanique (Option "Turbulence et Ecoulements Planétaires")
Palaiseau, France, Ecole Polytechnique, 17 juin 1987
- 2729 AMAYENC P.
Prospectives pour la mesure des précipitations depuis l'espace
Réunion de "Réflexion sur les Perspectives pour la Météorologie Spatiale Opérationnelle à l'Horizon 1995 et au delà"
Météorologie Nationale, Boulogne, France, 25 février 1987
- 2730 BERTIN F.
Utilisation des radars S.T. pour la recherche et les applications opérationnelles
Journées d'Etudes et de Prospective du Programme "Atmosphère Météorologique" de l'I.N.S.U.
Ifremer, Brest, France, 06-07 octobre, 1987
- 2731 BERTIN F., PETITDIDIER M., MASSEBEUF M.
Fine structure of the turbulence observed by a high-altitude resolution S.T. radar
E.G.S. XXIIth General Assembly
Strasbourg, France, 09-14 avril, 1987
- 2732 CHONG M.
Comparaison de diverses méthodes d'estimation du taux précipitant par radar
Séminaire au CNRM
Toulouse, France, 18 février 1987
- 2733 CHONG M., OCHOU D.
Le taux précipitant par radar : Une étude comparative de diverses méthodes simples d'ajustement
Journées d'Etudes et de Prospective du Programme "Atmosphère Météorologique" de l'I.N.S.U.
Ifremer, Brest, France, 06-07 octobre, 1987
- 2734 CREMIEU A., BERTIN F., THOMAS D.
S.T. Radar observation of a wave-turbulence interaction
E.G.S. XXIIth General Assembly
Strasbourg, France, 09-14 avril, 1987
- 2735 LEMAITRE Y.
FRONTS 87 detailed operations plans : Surface observations and soundings
Workshop II on "Mesoscale Frontal Dynamics Project"
Londres, G.B., janvier 1987
- 2736 MARZOUG M.
Simulation d'un radar spatial pour la mesure des précipitations : Premiers résultats et perspectives
Séminaire au Centre Spatial de Toulouse [CNES]
Toulouse, France, 19 juin 1987

- 2737 MAZAUDIER C., BRUN E., CROCHET M., LANDAIS D., PETITDIDIER M., WEILL A.
Space time structure of a front observed during the Mesogers's
campaign
IAMAP Section M4
Vancouver, Canada, août 1987
- 2738 PETITDIDIER M.
Les radars Stratosphériques-Troposphériques [Exposé de synthèse
sur invitation]
Réunion Annuelle 1987 du Programme UARS,
Paris, France, 12 mars 1987
- 2739 PETITDIDIER M.
Les radars S.T.
*Journées d'Etudes et de Prospective du Programme "Atmosphère
Météorologique" de l'I.N.S.U.*
Ifremer, Brest, France, 06-07 octobre, 1987
- 2740 PETITDIDIER M.
Principes du radar S.T.; Le projet radar S.T. INSU-METEO [Exposé de
synthèse sur invitation]
*Réunion organisée par le S.E.T.I.M. (Météorologie Nationale) sur "La
Mesure du Vent en Altitude - Besoin et Tendances"*
Trappes, France, 1er juillet 1987
- 2741 RICHARD P., BONDIOU A., HELLOCO F., TAUDIERE I., LOJOU J.Y.
Spatio-temporal analysis of lightning discharge phenomena
U.R.S.I. 22nd General Assembly
Tel Aviv, Israël, 24 août - 04 septembre, 1987
- 2742 ROUX F., SUN J., HAUSER D.
Diagnostic modelling of tropical squall lines
E.G.S. XIIIth General Assembly
Strasbourg, France, 09-14 avril, 1987
- 2743 TESTUD J.
FRONTS 87 detailed operations plans : Special radar observations
Workshop II on "Mesoscale Frontal Dynamics Project"
Londres, G.B., janvier 1987
- 2744 TESTUD J.
Doppler radar observation of the evolution of thunderstorm wind and
rain
Symposium IGARSS'87
Ann Arbor, Michigan, U.S.A., 18-21 mai, 1987
- 2745 TESTUD J.
Variational analysis in data processing of Doppler radars, principle
of an airborne stereoradar and the French airborne Doppler radar
project
Séminaire au "Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory"
Miami, Florida, U.S.A., 20 mai 1987

- 2746 TESTUD J.
The principle of an airborne stereoradar
Séminaire au N.C.A.R.
Boulder, Colorado, U.S.A., 29 mai 1987
- 2747 TESTUD J.
Variational analysis in data processing of meteorological radars and principle of an airborne stereoradar
Séminaire au G.L.A.S., G.S.F.C.
Greenbelt, Maryland, U.S.A., 11 juin 1987
- 2748 TESTUD J.
Projet de radar Doppler aéroporté sur l'ARAT
Séminaire au CNRM
Toulouse, France, 22 juin 1987
- 2749 TESTUD J.
Le programme radar météorologique Doppler embarqué
Journées d'Etudes et de Prospective du Programme "Atmosphère Météorologique" de l'I.N.S.U.
Ifremer, Brest, France, 06-07 octobre, 1987
- 1988**
- 2750 AMAYENC P.
The rain radar of the B.E.S.T. space mission
BEST-TRMM Meeting
C.N.E.S., Paris, France, 03-04 novembre, 1988
- 2751 GIRARDIN J.
Le radar météorologique Doppler aéroporté ASTERIX : Etude comparative de plusieurs schémas d'impulsions
Séminaire C.R.P.E.
Issy Les Moulineaux, France, 12 octobre 1988
- 2752 HAUSER D., ROUX F., SCIALOM G., TESTUD J.
Structure à moyenne et petite échelle du champ de vent et de précipitation dans le cas du front froid du 12 janvier 1988
Journées d'Evaluation du Programme Atmosphère Météorologique de l'I.N.S.U.
Toulon, France, 15-16 septembre, 1988
- 2753 LEMAITRE Y.
FRONTS 84 : Aspects dynamiques des lignes convectives - Cas des 18 mai et 4 juin 1984
Journées d'Evaluation du Programme Atmosphère Météorologique de l'I.N.S.U.
Toulon, France, 15-16 septembre 1988
- 2754 MARZOUG M.
Définition d'un radar spatial pour la mesure des précipitations dans le cadre du projet BEST
Séminaire C.R.P.E.
Issy Les Moulineaux, France, 12 octobre 1988

- 2755 PETITDIDIER M.
What frequencies for an operational stratospheric tropospheric radar ?
COST 74
Bruxelles, Belgique, 03-04 février, 1988
- 2756 PETITDIDIER M., BERTIN F., MASSEBEUF M., NIANGORAN C.
Observation of a frontal passage during FRONTS 87 experiment using a UHF radar
4th M.S.T. Radar Workshop
Kyoto, Japon, 24 novembre - 2 décembre, 1988
- 2757 PETITDIDIER M., KLAUS V., BAUDIN F., CROCHET M., PENAZZI G., QUINTY P.
The 961/45 MHz bifrequency radar for wind profiling and hydrometeor detection
Meeting on "Lower Tropospheric Profiling : Needs and Technologies"
Boulder, Colorado, U.S.A., 31 mai - 03 juin, 1988
- 2758 PETITDIDIER M., KLAUS V., BAUDIN F., CROCHET M., PENAZZI G., QUINTY P.
The INSU/METEO bifrequency S.T. radar
4th M.S.T. Radar Workshop
Kyoto, Japon, 24 novembre - 2 décembre, 1988
- 2759 ROUX F.
Présentation de l'expérience Front 87 et de quelques résultats
Séminaires LODYC
LPCM, Université Pierre & Marie Curie, Paris VI, 18 octobre 1988
- 2760 ROUX F.
Etude de systèmes nuageux précipitants par des radars météorologiques Doppler
Séminaire au DEA de Télédétection
Université Paris 7, 21 octobre 1988
- 2761 ROUX F.
Preliminary results of studies using data from FRONTS 87
Conference at Met. Office Research Sub Committee Meeting
Bracknell, G.B., 12 décembre 1988
- 2762 SCIALOM G., LEMAITRE Y.
Application of variational analysis to dynamical and thermodynamical studies made from meteorological Doppler radar data
XIIIth General Assembly of the European Geophysical Society [EGS]
Bologne, Italie, 21-25 mars, 1988
- 2763 SUN J.
Thermodynamique des parties stratiformes des lignes de grains de COPT 81
Séminaire C.R.P.E., 16 décembre 1988
- 2764 TESTUD J.
Convective structures using Doppler radar observations
Meeting of the Meteorological Royal Society on "The Mesoscale Frontal Dynamics Project"
Londres, G.B., 20 avril 1988

- 2765 TESTUD J.
Doppler radar observations in the FRONTS 87 experiment
International Symposium on "Synoptic and Mesoscale Weather Disturbances Affecting Europe"
Paris, France, 04-06 mai, 1988
- 2766 TESTUD J.
FRONTS 87 : Bilan de la phase expérimentale
Journées d'Evaluation du Programme Atmosphère Météorologique de l'I.N.S.U.
Toulon, France, 15-16 septembre, 1988
- 2767 TESTUD J.
Mesures des précipitations depuis l'espace
Séminaire DEA Télédétection
Université Paris 7, 25 novembre 1988
- 2768 THOMAS D., PETITDIDIER M., BERTIN F., TEITELBAUM H., WOODMAN R.F.
Comparison between the Arecibo 430 MHz S.T. radar and in situ balloon measurements
4th M.S.T. Radar Workshop
Kyoto, Japon, 24 novembre - 2 décembre, 1988

1989

- 2769 ROUX F.
Recent results obtained from Doppler radar data of the COPT 81 and FRONTS 87 experiments
National Severe Storms Laboratory Seminar
Norman, Oklahoma, U.S.A., 6 avril 1989
- 2770 ROUX F., HAUSER D.
Doppler radar observations of a cold front on 12-13 January 1988 during MFDP/FRONTS 87
European Geophysical Society XIV General Assembly [E.G.S.]
Barcelone, Espagne, 13-17 mars, 1989
- 2771 TESTUD J.
Projet de radar météorologique aéroporté - Définitions, applications
Conférence au C.N.F.G.G.
Boulogne, France, 13 janvier 1989

ARTICLES DE VULGARISATION - FILMS

1985

- 2901 AMAYENC P., TESTUD J. (Réalisatrice : C. ROULET)
"Orages étroitement surveillés"
Film scientifique, production CNRS Audiovisuel, 1985

1987

- 2902 GRAPPIN C., TESTUD J.
'FRONTS 87' une campagne franco-britannique de mesures météorologiques
Plaquette d'Information et de Vulgarisation, Document réalisé par le C.N.R.S., 1987

1988

- 2903 PETITDIDIER M.
What frequencies for an operational stratospheric-tropospheric radar ?
Official Request for Frequency Allocations for the Operation of Wind Profilers - COST 74 [Appendix B], juillet 1988

S C I E N C E S P O U R L ' O B S E R V A T I O N D E L A T E R R E

ARTICLES PUBLIES DANS LES REVUES A COMITE DE LECTURE

1985

- 3001 CHEEVASUVIT F., TACONET O., VIDAL-MADJAR D., MAITRE H.
Thermal structure of an agricultural region as seen by NOAA-7 AVHRR
Remote Sens. Environ., 17 (2), 153-163, 1985
- 3002 CLAVERIE J., KLAPISZ C.
Meteorological features leading to multipath propagation observed in
the PACEM 1 experiment
Ann. Télécomm., 40 (11-12), 660-671, 1985
- 3003 EYMARD L.
Convective organization in a tropical boundary layer : An
interpretation of Doppler radar observations using Asai's model
J. Atmos. Sci., 42 (24), 2844-2855, 1985
- 3004 KLAPISZ C., WEILL A.
Modélisation semi-empirique de la couche limite nocturne. Application
au calcul du profil d'indice de réfraction
Ann. Télécomm., 40 (11-12), 672-679, 1985

1986

- 3005 BERNARD R., SOARES J.V., VIDAL-MADJAR D.
Differential bare fields drainage properties from airborne microwave
observations
Water Resour. Res., 22 (6), 869-875, 1986
- 3006 BERNARD R., VIDAL-MADJAR D., BAUDIN F., LAURENT G.
Data processing and calibration for an airborne scatterometer
IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, GE-24 (5), 709-716, 1986
- 3007 CHEEVASUVIT F., MAITRE H., VIDAL-MADJAR D.
A robust method for picture segmentation based on split-and-merge
procedure
Comput. Graphics Image Process., 34, 268-281, 1986
- 3008 DESBRAUX G., WEILL A.
Mean turbulent properties of the stable boundary layer observed
during the "COAST" experiment
Atmos. Res., 20 (2-4), 151-164, 1986

- 3009 TACONET O., BERNARD R., VIDAL-MADJAR D.
Evapotranspiration over an agricultural region using a surface flux/temperature model based on NOAA-AVHRR data
J. Climate Appl. Meteor., 25 (3), 284-307, 1986
- 3010 TACONET O., CARLSON T., BERNARD R., VIDAL-MADJAR D.
Evaluation of a surface/vegetation parameterization using satellite measurements of surface temperature
J. Climate Appl. Meteor., 25 (11), 1752-1767, 1986
- 3011 WEILL A.
Perturbations de la couche limite atmosphérique au passage des fronts
Météorologie (La), VII (12), 29-34, 1986
- 3012 WEILL A., KLAPISZ C., BAUDIN F.
The CRPE minisodar : Applications in micrometeorology and in physics of precipitations
Atmos. Res., 20 (2-4), 317-333, 1986
- 1987**
- 3013 BERNARD R., FREZAL M.E., VIDAL-MADJAR D., GUYON D., RIOM J.
Nadir looking airborne radar and possible applications to forestry
Remote Sens. Environ., 21 (3), 297-309, 1987
- 3014 GERA B.S., WEILL A.
Doppler sodar analysis of the frontal friction in relation to the frontal slope
J. Climate Appl. Meteor., 26 (8), 885-891, 1987
- 3015 SOARES J.V., BERNARD R., VIDAL-MADJAR D.
Spatial and temporal behaviour of a large agricultural area as observed from airborne C-band scatterometer and thermal infrared radiometer
Int. J. Remote Sensing, 8 (7), 981-996, 1987
- 3016 WEILL A., BLEZ M., LECA F.
Gravity waves and horizontal mixing in the atmospheric boundary layers
Ann. Geophysicae, 5 (B5), 413-420, 1987

1988

- 3017 ANDRE J.C., GOUTORBE J.P., PERRIER A., BECKER F., BESSEMOULIN P., BOUGEULT P., BRUNET Y., BRUTSAERT W., CARLSON T., CUENCA R., GASH J., GELPE J., HILDEBRAND P., LAGOUARDE P., LLOYD C., MAHRT L., MASCART P., MAZAUDIER C., NOILHAN J., OTTLE C., PAYEN M., PHULPIN T., STULL R., SHUTTLEWORTH J., SCHMUGGE T., TACONET O., TARRIEU C., THEPENIER R.M., VALENCOGNE C., VIDAL-MADJAR D., WEILL A.
Evaporation over land-surfaces : First results from HAPEX-MOBILHY special observing period
Ann. Geophysicae, 6 (5), 477-492, 1988

- 3018 EYMARD L., WEILL A.
Dual Doppler radar investigation of the tropical convective boundary layer
J. Atmos. Sci., 45 (5), 853-864, 1988
- 3019 EYMARD L., WEILL A.
Les flux de surface : Méthodes de détermination à partir de données satellitaires
Météorologie (La), VII (20), 35-48, 1988
- 3020 KONG X.N., VIDAL-MADJAR D.
Effet de la résolution spatiale sur les propriétés statistiques des images satellites : Une étude de cas
Int. J. Remote Sensing, 9 (8), 1315-1328, 1988
- 3021 MASMOUDI M., WEILL A.
Doppler sodar measurement of atmospheric mesoscale spectra : The Taylor hypothesis analysis
J. Climate Appl. Meteor., 27 (7), 864-873, 1988
- 3022 SOARES J.V., BERNARD R., TACONET O., VIDAL-MADJAR D., WEILL A.
Estimation of a bare soil evaporation from airborne measurements
J. Hydrol., 99 (3), 281-296, 1988
- 3023 TACONET O., VIDAL-MADJAR D.
Application of fluxes algorithm to a field campaign over a vegetated area
Remote Sens. Environ., 26 (3), 227-239, 1988
- 3024 WEILL A., BAUDIN F., MAZAUDIER C., DESBRAUX G., KLAPISZ C., GOUTORBE J.P., DRIEDONKS A.G.M., DRUILHET A., DURAND M.
A mesoscale "shear convective" organization observed during coast experiment : Acoustic sounder measurements
Bound. Layer Meteo., 44 (4), 359-371, 1988
- 3025 WEILL A., MAZAUDIER C., BAUDIN F., KLAPISZ C., LECA F., MASMOUDI M., VIDAL-MADJAR D., BERNARD R., TACONET O., GERA B.S., SAUVAGET A., DRUILHET A., DURAND P., DUBOSCLARD G., CANEIL J.Y., MERY P., BELJAARS A.G.M., MONNA W.A.A., VAN_DER_VLIET J.G., CROCHET M., THOMSON D., CARLSON T.
"Mesogers 84" experiment : A report
Bound. Layer Meteo., 42 (3), 251-264, 1988

1989

- 3026 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 (1), 171-179, 1989
- 3027 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. [à paraître, 1989]
- 3028 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. [à paraître, 1989]

- 3029 JARRY F., NORMAND M., BERNARD R., VIDAL-MADJAR D.
Observation de la réponse des surfaces agricoles aux pluies par
télédétection hyperfréquence active aéroportée
Hydrologie Continentale [à paraître, 1989]
- 3030 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. [à paraître, mai 1989]
- 3031 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, 1989]
- 3032 OTTLE C., VIDAL-MADJAR D., GIRARD G.
Remote sensing applications to hydrological modelling
J. Hydrol. [à paraître, 1989]

ACTES DE CONFERENCES INTERNATIONALES ET OUVRAGES COLLECTIFS

1985

- 3201 BERNARD R., MILLET J.M., CAUNEAU F.
Atmospheric water content measurement and altimeter tropospheric path correction from the ERS-1 microwave radiometer
in Proceedings of the 1985 International Geoscience and Remote Sensing Symposium [IGARSS'85], pp. 930-937, IEEE, 1985
(Amherst, Mass., U.S.A., 7-9 octobre, 1985)
- 3202 BERNARD R., VIDAL-MADJAR D.
Possible applications of microwave surface soil moisture remote sensing
in Proceedings of the 1985 International Geoscience and Remote Sensing Symposium [IGARSS'85], pp. 594-600, IEEE, 1985
(Amherst, Mass., U.S.A., 7-9 octobre, 1985 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 3203 GAL C., WEILL A. Eds.
Abstracts of contributed papers
Third International Symposium on "Acoustic Remote Sensing of the Atmosphere and Oceans", GAL C. & A. WEILL Eds., 133 pages, 1985
(Issy-Les-Moulineaux, France, 14-17 octobre, 1985)

1986

- 3204 BERNARD R.
Mesure de l'eau liquide par radiométrie hyperfréquence
Actes des Journées-Séminaire de Prospective Scientifique sur le Projet BEST, pp. 11-33, 1986
(Ecole Polytechnique, Palaiseau, 27-28 février, 1986)
- 3205 BERNARD R., TACONET O., VIDAL-MADJAR D.
Toward a satellite system to monitor the spatial and temporal behaviour of the soil water content
in Proceedings of the 1986 International Geoscience and Remote Sensing Symposium [IGARSS'86] on "Remote Sensing : Today's Solutions for Tomorrow's Information Needs", ESA SP-254, pp. 751-753, 1986
(Zurich, Suisse, 08-11 septembre, 1986)
- 3206 CLAVERIE J., KLAPISZ C., SYLVAIN M.
The use of acoustic sounding in multipath propagation studies
in Proceedings of the Third International Symposium on "Acoustic Remote Sensing of the Atmosphere and Oceans", pp. 485-496, 1986
(Issy-Les-Moulineaux, France, 14-17 octobre, 1985)
- 3207 DESBRAUX G., WEILL A.
Spectral density of velocity parameterization using the Doppler sounder of the C.R.P.E. during "COAST" experiment
in Proceedings of the Third International Symposium on "Acoustic Remote Sensing of the Atmosphere and Oceans", pp. 195-221, 1986
(Issy-Les-Moulineaux, France, 14-17 octobre, 1985)

- 3208 DUBOSCLARD G., MAZAUDIER C., WEILL A.
Sodar network observations of the mixed-layer growth over complex terrain
in Proceedings of the Third International Symposium on "Acoustic Remote Sensing of the Atmosphere and Oceans", pp. 171-184, 1986
(Issy-Les-Moulineaux, France, 14-17 octobre, 1985)
- 3209 EYMARD L., WEILL A.
Les flux de surface : Méthodes de détermination actives, passives, microonde et infrarouge visible
Actes des Journées-Séminaire de Prospective Scientifique sur le projet BEST, pp. 103-128, 1986
(Ecole Polytechnique, Palaiseau, France, 22 février 1986)
- 3210 TACONET O.
Modelisation of evapotranspiration and soil available water over an agricultural region applicable for remote sensing
in Proceedings of the ISLSCP Conference on "Parameterization of Land-Surface Characteristics, Use of Satellite Data in Climate Studies, and First Result of ISLSCP", ESA SP-248, pp. 65-71, 1986
(Rome, Italie, 02-06 décembre, 1985)
- 3211 TACONET O., CARLSON T.
Validation of a surface flux of temperature model based on I.R. satellite thermography (NOAA) by means of acoustic Doppler soundings
in Proceedings of the Third International Symposium on "Acoustic Remote Sensing of the Atmosphere and Oceans", p. 193, 1986
(Issy-Les-Moulineaux, France, 14-17 octobre, 1985)
- 3212 WEILL A.
Wind profiles as estimated by an acoustic Doppler sodar : Applications in the atmospheric boundary layer (The local and "spatial" point of view)
in Proceedings of the Alfred-Wegener-Konferenz on "Ground Based Remote Sensing Techniques for the Troposphere", pp. 161-169, 1986
(Hambourg, R.F.A., 25-28 août, 1986 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 3213 WEILL A.
Turbulent parameters measurements with sodar techniques : Momentum fluxes, virtual temperature heat flux, turbulent dissipation rate : Methods, representativeness [Exposé de synthèse sur invitation]
in Proceedings of the Alfred-Wegener-Konferenz on "Ground Based Remote Sensing Techniques for the Troposphere", pp. 185-193, 1986
(Hambourg, R.F.A., 25-28 août, 1986 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 3214 WEILL A.
Gravity waves and horizontal mixing in the atmospheric boundary layer
in Proceedings of the Open U.R.S.I. Symposium (Commission F) on "Wave Propagation : Remote Sensing and Communications", pp. 5.6.1-5.6.4, U.R.S.I., 1986
(Durham, New Hampshire, U.S.A., 28 juillet - 01 août, 1986)

3215 WEILL A. Ed.
Atmospheric Research, 20 (2-4), 1986
 [Special Issue : Acoustic Remote Sensing of the Atmosphere and Oceans,
 (18 articles), Elsevier, 1986]

3216 WEILL A., BAUDIN F., KLAPISZ C.
 The minisodar of C.R.P.E. : Application in micrometeorology and in
 physics of precipitations
*in Proceedings of the Third International Symposium on "Acoustic
 Remote Sensing of the Atmosphere and Oceans", pp. 355-390, 1986*
 (Issy-Les-Moulineaux, France, 14-17 octobre, 1985)

1987

3217 KONG X.N., VIDAL-MADJAR D.
 Effect of resolution on texture. Application to nearly simultaneous
 AVHRR and MSS images of an agricultural region
*in Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing
 Symposium [IGARSS'87], pp. 103-109, IEEE, 1987*
 (Ann Arbor, Michigan, U.S.A., 18-21 mai, 1987)

3218 VIDAL-MADJAR D.
 Mesures du contenu en eau des sols depuis l'espace et application au
 bilan hydrique régional
*Actes de l'Ecole d'Eté de "Climatologie et Observations Spatiales",
 C.N.E.S., pp. 609-628, Cepadues-Editions, 1987*
 (Roscoff, France, 15-31 juillet, 1986)

3219 WEILL A., BLANC M.
 Design of an acoustic package for Titan boundary layer and surface
 properties knowledge : The ASTEK system [Acoustic System for Titan
 Environment Knowledge]
in Proceedings of the "CASSINI Surface Workshop", 16 p., E.S.A., 1987
 (Washington, U.S.A., 3 novembre, 1987)

1988

3220 GERA B.S., WEILL A.
 Sodar observations of fronts in India and France
*in Proceedings of the 4th Symposium of the International Society for
 "Acoustic Remote Sensing", BOURNE I. Ed., pp. 63-74, 1988*
 (Canberra, Australie, 16-24 février, 1988)

3221 JUNG C., REBILLARD Ph., VIDAL-MADJAR D.
 Effects of slopes and relief two-dimensional spatial frequencies on
 on spaceborne SAR imagery
*in Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing
 Symposium [IGARSS'88], ESA SP-284 (VOL III), pp. 1575-1578, 1988*
 (Edimbourg, G.B., 05-09 septembre, 1988)

3222 LIN H., VIDAL-MADJAR D.
 Hierarchical method of remotely sensed multispectral high resolution
 image classification
*in Proceedings of the Fourth International Symposium on "Optical and
 Optoelectronic Applied Science and Engineering", SPIE, U.S.A., 1988*
 (La Haye, Pays Bas, 30 mars - 03 avril, 1987)

- 3223 NASR J.M., VIDAL-MADJAR D.
Image simulation of complex geometric targets for spaceborne synthetic aperture radar
in Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium [IGARSS'88], ESA SP-284 (VOL 1), pp. 297-301, 1988
(Edimbourg, G.B., 05-09 septembre, 1988)
- 3224 WEILL A.
The meteorological measurements of the NATO 88 experiment
in Proceedings of the NATO Conference" : "Suggested Improvements and Procedures", 3 p., 1988
(Issy-Les-Moulineaux, France, 26 mai 1988)
- 3225 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., 1988
(Banyuls, France, 10-21 octobre, 1988 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 3226 WEILL A., MAZAUDIER C., LECA F., MASMOUDI M.
Doppler sodar and fluxes measurement : Climates of fluxes at horizontal scales comparable to satellite pixels
in Proceedings of the 4th Symposium of the International Society for "Acoustic Remote Sensing", BOURNE I. Ed., pp. 155-160, 1988
(Canberra, Australie, 16-24 février, 1988)
- 3227 WEILL A., MAZAUDIER C., MASMOUDI M., LECA F., DUBOSCLARD G.
A complex terrain boundary layer experiment with a Doppler sodar network, the Mesogers 84 experiment
in Proceedings of the 4th Symposium of the International Society for "Acoustic Remote Sensing", BOURNE I. Ed., pp. 147-153, 1988
(Canberra, Australie, 16-24 février, 1988)

1989

- 3228 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" [à paraître, 1989]
(Dundee, G.B., août 1988)
- 3229 BERNARD R.
Modélisation des mesures de surface de l'océan en télédétection
Actes de l'Ecole d'Eté de Télédétection Spatiale : "Aspects Physiques Modélisation" [à paraître, 1989]
(Toulouse, France, 17 août - 03 septembre, 1988)
- 3230 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 et Modélisation" [à paraître, 1989]
(Toulouse, France, 17 août - 03 septembre, 1988)

3231 TACONET O.

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" [à paraître, 1989]

(Toulouse, France, 17 août - 03 septembre, 1988)

3232 VIDAL-MADJAR D.

Diffusion d'une onde électromagnétique par une surface rugueuse aléatoire

Actes de l'Ecole d'Eté de Télédétection Spatiale : "Aspects Physiques et Modélisation" [à paraître, 1989]

(Toulouse, France, 17 août - 03 septembre, 1988)

3233 WEILL A.

Indirect measurements of fluxes using Doppler sodar

Actes de l'Ecole d'Automne Hapex on "Measurement and Parameteization of Continental Evaporation Fluxes", 15 pp., 1989

(Banyuls, France, 10-21 octobre, 1988 - Exposé de synthèse sur invitation)

NOTES TECHNIQUES ET DOCUMENTS DE TRAVAIL

1986

- 3401 BERNARD R., TACONET O., VIDAL-MADJAR D.
Travaux du groupe Télédétection du CRPE sur l'évaluation des flux de surface atmosphérique et du bilan hydrique des sols par télédétection aérospatiale [1979 - 1985]
Note Technique CRPE/145, avril 1986
- 3402 DESBRAUX G.
Documentation de logiciels de traitement des données sodar implantés sur calculateur DPS8
Document de Travail DT/CRPE/1140, mai 1986
- 3403 GERA B.S., WEILL A.
Doppler sodar analysis of the frontal friction in relation to the frontal slope
Note Technique CRPE/152, novembre 1986
- 3404 GERA B.S., WEILL A.
Evolution of the boundary layer parameters associated to a typical frontal system observed during the mesogers 84 experiment
Note Technique CRPE/153, novembre 1986
- 3405 MAZAUDIER C., LANDAIS D., RAPHALEN R., DESBRAUX G., DAVOUST C.
La base de données "Mesogers 84"
Utilisation du système de gestion de base de données relationnelle Multics Relational Data Store pour l'agencement des observations (version juin 1986)
Document de Travail DT/CRPE/1143, novembre 1986
- 3406 TACONET O., CARLSON T., BERNARD R., VIDAL-MADJAR D.
Evaluation of a surface/vegetation parameterization using satellite measurements of surface temperature
Document de Travail DT/CRPE/1134T, janvier 1986

1987

- 3407 BERNARD R., LANCELIN P., LAURENT G.
Radar observation of the Guyana rain forest
Note Technique CRPE/156, avril 1987
- 3408 LANDAIS D., MAUROY E., MAZAUDIER C.
Base de données "MESOGERS 84"
Utilisation du logiciel DISSPLA pour l'édition des données
Document de Travail DT/CRPE/1152, mars 1987

1988

- 3409 BERNARD R.
Radiometer performances for tropospheric path correction for an
Advanced Terrain Mapping Altimeter
Document de Travail DT/CRPE/1156, janvier 1988
- 3410 BOUVET J., BOUVARD M., MAZAUDIER C.
Catalogue des données sodar recueillies durant la phase d'observation
intensive de la campagne de mesures HAPLEX-MOBILHY - Mai-juin 1986
Document de Travail DT/CRPE/1165, juillet 1988
- 3411 EYMARD L.
Mesures comparées des flux sur les océans, les terres émergées et les
glaces
Note Technique CRPE/169, octobre 1988

AUTRES RAPPORTS

1985

- 3412 COLLECTIF (AMAYENC P., BERNARD R., EYMARD L., TESTUD J., MEGIE G.,
PELON J., JEGOU J.P., BARAT J., FLAMANT P., CHEDIN A., SADOURNY R.,
SZEJWACH G., FOUQUART Y.)
Projet d'expérience spatiale BEST : Bilan Energétique du Système
Tropical
*Rapport présenté au Séminaire de Prospective Scientifique du C.N.E.S.
Deauville, France, novembre 1985*

1986

- 3413 AMAYENC P., VIDAL-MADJAR D.
Projet d'étude de la faisabilité d'un système actif de mesure des
précipitations depuis l'espace
Rapport au C.N.E.S., 18 pp., novembre 1986
- 3414 COLLECTIF
Expérience "MESO-GERS 84"
Sommaire No. 2 - Les données des stations de mesure de flux Samer et
Bearn
Rapport CRPE - CNRM - INNODEV/IFME, juin 1986

1987

- 3415 BAUDIN F., WEILL A.
Faisabilité de la mesure du vent horizontal dans la couche de surface
2 m - 20 m, par sondage acoustique Doppler
Rapport de fin de contrat (CNET/EDF) du 28/01/87, Paris, mai 1987

1988

- 3416 COLLECTIF [Contributions C.R.P.E. de AMAYENC P., BAUDIN F., BERNARD R., EYMARD L., MARZOUG M., TESTUD J., VIDAL-MADJAR D.]
BEST : Bilan Energétique du Système Tropical
Objectifs scientifiques et définition préliminaire d'une mission spatiale dans le cadre des programmes GEWEX et Geosphère-Biosphère
Document de synthèse, Eds. CNES, Toulouse, France, 58 pp., septembre 1988
- 3417 COLLECTIF [Contributions C.R.P.E. de AMAYENC P., BAUDIN F., BERNARD R., EYMARD L., MARZOUG M., TESTUD J., VIDAL-MADJAR D.]
BEST : Tropical System Energy Budget
Scientific objectives and preliminary definition study of a space mission dedicated to GEWEX and Global Change
Synthesis Document, Eds. CNES, Toulouse, France, 58 pp., octobre 1988

THESES

1985

- 3601 DESBRAUX G.
Climatologie dynamique de la turbulence dans la couche limite atmosphérique durant l'expérience COAST 83 : Etude statistique à partir de sondages acoustiques
Thèse de 3ème cycle, Université de Clermont II, France, 18 septembre 1985
- 3602 EYMARD L.
Les structures convectives de la couche limite atmosphérique : Etude expérimentale et interprétations à partir des données de deux radars Doppler
Thèse de Doctorat d'Etat, Paris VI, 23 avril 1985

1986

- 3603 SOARES J.V.
Caractéristiques spatiales et temporelles d'une région agricole observée à l'aide d'un diffusiomètre en hyperfréquences et d'un radiomètre dans l'infrarouge thermique aéroportés
Thèse de Docteur-Ingénieur, Paris VII, 22 octobre 1986

1987

- 3604 AUTRET M.
Etude théorique de la sensibilité du signal rétrodiffusé en hyperfréquence aux paramètres caractéristiques d'un sol agricole : Humidité et rugosité
Thèse de l'Université Paris 7, 27 avril 1987
- 3605 KONG X.N.
Etude de la corrélation linéaire des images du satellite météorologique opérationnel NOAA6 et du satellite d'observation de la terre LANDSAT2; Etude de l'effet de la résolution spatiale sur la texture
Thèse de l'Université Paris 6, 26 mars 1987
- 3606 LIN H.
Classification d'images à l'aide de l'analyse de texture
Thèse de l'Université Paris XII, 17 décembre 1987
- 3607 RABIN R.
Utilisation du radar Doppler pour les diagnostics des changements atmosphériques préorageux
Thèse de Doctorat d'Etat, Paris 6, 26 mars 1987

3608 TACONET O.

Analyse de la thermographie infrarouge satellitaire pour la modélisation de l'évaporation sur une région agricole
Thèse de Doctorat d'Etat, Paris XI, 19 septembre 1987

1988**3609 CAUNEAU**

Etude de l'interface océan-atmosphère à partir de données de radiomètres hyperfréquence embarqués
Thèse de l'Université Paris 7, 9 novembre 1988

3610 MASMOUDI M.

Etude des propriétés physiques d'un écoulement dans la couche limite atmosphérique sur un terrain complexe au cours de l'expérience "Mesogers 84"
Thèse de l'Université Paris 6, 27 avril 1988

3611 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

ARTICLES DE VULGARISATION**3612 GENDRIN R.**

Physique et Télédétection
Bull. Sté Fse Phys., (67), 3-6, 1988

COMMUNICATIONS A DES CONGRES (n'ayant pas donné lieu à publication)

1985

- 3701 BERNARD R.
Etalonnage et validation des données de télédétection hyperfréquence
3ème Colloque International "Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection"
Les Arcs, France, 16-20 décembre, 1985
- 3702 BERNARD R.
Wind and wave modulation of radar backscattered signal
3ème Colloque International "Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection"
Les Arcs, France, 16-20, 1985
- 3703 BERNARD R., FREZAL M.E., VIDAL-MADJAR D., RIOM J.
Forêt et télédétection active en hyperfréquence : Premiers résultats d'une campagne de mesures en bande C (ERASME)
3ème Colloque International "Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection"
Les Arcs, France, 16-20 décembre, 1985
- 3704 BERNARD R., VIDAL-MADJAR D., BAUDIN F., LAURENT G.
Airborne radar calibration using statistical data analysis
1985 International Geoscience and Remote Sensing Symposium [IGARSS'85]
Amherst, Mass., U.S.A., 7-9 octobre, 1985
- 3705 EYMARD L.
Convective organization in a tropical boundary layer : An interpretation of Doppler radar observations using the ASA1's model
Symposium Mesoéchelle
Pennsylvania State University, U.S.A., 03-07 juin, 1985
- 3706 EYMARD L., WEILL A.
Upon the convective organization and energy transports in the ABL
IAMAP/IAPSO Joint Assembly
Honolulu, Hawaï, U.S.A., 05-16 août, 1985
- 3707 MAITRE H., CHEEVASUVIT F., VIDAL-MADJAR D.
Improving the "merge and split" method for image sequence segmentation
4th Scandinavian Conference on "Image Analysis"
Trondheim, Norvège, 18-20 juin, 1985
- 3708 SOARES J.V., BERNARD R., TACONET O., VIDAL-MADJAR D.
Mesures simultanées de l'émission dans l'infrarouge thermique et de la section efficace de rétrodiffusion en bande C de surfaces agricoles
3ème Colloque International "Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection"
Les Arcs, France, 16-20 décembre, 1985

- 3709 WEILL A., BAUDIN F., DESBRAUX C., MAZAUDIER C., KLAPISZ C., DRIEDONKS A.G.M.
A mesoscale "shear convective" organization and boundary layer modifications : An experimental study performed with acoustic Doppler sodars during coast experiment
Symposium Mesoechelle
Pennsylvania State University, U.S.A., 03-07 Juin, 1985
- 3710 WEILL A., DUBOSCLARD G., CANEIL J.Y., PAYEN M., DRUILHET A., BELJIAAR A., CARLSON T., THOMSON D.
"MESO-GERS 1984" - Experiment : A study of flux estimate at a mesoscale point of view
IAMAP/IAPSO Joint Symposium
Honolulu, Hawaï, U.S.A., 05-16 août, 1985
- 3711 WEILL A., DUBOSCLARD G., CANEIL J.Y., PAYEN M., DRUILHET A., BELGIAAR A., CARLSON T., THOMSON D.
"MESO-GERS 1984" - Experiment : A study of flux estimate at a mesoscale point of view
IAMAP/IAPSO Joint Assembly
Honolulu, Hawaï, U.S.A., 05-16 août, 1985
- 1986**
- 3712 AUTRET M., BERNARD R., VIDAL-MADJAR D.
Modelization of radar backscattering coefficient for application to natural surfaces
International Geoscience and Remote Sensing Symposium [IGARSS' 86]
Zurich, Suisse, 08-11 septembre, 1986
- 3713 EYMARD L.
Utilisation des satellites en météorologie et océanographie
DEA Géophysique
Université Paris XI, octobre 1986
- 3714 GERA B.S., WEILL A.
Frontal disturbances in the atmospheric boundary layer observed by Doppler SODARS and a surface meteorological network (PATAC STATIONS) during MESOGERS 83 experiment
E.G.S. Symposium on "Planetary Boundary Layer and Air Pollution Dispersion"
Kiel, R.F.A., 21-30 août, 1986
- 3715 JARRY F., VIDAL-MADJAR D., NORMAND M., BERNARD R.
Essai d'utilisation hydrologique de la télédétection active en hyperfréquence (radar aéroporté) sur bassin versant
11ème Journée du Groupe Français d'Humidimétrie Neutronique et des Techniques Associées [GFHN - 86]
Angers, France, 18-19 novembre, 1986
- 3716 WEILL A.
Trapped gravity waves and horizontal mixing in the inhomogeneous atmospheric boundary layer with the use of a Doppler SODAR network
E.G.S. Symposium on "Planetary Boundary Layer and Air Pollution Dispersion"
Kiel, R.F.A., 21-30 août, 1986

1987

- 3717 BERNARD R., VIDAL-MADJAR D.
Microwave signature of the Amazon rain forest at C-band
Microwave Signatures in Remote Sensing [URSI - Commission F]
Goteborg, Suède, 19-22 janvier, 1987
- 3718 BRUN C., VIDAL-MADJAR D., GASCUEL-ODOUX C., MEROT Ph., DUCHESNE J.,
NICOLAS H.
Utilisation du diffusiomètre hélicoptère ERASME pour la cartographie
des zones saturées sur le bassin versant agricole
*11eme Journée du Groupe Français d'Humidimétrie Neutronique et des
Techniques Associées [GFHN - 87]*
Bordeaux, France, 18-19 novembre, 1987
- 3719 EYMARD L., KLAPISZ C.
Estimation des flux de chaleur latente à l'interface à partir de
données de radiométrie hyperfréquence
*Journées d'Etudes et de Prospective du Programme "Atmosphère
Météorologique" de l'INSU*
Ifremer, Brest, France, 06-07 octobre, 1987
- 3720 MAZAUDIER C., BRUN E., CROCHET M., LANDAIS D., PETITDIDIER M., WEILL A.
Space time structure of a front observed during the Mesogers's
campaign
IAMAP Section M4
Vancouver, Canada, août 1987
- 3721 MAZAUDIER C., WEILL A.
Sodar wind speed profiles over forest boundary layer during the
Mobility's campaign
IAMAP Section M1
Vancouver, Canada, août 1987
- 3722 OTTLE C., VIDAL-MADJAR D., GIRARD G.
Satellite data in hydrological models [Exposé de synthèse sur
invitation]
E.G.S. XIIth General Assembly
Strasbourg, France, 09-14 avril, 1987
- 3723 OTTLE C., VIDAL-MADJAR D., TACONET O.
Evaluation of soil water content with satellite data during
HAPEX-MOBILHY experiment
IAMAP
Vancouver, Canada, août 1987
- 3724 WEILL A.
Apport prospectif des techniques acoustiques (sodar et sonar Doppler,
hydrophones) à la connaissance de l'organisation des transferts à la
surface de l'océan
*Journées d'Etudes et de Prospective du Programme "Atmosphère
Météorologique" de l'INSU*
Ifremer, Brest, France, 06-07 octobre, 1987

- 3725 WEILL A.
Dynamique des mouvements atmosphériques à différentes échelles et leur relation avec le transport des aérosols désertiques
Colloque "Aérosol Désertique du secteur TOAE et PIREN"
Lille, France, 22 novembre 1987
- 3726 WEILL A., LECA F.
Fluxes integration toward regional scale
E.G.S. XIth General Assembly
Strasbourg, France, 09-14 avril, 1987
- 1988
- 3727 BENMEHREZ M., OTTLE C., TACONET O.
Suivi des flux et paramètres de surface par satellite sur le site central de l'expérience HAPEX-MOBILHY
4ème Colloque International "Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection"
Aussois, France, 18-22 janvier, 1988
- 3728 BERNARD R., RIERA B., UNAL C., VIDAL-MADJAR D.
Observation de la structure de la forêt tropicale par un radar bande C à haute résolution
4ème Colloque International "Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection"
Aussois, France, 18-22 janvier, 1988
- 3729 BRUN C., GASCUEL C., MEROT P., DUCHESNE J., NICOLAS H., BERNARD R., VIDAL-MADJAR D.
Signature micro-onde monofréquence et multitemporelle d'un petit bassin agricole
4ème Colloque International "Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection"
Aussois, France, 18-22 janvier, 1988
- 3730 MAZAUDIER C., WEILL A.
Ecoulement forestier au cours d'HAPEX
Journées d'Evaluation du Programme Atmosphère Météorologique de l'INSU
Toulon, France, 15-16 septembre, 1988
- 3731 OTTLE C., VIDAL-MADJAR D.
Comparaison de différents algorithmes de restitution de la température de surface à partir de mesures dans l'infra-rouge thermique [Exposé de synthèse sur invitation]
4ème Colloque International "Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection"
Aussois, France, 18-22 janvier, 1988
- 3732 OTTLE C., VIDAL-MADJAR D.
Soil hydric budget over the HAPEX square simulated by an hydrological model and remote sensing data
E.G.S. Symposium
Bologne, Italie, 21-25 mars, 1988

- 3733 SCHMUGGE T., PHULPIN T., OTTLE C.
Atmospheric effects of TMS data
XVIIth COSPAR Meeting
Espoo, Finlande, 18-29 juillet, 1988
- 3734 TACONET O., VIDAL-MADJAR D., BECKER F.
Retrieval of surface-fluxes from remote sensing and improvement of
parameterization schemes : One dimensional transfers models [Exposé
de synthèse sur invitation]
XXVIIth COSPAR Meeting
Espoo, Finlande, 18-23 juillet, 1988
- 3735 VIDAL-MADJAR D.
Applications of active microwaves remote sensing of soil moisture
[Exposé de synthèse sur invitation]
XXVIIth COSPAR Meeting - Workshop 1
Espoo, Finlande, 22-23 juillet, 1988
- 3736 WEILL A.
Turbulence measurement with sodar [Exposé de synthèse sur invitation]
Conférence à l'Institut Hertz
Berlin, R.D.A., 8 juin 1988
- 3737 WEILL A.
Instabilité de Kelvin-Helmoltz et ondes de gravité
S\310minaire "OPN"
Issy-les-Moulineaux, France, avril 1988
- 3738 WEILL A.
Les mesures météorologiques et micrométéorologiques
Conférence DEA de Télédétection
Paris, France, 21 janvier 1988
- 3739 WEILL A.
Enseignements de la campagne Mesogers
Journées d'Evaluation du Programme Atmosphère Météorologique de l'INSU
Toulon, France, 15-16 septembre, 1988

1989

- 3740 EYMARD L.
Comparaison SMMR-Modèle Européen - Apport potentiel des données de
radiométrie hyperfréquence
Séminaire LODYC
Université Pierre et Marie Curie, Paris 6, France, 31 janvier 1989
- 3741 EYMARD L.
Potential improvement of the surface latent heat flux using satellite
precipitable water in a GCM
European Geophysical Society XIV General Assembly [E.G.S.]
Barcelone, Espagne, 13-17 mars, 1989

- 3742 MAZAUDIER C., TAGETT B., WEILL A., BOUVET J.
Sodar wind velocities above Pine forest
European Geophysical Society XIV General Assembly [E.G.S.]
Barcelone, Espagne, 13-17 mars, 1989
- 3742 OTTLE C., VIDAL-MADJAR D.
Assimilation of evaporation and soil moisture in an hydrological
model during HAPEX experiment
IAMAP Symposium on "Global Energy and Water Fluxes"
Reading, G.B., 01-05 août, 1989
- 3743 ZHONG M., WEILL A.
Estimation of net incoming radiation and surface heat flux using
NOAA7 data and/or meteorological observations during the Mesogers
experiment 1984
European Geophysical Society XIV General Assembly [E.G.S.]
Barcelone, Espagne, 13-17 mars, 1989

ARTICLES DE VULGARISATION

- 3901 GENDRIN R.**
Physique et Télédétection
Bull. Sté Fse Phys., (67), 3-6, 1988

P H Y S I Q U E D E L ' E N V I R O N N E M E N T I O N I S E

ARTICLES PUBLIES DANS LES REVUES A COMITE DE LECTURE

1985

- 1001 BAHNSEN A., JESPERSEN M., NEUBERT T., CANU P., BORG H., FRANSEN P.E.
Morphology of keV-electrons in the Earth's magnetosphere as observed
by GEOS 1
Ann. Geophysicae, 3 (1), 19-26, 1985
- 1002 BEAUJARDIERE (de La) O., WICKWAR V.B., CAUDAL G., HOLT J.M., CRAVEN
J.D., FRANK L.A., BRACE L.H., EVANS D.S., WINNINGHAM J.D., HEELIS R.A.
Universal time dependence of nighttime F-region densities at high
latitudes
J. Geophys. Res., 90 (A5), 4319-4332, 1985 [Correction : *J.
Geophys. Res.*, 91 (A1), 381, 1986]
- 1003 BERCHEM J., GENDRIN R.
Nonresonant interaction of heavy ions with electromagnetic ion
cyclotron waves
J. Geophys. Res., 90 (A11), 10,945-10,960, 1985
- 1004 BLANC M., CAUDAL G.
The spatial distribution of magnetospheric convection electric fields
at ionospheric altitudes : A review. 2 - Theories
Ann. Geophysicae, 3 (1), 27-42, 1985
- 1005 CERISIER J.C., BERTHELIER J.J., BEGHIN C.
Unstable density gradients in the high latitude ionosphere
Radio Sci., 20 (4), 755-761, 1985
- 1006 CORNILLEAU-WEHRLIN N., SOLOMON J., KORTH A., KREMSER G.
Experimental study of the relationship between energetic electrons
and ELF waves observed on board GEOS : A support to quasi-linear
theory
J. Geophys. Res., 90 (A5), 4141-4154, 1985
- 1007 ETCHETO J., CHRISTIANSEN P.J., GOUGH M.P.
Problems in the interpretation of natural plasma wave spectra
Ann. Geophysicae, 3 (4), 417-420, 1985
- 1008 ETCHETO J., SAINT MARC A.
Anomalously high plasma densities in the plasma sheet boundary layer
J. Geophys. Res., 90 (A6), 5338-5544, 1985
- 1009 FERAUDY (de) H., LEMBEGE B.
Electrostatic radiation in a hot magnetoplasma : Intrinsic
diffraction or interference effects ?
Phys. Fluids, 28 (9), 2755-2772, 1985

- 1010 FONTAINE D., BLANC M., REINHART L., GLOWINSKI R.
Numerical simulations of the magnetospheric convection including the effects of electron precipitation
J. Geophys. Res., 90 (A9), 8343-8360, 1985
- 1011 GILLMOR C.S.
Evaluation of the Nançay decimetric radiotelescope, revisited
45 Review, 3 (2), 2-12, 1985
- 1012 KLOCKER N., LUHR H., KORTH A., ROBERT P.
Observation of kinetic Alfvén waves excited at substorm onset
J. Geophys., 57, 65-71, 1985
- 1013 LE QUEAU D., PELLAT R., ROUX A.
The maser synchrotron instability in an inhomogeneous medium : Application to the generation of the Auroral Kilometric Radiation
Ann. Geophysicae, 3 (3), 273-292, 1985
- 1014 MALINGRE M., POTTELETTE R.
Excitation of broadband electrostatic noise and of hydrogen cyclotron waves by a perpendicular ion beam in a multi-ion plasma
Geophys. Res. Lett., 12 (5), 275-278, 1985
- 1015 MAZAUDIER C.
Electric currents above Saint-Santin. 3 - A preliminary study of disturbances : June 6, 1978 ; March 22, 1979 ; March 23, 1979
J. Geophys. Res., 90 (A2), 1355-1366, 1985
- 1016 MAZAUDIER C., BERNARD R., VENKATESWARAN S.V.
Saint-Santin radar observations of lower thermospheric storms
J. Geophys. Res., 90 (A3), 2885-2895, 1985 [Correction : *J. Geophys. Res.*, 90 (A7), 6685-6686, 1985]
- 1017 MAZAUDIER C., VENKATESWARAN S.V.
Strange currents over Saint-Santin
J. Geophys. Res., 90 (A10), 9727-9735, 1985
- 1018 OMURA Y., ASHOUR-ABDALLA M., GENDRIN R., QUEST K.
Heating of thermal helium in the equatorial magnetosphere : A simulation study
J. Geophys. Res., 90 (A9), 8281-8292, 1985
- 1019 POTTELETTE R.
Physical effects induced by particle beams artificially injected into space plasmas
J. Atmos. Terr. Phys., 47 (12), 1317-1330, 1985
- 1020 POTTELETTE R., TREUMANN R., BAUER O.H., LEBRETON J.P.
Generation of electrostatic shocks and turbulence through the interaction of conics with the background plasma
Geophys. Res. Lett., 12 (1), 57-60, 1985
- 1021 VILLAIN J.P., CAUDAL G., HANUISE C.
A SAFARI-EISCAT comparison between the velocity of F region small-scale irregularities and the ion drift
J. Geophys. Res., 90 (A9), 8433-8443, 1985

1986

- 1022 ALCAYDE D., CAUDAL G., FONTANARI J.
Convection electric fields and electrostatic potential over
 $61 < L < 72$ invariant latitude observed with the European incoherent
scatter facility. 1 - Initial results
J. Geophys. Res., 91 (A1), 233-247, 1986
- 1023 BASU Su., BASU Sa., SENIOR C., WEIMER D., NIELSEN E., FOUGERE P.F.
Velocity shears and sub-km scale irregularities in the nighttime
auroral F-region
Geophys. Res. Lett., 13 (1), 101-104, 1986
- 1024 CAUDAL G.
A self-consistent model of Jupiter's magnetodisc including the
effects of centrifugal force and pressure
J. Geophys. Res., 91 (A4), 4201-4221, 1986
- 1025 CHANTEUR G.
A modified Fornberg-Whitham scheme for dissipative KdV equations
Physica Scripta, 33 (3), 233-239, 1986
- 1026 DUBOIN M.L.
Heating rates measured by EISCAT : Latitudinal variations
J. Atmos. Terr. Phys., 48 (9-10), 921-930, 1986
- 1027 FERAUDY (de) H.
Intrinsic diffraction pattern inside the resonance cone
Phys. Fluids, 29 (1), 122-127, 1986
- 1028 FONTAINE D., PERRAUT S., ALCAYDE D., CAUDAL G., HIGEL B.
Large scale structures of the convection inferred from coordinated
measurements by EISCAT and GEOS 2
J. Atmos. Terr. Phys., 48 (9-10), 973-986, 1986
- 1029 FONTAINE D., PERRAUT S., CORNILLEAU-WEHRLIN N., APARICIO B., BOSQUED
J.M., RODGERS D.
Coordinated observations of electron energy spectra and electrostatic
cyclotron waves during diffuse auroras
Ann. Geophysicae, 4A (5), 405-412, 1986
- 1030 GERARD J.C., TAIEB C.
The E-region electron density diurnal asymmetry at Saint-Santin :
Observations and role of nitric oxide
J. Atmos. Terr. Phys., 48 (5), 471-483, 1986
- 1031 KRANKOWSKY D., LAMMERZAHN P., HERRWERTH I., WOWERIES J., EBERHARDT P.,
DOLDER U., HERRMANN U., SCHULTE W., BERTHELIER J.J., ILLIANO J.M.,
HODGES R.R., HOFFMAN J.H.
In situ gas and ion measurements at comet HALLEY
Nature, 321 (6057), 326-329, 1986
- 1032 KREMSER G., KORTH A., ULLALAND S., STADSNES J., BAUMJOHANN W., BLOCK
L., TORKAR K.M., RIEDLER W., APARICIO B., TANSKANEN P., IVERSEN I.B.,
CORNILLEAU-WEHRLIN N., SOLOMON J., AMATA E.
Energetic electron precipitation during a magnetospheric substorm and
its relationship to wave particle interaction
J. Geophys. Res., 91 (A5), 5711-5718, 1986

- 1033 LEMBEGE B., DAWSON J.M.
Self-consistent plasma heating and acceleration by strong magnetosonic waves for $\theta = 90^\circ$. Part I : Basic mechanisms
Phys. Fluids, 29 (3), 821-836, 1986
- 1034 LOUARN P., LE QUEAU D., ROUX A.
A new mechanism for stellar radio bursts : The fully relativistic electron maser
Astron. Astrophys., 165 (1/2), 211-217, 1986
- 1035 OMURA Y., ASHOUR-ABDALLA M., GENDRIN R., QUEST K.
Reply [cf. B.H. MAUK, Comment on "Heating of thermal helium in the equatorial magnetosphere : A simulation study", *J. Geophys. Res.*, 91 (A4), 4590-4592, 1986]
J. Geophys. Res., 91 (A4), 4593, 1986
- 1036 RAADU M.A., CHANTEUR G.
Formation of double layers : Shocklike solutions of an mKdV-equation
Physica Scripta, 33 (3), 240-245, 1986
- 1037 REZEAU L., PERRAUT S., ROUX A.
Electromagnetic fluctuations in the vicinity of the magnetopause
Geophys. Res. Lett., 13 (11), 1093-1096, 1986
- 1038 STAMNES K., PERRAUT S., BOSQUED J.M., REES M.H., ROBLE R.G.
Ionospheric response to daytime auroral electron precipitation : Results and analysis of a coordinated experiment between the AUREOL-3 satellite and the EISCAT radar
Ann. Geophysicae, 4A (3), 235-240, 1986
- 1039 THE VIKING SCIENCE TEAM [CRPE : GENDRIN R., POTTELETTE R.]
The Viking program
EOS, 67 (42), 793-795, 1986
- 1040 TIXIER M., CORNILLEAU-WEHRLIN N.
How are the VLF quasi-periodic emissions controlled by harmonics of field line oscillations ? The results of a comparison between ground and GEOS satellites measurements
J. Geophys. Res., 91 (A6), 6899-6919, 1986
- 1041 TROTIGNON J.G., ETCHETO J., THOUVENIN J.P.
Automatic determination of the electron density measured by the relaxation sounder on board ISEE-1
J. Geophys. Res., 91 (A4), 4302-4320, 1986
- 1042 ZARKA P., LE QUEAU D., GENOVA F.
The maser synchrotron instability in an inhomogeneous medium : Determination of the spectral intensity of auroral kilometric radiation
J. Geophys. Res., 91 (A12), 13,542-13,558, 1986

1987

- 1043 BELMONT G., REZEAU L.
Finite Larmor radius effects : The two-fluid approach
Ann. Geophysicae, 5A (2), 59-70, 1987
- 1044 CAUDAL G.
Field-aligned currents deduced from EISCAT radar observations and implications concerning the mechanism that produces region 2 currents
J. Geophys. Res., 92 (A6), 6000-6012, 1987
- 1045 CERISIER J.C., MACHARD C., POTTELETTE R.
MHD turbulence generated by time-varying field-aligned currents
J. Geophys. Res., 92 (A10), 11.225-11.230, 1987
- 1046 CHANTEUR G.
Current driven weak double layers
Laser and Particles Beams, 5 (2), 177-190, 1987
- 1047 CHANTEUR G., RAADU M.
Formation of shocklike modified Korteweg-de Vries solitons :
Application to double layers
Phys. Fluids, 30 (9), 2708-2719, 1987
- 1048 DECREAU P.M.E., HAMELIN M., MASSIF R., FERAUDY (DE) H., PAWELA E.,
PERRAUT S., POTTELETTE R., BAHNSEN A.
Plasma probing by active wave experiments on the Viking satellite
Ann. Geophysicae, 5 (A4), 181-186, 1987
- 1049 EBERHARDT P., KRANKOWSKY D., SCHULTE W., DODLER U., LAMMERZAHN P.,
BERTHELIER J.J., WOWERIES J., STUBBEMANN U., HODGES R.R., HOFFMAN
J.H., ILLIANO J.M.
The CO and N2 abundance in comet P/Halley
Astron. Astrophys., 187 (1/2), 481-484, 1987
- 1050 ERLANDSON R.E., POTTELETTE R., POTEIRA T.A., ZANETTI L.J., BAHNSEN A.,
LUNDIN R., HAMELIN M.
Impulsive electrostatic waves and field-aligned currents observed in
the entry layer
Geophys. Res. Lett., 14 (4), 431-434, 1987
- 1051 FERAUDY (de) H., PEDERSEN B.M., BAHNSEN A., JESPERSEN M.
Viking observations of auroral kilometric radiation from the
plasmasphere to night auroral oval source regions
Geophys. Res. Lett., 14 (5), 511-514, 1987
- 1052 LAMMERZAHN P., KRANKOWSKY D., HODGES R.R., STUBBEMANN U., WOWERIES J.,
HERRWETH I., BERTHELIER J.J., ILLIANO J.M., EBERHARDT P., DODLER U.,
SCHULTE W., HOFFMAN J.H.
Expansion velocity and temperatures of gas and ions measured in the
coma of comet P/Halley
Astron. Astrophys., 187 (1/2), 169-173, 1987
- 1053 LEMBEGE B., DAWSON J.M.
Self-consistent study of a perpendicular collisionless and
non-resistive shock
Phys. Fluids, 30 (6), 1767-1788, 1987

- 1054 LEMBEGE B., DAWSON J.M.
Plasma heating through a supercritical oblique collisionless shock
Phys. Fluids, 30 (4), 1110-1114, 1987
- 1055 LE QUEAU D., ROUX A.
Quasi monochromatic wave particle interactions in magnetospheric plasmas
Solar Phys., 111 (1), 59-80, 1987
[and Communication to the 2nd CESRA Workshop on "Particle Acceleration and Trapping in Solar Flares", Aubigny s/Nere, France, 23-26 juin, 1986]
- 1056 LE QUEAU D., ROUX A.
Electron acceleration within coronal loops : A wave-particle process ?
Solar Phys., 111 (1), 19-22, 1987
[and Communication to the 2nd CESRA Workshop on "Particle Acceleration and Trapping in Solar Flares", Aubigny s/Nere, France, 23-26 juin, 1986]
- 1057 LOUARN P., LE QUEAU D., ROUX A.
Direct generation of stellar radiobursts by energetic electron maser
Solar Phys., 111 (1), 201-206, 1987
[and Communication to the 2nd CESRA Workshop on "Particle Acceleration and Trapping in Solar Flares", Aubigny s/Nere, France, 23-26 juin, 1986]
- 1058 MAZAUDIER C., RICHMOND A., BRINKMAN D.
On thermospheric winds produced by auroral heating during magnetic storm and associated dynamo electric fields
Ann. Geophysicae, 5 (A6), 443-448, 1987
- 1059 MAZAUDIER C., SENIOR C., NIELSEN E.
Global convection electric field and current : Comparisons between model's predictions and data from STARE, SAINT-SANTIN and magnetometers
J. Geophys. Res., 92 (A6), 5991-5999, 1987
- 1060 POTTELETTE R., MALINGRE M., BAHNSEN A., JESPERSEN M.
Observations of intense electrostatic hiss bands in the source regions of auroral kilometric radiation
Geophys. Res. Lett., 14 (5), 515-518, 1987
- 1061 SALAH J.E., DUBOIN M.L., MAZAUDIER C.
Ionospheric electrodynamics over Saint-Santin and Millstone Hill during 26-28 June, 1984
Ann. Geophysicae, 5 (A6), 351-358, 1987
- 1062 SENIOR C., BLANC M.
Convection in the inner magnetosphere : Model predictions and data
Ann. Geophysicae, 5 (A6), 405-420, 1987
- 1063 SENIOR C., SHARBER J.R., BEAUJARDIERE (de La) O., HEELIS R.A., EVANS D.S., WINNINGHAM J.D., SUGIURA M., HOEGY W.R.
E and F region study of the evening sector auroral oval : A Chatanika / dynamics Explorer 2 / NOAA 6 comparison
J. Geophys. Res., 92 (A3), 2477-2494, 1987

- 1064 SONG XIAO-TING, CAUDAL G.
Electron density near the plasmopause measured over one year by
GEOS-2 : A statistical analysis
J. Atmos. Terr. Phys., 49 (2), 135-144, 1987
- 1065 TORKAR K.M., RIEDLER W., KREMSER G., KORTH A., ULLALAND S., STADSNES
J., BLOCK L.P., IVERSEN I.B., TANSEKANEN P., KANGAS J.,
CORNILLEAU-WEHRLIN N., SOLOMON J.
A study of the interaction of VLF waves with equatorial electrons and
its relationship to auroral X-rays in the morning sector
Planet. Space Sci., 35 (10), 1231-1253, 1987
- 1988
- 1066 BAHNSEN A., JESPERSEN M., UNGSTRUP E., POTTELETTE R., MALINGRE M.,
DECREAU P.M.E., HAMELIN M., FERAUDY (de) H., PERRAUT S., PEDERSEN B.M.
First VIKING results : High frequency waves
Physica Scripta, 37, 469-474, 1988
- 1067 BERTHELIER J.J., MACHARD C., CERISIER J.C., BERTHELIER A., BOSQUED J.M.
ULF electromagnetic turbulence in the high-latitude topside ionosphere
J. Geophys. Res., 93 (A6), 5701-5712, 1988
- 1068 BOURDILLON A., FONTAINE D.
EDIA-EISCAT comparison between small scale F-region irregularities
and large scale electron density structures at sub-auroral latitudes
J. Atmos. Terr. Phys., 50 (6), 523-536, 1988
- 1069 CAUDAL G., BLANC M.
Using a constraint on the parallel velocity when determining electric
fields with EISCAT
J. Atmos. Terr. Phys., 50 (4/5), 383-388, 1988
- 1070 CAUDAL G., BLANC M.
Magnetospheric convection during quiet or moderately disturbed times
Rev. Geophys., 26 (4), 809-822, 1988
- 1071 CORNILLEAU-WEHRLIN N., SOLOMON J., KORTH A., KREMSER G.
Non-stationary effects in wave-particle interactions during Storm
Sudden Commencents [SSC]
Physica Scripta, 37, 437-442, 1988
- 1072 GENDRIN R.
Magnetic conjugacy as observed at the apex of field lines : GEOS-1
and -2 results
Geomag. Aeron., XXVIII (2), 177-189, 1988
- 1073 KREMSER G., KORTH A., ULLALAND S.L., PERRAUT S., ROUX A., PEDERSEN A.,
SCHMIDT R., TANSEKANEN P.
Field-aligned beams of energetic electrons ($16 \text{ keV} < E < 80 \text{ keV}$)
observed at geosynchronous orbit at substorm onsets
J. Geophys. Res., 91 (A12), 14,453-14,464, 1988

- 1074 MARKLUND G.T., BLOMBERG L.G., STASIEWICZ, MURPHREE J.S., POTTELETTE R.R., ZANETTI L.J., POTEMRA T.A., HARDY D.A., RICH F.J.
Snapshots of high-latitude electrodynamics using Viking and DMSP F observations
J. Geophys. Res., 93 (A12), 14,479-14,4492, 1988
- 1075 NIELSEN E., SENIOR C., LUHR H.
Ionospheric Hall conductivity deduced from ground-based measurements
J. Geophys. Res., 93 (A3), 4125-4130, 1988
- 1076 POTTELETTE R., MALINGRE M., BAHNSEN A., ELIASSON L., STASIEWICZ K., ERLANDSON R.E., MARKLUND G.
VIKING observations of bursts of intense broadband noise in the source regions of auroral kilometric radiation
Ann. Geophysicae, 6 (5), 573-586, 1988
- 1077 POTTELETTE R., TREUMANN R.A., BAUER O.H., LEBRETON J.P.
Ion beam driven electrostatic shocks
J. Geophys. Res., 93 (A12), 14,688-14,698, 1988
- 1078 RICHMOND A.D., KAMIDE Y., AHN B.H., AKASOFU S.I., ALCAYDE D., BLANC M., BEAUJARDIERE (de La) O., EVANS D.S., FOSTER J.C., FRIIS-CHRISTENSEN E., FULLER-ROWELL T.J., HOLT J.M., KNIPP D., KROEHL H.W., LEPPING R.P., PELLINEN R.J., SENIOR C., ZAITZEV A.N.
Mapping electrodynamic features of the high-latitude ionosphere from localized observations : Combined incoherent-scatter radar and magnetometer measurements for January 18-19, 1984
J. Geophys. Res., 93 (A6), 5760-5776, 1988
- 1079 SOLOMON J., CORNILLEAU-WEHRLIN N., KORTH A., KREMSER G.
An experimental study of ELF/VLF hiss generation in the earth's magnetosphere
J. Geophys. Res., 93 (A3), 1839-1847, 1988
- 1080 SONG XIAO-TING, GENDRIN R., BLANC M.
Determination of the Volland convection electric field parameters and computation of the associated field-aligned currents distribution
Planet. Space Sci., 36 (7), 631-639, 1988
- 1081 SONG XIAO-TING, GENDRIN R., CAUDAL G.
Refilling process in the plasmasphere and its relation to magnetic activity
J. Atmos. Terr. Phys., 50 (3), 185-195, 1988
- 1082 VERGA A.D., CHANTEUR G., PELLAT R.
Current driven weak double layers under linearly stable conditions
Phys. Fluids, 31 (9), 2625-2634, 1988
- 1989
- 1083 BELMONT G., CHANTEUR G.
Advances in magnetopause Kelvin-Helmholtz instability studies
Physica Scripta [à paraître, 1989]
- 1084 GALOPEAU P., ZARKA P., LE QUEAU D.
Theoretical model of Saturn's kilometric radiation spectrum
J. Geophys. Res. [à paraître, 1989]

- 1085 LEMBEGE B., DAWSON J.M.
Relativistic particle dynamics in a steepening magnetosonic wave
Phys. Fluids [à paraître, avril 1989]
- 1086 LE QUEAU D., LOUARN P.
Analytical study of the relativistic dispersion. Applications to the
generation of the auroral kilometric radiation
J. Geophys. Res. [à paraître, 1989]
- 1087 REZEAU L., MORANE A., PERRAUT S., ROUX A., SCHMIDT R.
Characterization of Alfvénic fluctuations in the magnetopause
boundary layer
J. Geophys. Res., 94 (A1), 101-110, 1989
- 1088 TAIEB C.
Simulation of the plasma density in the polar cap F-region with a
convection field obtained from EISCAT observations
Ann. Geophysicae [à paraître, 7 (4), 1989]

ACTES DE CONFERENCES INTERNATIONALES ET OUVRAGES COLLECTIFS

1985

- 1201 BEGHIN C., CERISIER J.C., RAUCH J.L., BERTHELIER J.J., LEFEUVRE F., DEBRIE R., MALTSEVA O.A., MASSEVITCH N.I.
Experimental evidence of field-aligned ELF plasma ducts in the ionospheric trough and in the auroral zone
Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'Ionosphère, CNES, pp. 517-527, Cepadues-Editions, 1985
(Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)
- 1202 BEGHIN C., CERISIER J.C., RAUCH J.L., BERTHELIER J.J., LEFEUVRE F., DEBRIE R., MOLCHANOV O.A., MALTSEVA O.A., MASSEVITCH N.I.
Experimental evidence of ELF plasma ducts in the ionospheric trough and in the auroral zone
in Advances in Space Research, 5 (4), on "Magnetospheric and Ionospheric Plasmas" [COSPAR, 1984], SCHMERLING E.R., S.W.H. COWLEY & P.H. REISS Eds., pp. 229-232, Pergamon Press, 1985
(Graz, Autriche, 25 juin - 7 juillet, 1984)
- 1203 BEGHIN C., PANDEY R., ROUX D.
Instabilities associated with the equatorial spread-F phenomenon and their North-South asymmetry
Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'Ionosphère, CNES, pp. 537-546, Cepadues-Editions, 1985
(Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)
- 1204 BERTHELIER A., MACHARD C.
Small scale intense field aligned current sheets in the northern polar cusp
in "The Polar Cusp", HOLTET J.A. & A. EGELAND Eds., pp. 235-242, D. Reidel Publ. Co., 1985
- 1205 BOSQUED J.M., DELCOURT D., BEGHIN C., KOVRAZHKIN R.A., KHALIPOV V.L., BERTHELIER J.J., REME H., MASLOV V.D.
Injection of low-energy ions during geomagnetic storms
Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'Ionosphère, CNES, pp. 219-232, Cepadues-Editions, 1985
(Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)
- 1206 BOSQUED J.M., SAUVAUD J.A., REME H., CRASNIER J., ROUX D., GALPERIN Yu.I., MULIARCHIK T.M., GLADYSHEV V.A.
Evidence for ion energy dispersion in the polar cusp related to a Northward directed IMF
Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'Ionosphère, CNES, pp. 331-341, Cepadues-Editions, 1985
(Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)

- 1207 CERISIER J.C., BERTHELIER J.J., BEGHIN C., ROUX D.
Density gradient instability in the high latitude ionosphere.
Relation with the electrostatic turbulence and the convection
*Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des
Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'Ionosphère,
CNES, pp. 509-516, Cepadues-Editions, 1985*
(Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)
- 1208 CHANTEUR G.
Vlasov simulation of ion acoustic double layers
*in "Computer Simulation of Space Plasmas", MATSUMOTO H. & T. SATO
Eds., pp. 279-301, TERRAPUB, D. Reidel Publ. Co., 1985*
- 1209 GALPERIN Yu.I., GLADYSHEV V.A., JORJIO N.V., KOVRAZHKIN R.A., LISAKOV
Yu.V., MASLOV V.D., NIKOLAENKI L.M., SAGDEEV R.Z., MOLCHANOV O.A.,
MOGILEVSKY M.M., ALPEROVITCH S., GOKHBERG M.B., IVANO E.A.,
POKHOTELOV O.A., BEGHIN C., BERTHELIER J.J., BOSQUED J.M., REME H.
VLF and ELF effects in the upper ionosphere caused by large-scale
acoustic waves in the lower ionosphere observed from AUREOL-3
satellite
*Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des
Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'Ionosphère,
CNES, pp. 661-684, Cepadues-Editions, 1985*
(Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)
- 1210 GENDRIN R.
Consequences of hydromagnetic waves on magnetospheric particle
dynamics
*in "Space Plasma Simulations" [Proceedings of the 2nd International
School for Space Simulations], ASHOUR-ABDALLA M. & D.A. DUTTON Eds.,
pp. 515-539, D. Reidel Publ., 1985*
[Published in *Space Sci. Rev.*, 42 (1-4), 515-539, 1985]
(Kapaa, Hawaii, U.S.A., 04-15 février, 1985)
- 1211 GIRARD L., BLANC M.
Instabilité du couplage ionosphère-magnétosphère à l'échelle des arcs
auroraux
*Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des
Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'Ionosphère,
CNES, p. 143, Cepadues-Editions, 1985*
(Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)
- 1212 HANUISE C., VILLAIN J.P., BEGHIN C., CAUDAL G.
Small-scale irregularities in the high-latitude F region
*in AGARD Conference Proceedings No. 382 of the 36th Symposium on
"The Electromagnetic Waves Propagation Panel", pp. 4.3-1 - 4.3-12,
1985*
(Fairbanks, Alaska, 03-07 juin, 1985)
- 1213 INHESTER B., WEDEKEN U., KORTH A., PERRAUT S., STOKHOLM M.
Generation of Pc2 pulsations by energetic O⁺ ions
*Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des
Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'Ionosphère,
CNES, pp. 937-947, Cepadues-Editions, 1985*
(Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)

- 1214 JORJIO N.V., BOSQUED J.M., SAUVAUD J.A., DELCOURT D., KOVRAZHKIN R.A., MONCHANT M., MASLOV V.D., POKRAS V.M., MOGILEVSKY M.M., BEGHIN C., RAUCH J.L., BERTHELIER J.J.
 Detection of ionospheric O⁺ ions accelerated inside the plasmasphere to suprathreshold energies
Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'ionosphère, CNES, pp. 233-237, Cepadues-Editions, 1985
 (Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)
- 1215 KLOCKER N., LUHR H., ROBERT P., KORTH A.
 Ground observations of kinetic Alfvén waves
in Advances in Space Research, 5 (4), on "Magnetospheric and Ionospheric Plasmas" [COSPAR, 1984], SCHMERLING E.R., S.W.H. COWLEY & P.H. REISS, pp. 237-241, Pergamon Press, 1985
 (Graz, Autriche, 25 juin - 07 juillet, 1984)
- 1216 LE QUEAU D., PELLAT R., ROUX A.
 Scenarios for the generation of the auroral kilometric radiation
Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'ionosphère, CNES, pp. 547-557, Cepadues-Editions, 1985
 (Toulouse, France, 22-25 mai, 1984 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 1217 MACHARD C., BERTHELIER A., BERTHELIER J.J., CERISIER J.C., GALPERIN Yu.I., MOGILEVSKY M.M.
 Small scale and intense field-aligned currents detected by their magnetic signature
Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'ionosphère, CNES, pp. 93-97, Cepadues-Editions, 1985
 (Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)
- 1218 PERRAUT S., FONTAINE D., CORNILLEAU-WEHRLIN N., BOSQUED J.M., ALCAYDE D., KOVRAZHKIN R.A., KORTH A., KREMSER G., KOFMAN W.
 Energy spectra of electrons precipitating above the EISCAT area. Comparison with ARCAD measurements
Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'ionosphère, CNES, pp. 819-829, Cepadues-Editions, 1985
 (Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)
- 1219 POTTELETTE R., TREUMANN R., BAUER O.H., LEBRETON J.P.
 Artificial ion beam interaction with the auroral plasma
Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'ionosphère, CNES, pp. 729-734, Cepadues-Editions, 1985
 (Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)
- 1220 RAUCH J.L., CERISIER J.C., BERTHELIER J.J., LEFEUVRE F., BOUD'KO N.I., MICHAILOVA G.A., KAPUSTINA O.
 Attenuation bands and cut-off frequencies for ELF electromagnetic waves
Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'ionosphère, CNES, pp. 465-484, Cepadues-Editions, 1985
 (Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)

- 1221 REME H., BOSQUED J.M., SAUVAUD J.A., ROUX D., KOVRAZHKIN R.A., SHUISKAYA F.K.
Evidence for high latitude ionospheric ion acceleration
Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'Ionosphère, CNES, pp. 367-379, Cepadues-Editions, 1985
(Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)
- 1222 ROUX A.
"Anomalous" acceleration of ionospheric components driven by low frequency turbulence
Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'Ionosphère, CNES, p. 421, Cepadues-Editions, 1985
(Toulouse, France, 22-25 mai, 1984 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 1223 ROUX A.
Generation of field-aligned current structures at substorm onsets
in Proceedings of the ESA Workshop on "Future Missions in Solar, Heliospheric and Space Plasma Physics", ESA SP-235, pp. 151-159, 1985
(Garmisch-Partenkirchen, R.F.A., 30 avril - 03 mai, 1985 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 1224 ROUX D., BERTHELIER J.J., GLADYSHEV V.A., ZININE L.V., MASLOV V.D., PIVOVAROV M.L.
Flow of thermal ions O^{++} along magnetic field lines, near the polar cap boundary, inferred from the DYCTION experiment
Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'Ionosphère, CNES, pp. 381-383, Cepadues-Editions, 1985
(Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)
- 1225 SAUVAUD J.M., BOSQUED J.M., KOVRAZHKIN R.A., BERTHELIER J.J., BERTHELIER A., GALPERIN Yu.I.
Positive ion distributions in the morning auroral zone : Local acceleration and drift effects
Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'Ionosphère, CNES, pp. 99-105, Cepadues-Editions, 1985
(Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)
- 1226 TIMOFEEV E.E., SMYSHLIAEV V.M., JORJIO N.V., GALPERIN Yu.I., BOSQUED J.M., BERTHELIER J.J., VALLINKOSKIM.K., PELLINEN R.J.
Coordinated data on auroral electrodynamics from ground based radar diagnostics and AUREOL-3 satellite
Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'Ionosphère, CNES, pp. 949-971, Cepadues-Editions, 1985
(Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)
- 1227 TITOVA E.E., YUROV V.E., MOGILEVSKY M.M., MOLCHANOV O.A., SHIBAEV I.G., GALEEV A.A., GALPERIN Yu.I., JORJIO N.V., KOVRAZHKIN R.A., KRASNOSELSKIKH V.V., VOLOKITIN A.S., ZELENY L.M., BOSQUED J.M., REME H., BERTHELIER J.J., BEGHIN C., LEFEUVRE F.
Small scale structures of electric field variations and particle precipitations as observed on board AUREOL-3 satellite
Actes du Colloque sur les Résultats du Projet ARCAD 3 et des Programmes Récents en Physique de la Magnétosphère et de l'Ionosphère, CNES, pp. 447-464, Cepadues-Editions, 1985
(Toulouse, France, 22-25 mai, 1984)

1986

- 1228 BAUER P., BLANC M., HANUISE C., KOFMAN W., VILLAIN J.P., ALCAYDE D., CERISIER J.C., GARNIER M.
Global electrodynamics mission GEM
in Proceedings of the International Symposium on "Space Physics" [ISSP'86], pp. 9.013-9.015, edited by the Chinese Society of Space Research and the Institute of Space Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, Chine, 1986
(Beijing, Chine, 10-14 novembre, 1986)
- 1229 BELMONT G., MATHIEUSSENT G., LEHNER T., LAVERGNAT J., CERISIER J.C., ROUX A.
VLF emission from a modulated electron beam
in Proceedings of the ASE/BNSC/CNES Workshop on "Solar-Terrestrial Physics on Space Station/Columbus", pp. 100-101, 1986
(Chilton Didcot, R.A.L., G.B., 14-15 octobre, 1986)
- 1230 BERTHELIER J.J., ILLIANO J.M., HODGES R.R., KRANKOWSKY D., EBERHARDT P., LAMMERZAHN P., HOFFMAN J.H., HERRWERTH I., WOWERIES J., DOLDER U., SCHULTE W.
Angular and energy distribution of low energy cometary ions measured in the outer coma of comet HALLEY
in Proceedings of the 20th ESLAB Symposium on "The Exploration of HALLEY's Comet", ESA SP-250, pp. 175-178, 1986
(Heidelberg, R.F.A., 27-31 octobre, 1986)
- 1231 BLANC M.
Overview of Columbus STP planning in France
Rapport de prospective
in Proceedings of the ASE/BNSC/CNES Workshop on "Solar-Terrestrial Physics on Space Station/Columbus", pp. 37-42, 1986
(Chilton Didcot, R.A.L., G.B., 14-15 octobre, 1986)
- 1232 CAUDAL G., BLANC M.
Equilibria of plasma reservoirs in planetary magnetospheres
Actes du Colloque International "Etude Comparative des Systèmes Magnétosphériques" C.N.E.S., pp. 217-242, Cepadues-Editions, 1986
(La Londe Les Maures, France, 09-14 septembre, 1985 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 1233 CERISIER J.C., MACHARD C., BERTHELIER J.J., BEGHIN C.
Electrostatic and magnetic turbulence in auroral regions
in Proceedings of the Workshop on "Magnetic Reconnection and Turbulence", DUBOIS M.A., GRESILLON D., BUSSAC M.N. Eds., pp. 179-192, Editions de Physique, Orsay, 1986
(cargèse, France, 07-13 juillet, 1985)
- 1234 CHANTEUR G.
Numerical simulations of current driven double layers
Actes du Colloque International "Etude Comparative des Systèmes Magnétosphériques" C.N.E.S., pp. 351-355, Cepadues-Editions, 1986
(La Londe Les Maures, France, 09-14 septembre, 1985 - Exposé de synthèse sur invitation)

- 1235 CHANTEUR G., GENDRIN R., LEMBEGE B.
 Numerical simulation of space plasma phenomena occurring in the bowshock region, on auroral field lines and in the equatorial magnetosphere
in Proceedings of the International Symposium on "Space Physics" [ISSP'86], pp. 4.015-4.018, edited by the Chinese Society of Space Research and the Institute of Space Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, Chine, 1986
 (Beijing, Chine, 10-14 novembre, 1986)
- 1236 EBERHARDT P., DOLDER U., SCHULTE W., KRANKOWSKY D., LAMMERZAHN P., HOFFMAN J.H., HODGES R.R., BERTHELIER J.J., ILLIANO J.M.
 The D/H ratio in water from HALLEY
in Proceedings of the 20th ESLAB Symposium on "The Exploration of HALLEY's Comet", ESA SP-250, pp. 539-541, 1986
 (Heidelberg, R.F.A., 27-31 octobre, 1986)
- 1237 EBERHARDT P., KRANKOWSKY D., SCHULTE W., DOLDER U., LAMMERZAHN P., BERTHELIER J.J., WOWERIES J., STUBBEMANN U., HODGES R.R., HOFFMAN J.H., ILLIANO J.M.
 On the CO and N₂ abundance in comet HALLEY
in Proceedings of the 20th ESLAB Symposium on "The Exploration of HALLEY's Comet", ESA SP-250, pp. 383-386, 1986
 (Heidelberg, R.F.A., 27-31 octobre, 1986)
- 1238 GENDRIN R., CORNILLEAU-WEHRLIN N., FONTAINE D., HIGEL B., PERRAUT S., ROUX A., SOLOMON J., TIXIER M., SONG X.T., WU L., ZI M.Y., KORTH A., KREMSER G.
 Ground satellite conjugate experiments : GEOS-1 and -2 results
in Proceedings of the International Symposium on "Space Physics" [ISSP'86], pp. 4.031-4.034, edited by the Chinese Society of Space Research and the Institute of Space Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, Chine, 1986
 (Beijing, Chine, 10-14 novembre, 1986)
- 1239 GIRARD L.
 Electrodynamical coupling between the ionosphere and magnetosphere at small-scale lengths
in Proceedings of the ASE/BNSC/CNES Workshop on "Solar-Terrestrial Physics on Space Station/Columbus", pp. 78-83, 1986
 (Chilton Didcot, R.A.L., G.B., 14-15 octobre, 1986)
- 1240 HODGES R.R., ILLIANO J.M., BERTHELIER J.J., KRANKOWSKY D., LAMMERZAHN P., WOWERIES J., STUBBEMANN U., HOFFMAN J.H., EBERHARDT P., DOLDER U., SCHULTE W.
 Measurements of thermal ion energy spectra from the GIOTTO encounter with comet HALLEY
in Proceedings of the 20th ESLAB Symposium on "The Exploration of HALLEY's Comet", ESA SP-250, pp. 415-417, 1986
 (Heidelberg, R.F.A., 27-31 octobre, 1986)
- 1241 KORTH A., KREMSER G., CORNILLEAU-WEHRLIN N., SOLOMON J.
 Observations of energetic electrons and VLF waves at geostationary orbit during Storm Sudden Commencements (SSC)
in "Solar Wind-Magnetosphere Coupling", KAMIDE Y. & J.A. SLAVIN Eds., pp. 391-399, TERRAPUB, Tokyo,, 1986
 (Pasadena, California, U.S.A., 12-15 février, 1985)

- 1242 KRANKOWSKY D., EBERHARDT P., BERTHELIER J.J., DOLDER U., HODGES R.R., HOFFMAN J.H., ILLIANO J.M., LAMMERZAHN P., SCHULTE W., STUBBEMANN U., WOWERIES J.
Evidence for HCS+ and CH₂SH+ in the inner coma of comet HALLEY
in Proceedings of the 20th ESLAB Symposium on "The Exploration of HALLEY's Comet", ESA SP-250, pp. 381-382, 1986
(Heidelberg, R.F.A., 27-31 octobre, 1986)
- 1243 KRANKOWSKY D., LAMMERZAHN P., DORFLINGER D., HERRWERTH I., STUBBEMANN U., WOWERIES J., EBERHARDT P., DOLDER U., FISCHER J., HERRMANN U., HOFSTETTER H., JUNGCK M., MEIER F.O., SCHULTE W., BERTHELIER J.J., ILLIANO J.M., GODEFROY M., GOGLY G., THEVENET P., HOFFMANN J.H., HODGES R.R., WRIGHT W.W.
The Giotto neutral mass spectrometer
in "The Giotto mission - its scientific investigations", REINHARD R. & B. BATTRICK Eds., ESA SP-1077, 109-128, ESA, 1986
- 1244 LAMMERZAHN P., KRANKOWSKY D., HODGES R.R., STUBBEMANN U., WOWERIES J., HERRWERTH I., BERTHELIER J.J., ILLIANO J.M., EBERHARDT P., DOLDER U., SCHULTE W., HOFFMAN J.H.
Expansion velocity and temperatures of gas and ions measured in the coma of comet HALLEY
in Proceedings of the 20th ESLAB Symposium on "The Exploration of HALLEY's Comet", ESA SP-250, pp. 179-182, 1986
(Heidelberg, R.F.A., 27-31 octobre, 1986)
- 1245 LE QUEAU D., LOUARN P., ROUX A.
Fully relativistic electron masers : A mechanism for stellar radio bursts
Actes du Colloque International "Etude Comparative des Systèmes Magnétosphériques" C.N.E.S., pp. 555-562, Cepadues-Editions, 1986
(La Londe Les Maures, France, 09-14 septembre, 1985 - Poster)
- 1246 MALINGRE M., POTTELETTE R.
Low frequency electrostatic turbulence induced by ion conics in presence of counterstreaming electrons
Actes du Colloque International "Etude Comparative des Systèmes Magnétosphériques" C.N.E.S., pp. 415-422, Cepadues-Editions, 1986
(La Londe Les Maures, France, 09-14 septembre, 1985)
- 1247 ROUX A.
Instability of the equatorial plasmashet : A mechanism for the formation of discrete arcs
in Proceedings of the Workshop on "Magnetic Reconnection and Turbulence", DUBOIS M.A., D. GRESILLON & M.N. BUSSAC Eds., pp. 137-157, Editions de Physique, Orsay, 1986
(cargèse, France, 07-13 juillet, 1985)
- 1248 SONG X.T., CAUDAL G., GENDRIN R., TSCHU K.K.
Electron density near the plasmopause. Modified experimental parameters for the Volland convection electric field and field-aligned currents distribution deduced from the global field model
in Proceedings of the International Symposium on "Space Physics" [ISSP'86], pp. 4.037-4.040, edited by the Chinese Society of Space Research and the Institute of Space Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, Chine, 1986
(Beijing, Chine, 10-14 novembre, 1986)

- 1249 ZARKA P., LE QUEAU D., GENOVA F.
Theoretical determination of the spectral intensity of planetary radio emissions
Actes du Colloque International "Etude Comparative des Systèmes Magnétosphériques" C.N.E.S., pp. 533-543, Cepadues-Editions, 1986
(La Londe Les Maures, France, 09-14 septembre, 1985 - Poster)
- 1987**
- 1250 BERTHELIER J.J., BLANC M.
Environnement du satellite : Orbites polaires
Actes de l'Ecole Internationale de Printemps "Technologie de l'Environnement Spatial", C.N.E.S., pp. 287-329, Cepadues-Editions, 1987
(Toulouse, France, 14-25 avril, 1986)
- 1251 BLANC M.
L'interaction des objets du système solaire avec le milieu interplanétaire
"Le Système Solaire", ENCRENAZ T. & J.P. BIBRING, Chapitre 4, pp. 86-142, InterEditions/Editions du CNRS, 1987
- 1252 BLANC M.
Une approche simplifiée de la dynamique des particules chargées dans la magnétosphère
Actes de l'Ecole Internationale de Printemps "Technologie de l'Environnement Spatial", C.N.E.S., pp. 429-439, Cepadues-Editions, 1987
(Toulouse, France, 14-25 avril, 1986)
- 1253 CERISIER J.C.
Ionosphère et plasmasphère
Actes de l'Ecole Internationale de Printemps "Technologie de l'Environnement Spatial", C.N.E.S., pp. 195-208, Cepadues-Editions, 1987
(Toulouse, France, 14-25 avril, 1986)
- 1254 EBERHARDT P., HODGES R.R., KRANKOWSKY D., BERTHELIER J.J., SCHULTE W., DOLDER U., LAMMERZAHN P., HOFFMAN J.H., ILLIANO J.M.
The D/H and 18 O/16 O isotopic ratios in Comet HALLEY
in Proceedings of the 18th Lunar and Planetary Science Conference, pp. 252-253, 1987
(Houston, U.S.A., mars 1987)
- 1255 GENDRIN R.
Les ceintures de radiation
Actes de l'Ecole Internationale de Printemps "Technologie de l'Environnement Spatial", C.N.E.S., pp. 101-124, Cepadues-Editions, 1987
(Toulouse, France, 14-25 avril, 1986)
- 1256 GENDRIN R.
Magnetic conjugacy as observed at the apex of field lines : GEOS-1 and -2 results
in Proceedings of the Nagata Symposium on "Geomagnetically Conjugate Studies" and the Workshop on "Antartic Middle and Upper Atmosphere Physics", Natsuo SATO Ed., Memoirs of National Institute of Polar Research, Special Issue, No. 48, pp. 93-120, Shobi Printing Co., Ltd., Tokyo, Japon, 1987
(San Diego, California, U.S.A., 16-26 juin, 1986)

- 1257 LE QUEAU D.
Introduction aux mécanismes d'émission cohérents (p. 275)
Tests observationnels des mécanismes cohérents (p. 327)
Actes de l'Atelier de Travail "Emissions Radio et Activité Solaire et Stellaire, 1987"
(Observatoire de Paris - Section de Meudon, 29-30 octobre, 1987)
- 1258 MAZAUDIER C.
Couplage électrodynamique entre l'ionosphère et la basse thermosphère : Revue sur les principaux résultats acquis durant les dernières dix années par les sondeurs à diffusion incohérente
in Advances in Space Research, 7 (10), 303-316, 1987 [COSPAR, 1986]
(Toulouse, France, 30 juin - 12 juillet, 1986 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 1259 MAZAUDIER C.
Saint-Santin observations of electric fields and neutral winds in the dynamo layer during the GTMS period of June 1984
in Advances in Space Research, 7 (10), 285-290, 1987 [COSPAR, 1986]
(Toulouse, France, 30 juin - 12 juillet, 1986)
- 1260 POTTELETTE R., MALINGRE M.
Intense hiss bands observed in the source region of AKR
in Proceedings of 1985-1987 MIT Symposia on the "Physics of Space Plasmas", CHANG T., H. BRIDGE, J. CREW & J.R. JASPERE Eds., pp. 163-173, Scientific Publishers Inc., 1987
(Boston, Mass., M.I.T., U.S.A., janvier 1987 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 1261 SAINT-MARC A., LE QUEAU D.
Éléments de physique des plasmas
Actes de l'Ecole Internationale de Printemps "Technologie de l'Environnement Spatial", C.N.E.S., pp. 13-52, Cepadues-Editions, 1987
(Toulouse, France, 14-25 avril, 1986)
- 1262 TIMOFEEV E.E., RASPOPOV O.M., GALPERIN Y.I., JORJIO N.V., BOSQUED J.M., BERTHELIER A., BERTHELIER J.J., VALLINKOSKI M.K., PELLINEN R.J.
Regularities of the Birkeland current system's stratification (coordinated experiments in the framework of the ARCAD-3 project)
Proceedings of the 5th Plenary Meeting of the Soviet-Finnish Working Group on Geophysics, Pub. of Finnish Acad. of Sci. & Letters, Sodankyla Report Series, 1987
(Mourmansk, U.R.S.S., 21-25 octobre, 1986)
- 1988**
- 1263 BLANC M.
Magnetosphere-ionosphere coupling
in Proceedings of the Third International School on "Numerical Simulation of Space Plasmas" [ISSS-3], LEMBEGE B. & J.W. EASTWOOD Eds, North-Holland, 1988 - Special Issue of Computer Physics Communications, 49 (1), 103-118, 1988
(Beaulieu-sur-Mer, France, 22-27 juin, 1987 - Exposé de synthèse sur invitation)

- 1264 CORNILLEAU-WEHRLIN N., BAHNSEN A., GOUGH P., GURNETT D.A., GUSTAFSSON G., HARVEY C.C., HUBERT D., KOFMAN W., LEFEUVRE F., MANNING R., MEYER A., PARROT M., PEDERSEN A., PERRAUT S., REZEAU L., ROBERT P., ROUX A., WOOLLISCROFT L.
 "STAFF", A Spatio-Temporal Analysis of Field Fluctuations Experiment
in "The Cluster Mission - Scientific and Technical Aspects of the Instruments", ESA SP-1103, pp. 25-30, 1988
- 1265 FERAUDY (de) H., BAHNSEN A., JESPERSEN M.
 Observations of nightside and dayside auroral kilometric radiation with VIKING
in Proceedings of the 2nd Workshop on the "Planetary Radioemissions", RUCKER H.O., S.J. BAUER & B.M. PEDERSEN Eds., pp. 41-60, Verlag der Osterreichischen Akademie der Wissenschaften, 1988
 (Graz, Autriche, septembre 1987 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 1266 GENDRIN R.
 How does magnetospheric plasma escape thermalization
in "Physics of Space Plasmas", CHANG T. Ed., Scientific Pub., Cambridge [à paraître, 1988]
 (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)
- 1267 GENDRIN R.
 Concluding Remarks
in Proceedings of the Third International School on "Numerical Simulation of Space Plasmas" [ISSS-3], LEMBEGE B. & J.W. EASTWOOD Eds., North-Holland, 1988 - Special Issue of Computer Physics Communications, 49 (1), 267-269, 1988
 (Beaulieu-sur-Mer, France, 22-27 juin, 1987)
- 1268 LEMBEGE B., EASTWOOD J.W. [Eds.]
 "Numerical Simulation of Space Plasmas" [ISSS-3]
Proceedings of the Third International School [Special Issue of Computer Physics Communication], North-Holland, 1988
- 1269 LE QUEAU D.
 Maser processes
in Proceedings of the Third International School on "Numerical Simulation of Space Plasmas" [ISSS-3], LEMBEGE B. & J.W. EASTWOOD Eds., North Holland, 1988 - Special Issue of Computer Physics Communications, 49 (1), 85-95, 1988
 (Beaulieu-sur-Mer, France, 22-27 juin, 1987 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 1270 LE QUEAU D.
 Planetary radioemissions from high magnetic latitudes : The "Cyclotron Maser" theory
in Proceedings of the 2nd Workshop on the "Planetary Radioemissions", RUCKER H.O., S.J. BAUER & B.M. PEDERSEN Eds., pp. 381-398, Verlag der Osterreichischen Akademie der Wissenschaften, 1988
 (Graz, Autriche, septembre 1987)

- 1271 ROUX A., PORTE (de la) B.
The wave experiment consortium
in "The Cluster Mission - Scientific and Technical Aspects of the Instruments", ESA SP-1103, pp. 21-23, 1988
- 1272 SOLOMON J., CORNILLEAU-WEHRLIN N., KORTH A., KREMSER G.
Generation of ELF electromagnetic waves and diffusion of energetic electrons in steady and non-steady state situations in the earth's magnetosphere
in Chapman Conference on "Plasma Waves and Instabilities in Magnetospheres and at Comets", 1988
(Sendai/Mt Zao, Japon, 12-16 octobre, 1987 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 1273 SONG X.T., CAUDAL G., GENDRIN R.
Refilling of the plasmasphere at the geostationary orbit : A Kp-dependent model deduced from the GEOS-2 measurements of the cold plasma density
in Adv. Space Res., 8 (8), pp. 45-48, 1988 [COSPAR, 1988]
(Espoo, Finlande, août 1988)
- 1989**
- 1274 BELMONT G., CHANTEUR G.
Kelvin-Helmholtz instability : Non-linear evolution
in Proceedings of the International Workshop on "Turbulence on Nonlinear Dynamics in MHD Flows" [à paraître, 1989]
(cargèse, France, 04-08 juillet, 1988)
- 1275 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. [à paraître, 1989]
(NATO Adv. Res. Workshop, Lillehammer, Norvege, septembre 1988)
- 1276 DUBOIN M.L.
E and F-region measurements at Saint-Santin during the September 1987 LTCS campaign
in Advances in Space Research [XXVII COSPAR] [à paraître, 1989]
Espoo, Finlande, 18-29 juillet, 1988
- 1277 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, No. 104, on "Solar and Stellar Flares" [à paraître, 1989]
(Stanford University, California, U.S.A., 15-19 août, 1988)
- 1278 MAZAUDIER C.
On the role of French women in the development of science and technology : Two cases studies
in Proceedings of the CIDA/TWAS Conference on "The Role of Women in the Development of Science and Technology in the Third World", 6 pp., [à paraître, 1989]
(Trieste, Italie, octobre 1988)

1279 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" [à paraître, 1989]
(cargèse, France, 04-08 juillet, 1988)

1280 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 Plasma" [à paraître, 1989]
(cargèse, France, 11-16 juillet, 1988 - Exposé de synthèse sur invitation)

NOTES TECHNIQUES ET DOCUMENTS DE TRAVAIL

1985

- 1401 CAUDAL G.
GALILEO PWS - Document No. 4 - Projet d'organisation du catalogue des bandes GALILEO PWS
Document de Travail DT/CRPE/1131, mars 1985
- 1402 ROBERT P.
Document ISPM No. 7 - Visualisations systématiques des données des expériences "Récepteurs radio", "Sondeur" et "Ondes de plasma" - Définition de la microfiche commune de routine (International Solar Polar Mission Unified Radio and Plasma Wave Experiment)
Document de Travail DT/CRPE/1132, avril 1985
- 1403 VILLEDARY (de) C.
Document ISPM No. 6 - Calibrations de l'expérience ULYSSE-URAP Sous-expériences "ondes" et "sondeur" (International Solar Polar Mission, Unified Radio and Plasma Wave Experiment)
Document de Travail DT/CRPE/1129, février 1985

1986

- 1404 BABEDJIAN L.
Documentation d'un logiciel de traitement des données du sondeur à diffusion incohérente de Saint-Santin. Calcul des moyennes, variance et écart type
Document de Travail DT/CRPE/1136, février 1986
- 1405 BOURDON-PIBARET B., MEYERFELD Y.
Notice de dépouillement des données d'EISCAT - mars 1985
Document de Travail DT/CRPE/1137, mars 1986
- 1406 GENDRIN R.
Les Ceintures de Radiation de la Terre
(Conférence Présentée à l'Ecole de Technologie Spatiale du CNES, Toulouse, France, 14-25 avril 1986)
Note Technique CRPE/148, mai 1986
- 1407 LEMBEGE B., DAWSON J.M.
Self-consistent study of a perpendicular collisionless and non-resistive shock
Note Technique CRPE/150, juin 1986
- 1408 LEMBEGE B., DAWSON J.M.
Plasma heating through a supercritical oblique collisionless shock
Document de Travail DT/CRPE/1141, juillet 1986

- 1409 MAZAUDIER C., VENKATESWARAN S.V.
The day after the CDAW-6 events : Versus 1
Document de Travail DT/CRPE/1138, avril 1986
- 1410 VILLEDARY (de) C.
Document ISPM/ULYSSE No. 8 - Fonctions de transfert pour
l'expérience ondes (International Solar Polar Mission Unified Radio
and Plasma Wave Experiment)
Document de Travail DT/CRPE/1134, janvier 1986
- 1411 VILLEDARY (de) C.
Traitement de contrôle des étalonnages internes de l'expérience
"Ondes de Plasmas"
Document de Travail DT/CRPE/1139, avril 1986

1987

- 1412 BLANC M.
L'interaction des objets du système solaire avec le milieu
interplanétaire
Document de Travail DT/CRPE/1149, février 1987
- 1413 GENDRIN R.
Rapport de Mission à la Chine, Pékin, novembre 1986
Document de Travail DT/CRPE/1146, janvier 1987
- 1414 GENDRIN R.
Magnetic conjugacy as observed at the APEX of field lines : GEOS-1
and -2 results
[Conférence présentée au Symposium "NAGATA" sur les études en points
géomagnétiquement conjugués, San Diego, U.S.A., 16-17 juin 1986]
Document de Travail DT/CRPE/1147, février 1987
- 1415 LEMBEGE B., DAWSON J.M.
Relativistic particles dynamics in a strongly magnetized plasma
Document de Travail DT/CRPE/1148, février 1987

1988

- 1416 BOUVET J., BOUVARD M., MAZAUDIER C.
Catalogue des données sodar recueillies durant la phase d'observation
intensive de la campagne de mesures Haplex-Mobilhy - Mai-juin 1986
Document de Travail DT/CRPE/1165, juillet 1988
- 1417 BOUVET J., LAFEUILLE M.
Bibliographie du sondeur français à diffusion incohérente (suite)
[1983 - 1988]
Note Technique CRPE/165, juillet 1988
- 1418 BOUVET J., LAFEUILLE M., MAZAUDIER C.
Catalogue of the Saint-Santin incoherent scatter sounder data
(1966-1987)
Document de Travail DT/CRPE/1159, février 1988

- 1419 CAUDAL G.
Projet d'organisation du catalogue des bandes Galileo PWS
Document de Travail DT/CRPE/1171, decembre 1988
- 1420 DUBOIN M.L., LAFEUILLE M., RICHMOND A., ROUCHETTE P.
Etude statistique des vents neutres en region F au-dessus de
Saint-Santin
Document de Travail DT/CRPE/1158, janvier 1988
- 1421 GENDRIN R.
How does magnetospheric plasma escape thermalization ?
Note Technique CRPE/167, aout 1988
- 1422 Direction du CRPE
Document de prospective scientifique préparé pour le programme
atmosphère météorologique de l'INSU
Document de Travail DT/CRPE/1157, janvier 1988
- 1423 GENOVA F.
Traitements de masse et traitements clé en mains des données de
l'expérience PWS de Galileo
Document de Travail DT/CRPE/1170, decembre 1988
- 1424 GENOVA F., VILLEDARY (de) C.
Visualisation des données Galileo [version révisée]
Document de Travail DT/CRPE/1160, avril 1988
- 1425 GENOVA F., VILLEDARY (de) C.
Proposition pour une première visualisation des données de basse
cadence de l'expérience PWS de GALILEO
Document de Travail DT/CRPE/1166, septembre 1988
- 1426 TAIEB C.
Retour à l'équilibre d'un plasma dense dans la haute atmosphère et
ses effets sur la propagation des ondes
Note Technique CRPE/166, juillet 1988
- 1427 VILLEDARY (de) C.
Traitement des données de Haute Cadence de l'expérience PWS de GALILEO
Document de Travail DT/CRPE/1169, novembre 1988

AUTRES RAPPORTS

1987

- 1428 BARLIER F., AUDOUZE J., BLANC M., MONNET G., PRADERIE F.
*Rapport de prospective en Astronomie, édité par Claudine Laurent,
Institut National des Sciences de l'Univers, janvier 1987*
- 1429 LEMBEGE B., DAWSON J.M.
Formation of double layers within an oblique collisionless shock
Rapport Externe UCLA/PPG-1170, août 1988

THESES

1985

1601 FONTAINE D.

Les aurores diffuses boréales et australes : Une contribution théorique et expérimentale à l'étude du transport des électrons dans la magnétosphère terrestre

Thèse de Doctorat d'Etat, Paris VI, 11 décembre 1985

1602 MACHARD C.

Courants alignés à petite échelle dans l'ionosphère aurorale : Turbulence UBF observée à bord d'AUREOL 3

Thèse de 3ème cycle, Paris VI, 26 septembre 1985

1986

1603 SONG XIAO-TING

Effets de l'activité magnétique sur la distribution de densité du plasma froid dans la magnétosphère

Thèse de Docteur de l'Université de Paris 6, 15 décembre 1986

1987

1604 CAUDAL G.

Sur la façon dont le plasma piégé à l'intérieur des magnétosphères planétaires déforme le champ électrique et le champ magnétique qui y règnent

Thèse de Doctorat d'Etat, Paris 6, 19 juin 1987

1605 FERAUDY (de) H.

Etude des propriétés d'anisotropie et d'inhomogénéité des champs d'ondes électrostatiques rayonnées dans des magnétoplasmas chauds. Applications au diagnostic des plasmas spatiaux et de laboratoire, au moyen d'expériences d'ondes actives

Thèse de Doctorat d'Etat, Paris 6, 10 juin 1987

1988

1606 REZEAU L.

Turbulence des ondes d'Alfvén au voisinage de la magnétopause terrestre

Thèse de l'Université Paris 6, 16 novembre 1988

COMMUNICATIONS A DES CONGRES (n'ayant pas donné lieu à publication)

1985

- 1701 BASU Su., BASU Sa., SENIOR C., CARLSON H.C., HARDY D.H., RICH J.F.,
NIELSEN E.
HILAT/EISCAT/STARE case study of F region irregularities in the
nighttime auroral oval
Vth I.A.G.A. Scientific Assembly
Prague, Tchécoslovaquie, 05-17 août, 1985
- 1702 BAUER P., BLANC M.
The effects of auroral activity on the middle and low latitude
ionosphere and thermosphere [Exposé de synthèse sur invitation]
Vth I.A.G.A. Scientific Assembly
Prague, Tchécoslovaquie, 05-17 août, 1985
- 1703 BEAUJARDIERE (de La) O., SENIOR C., HEELIS R.A., SHARBER J.R.,
WINNINGHAM J.D., HOEGY W.R.
Study of the evening sector auroral oval with the Chatanika radar,
DE-2 and NOAA-6 satellites : II - F-region ionization sources
A.G.U. Fall Meeting
San Francisco, California, U.S.A., 09-13 décembre, 1985
- 1704 BELMONT G., ROUX A.
Transfer of mass, impulsion and energy at the earth's magnetosphere
Workshop on "Magnetic Reconnection and Turbulence"
cargèse, France, 07-13 juillet, 1985
- 1705 BLANC M.
Physique des plasmas et exploration du système solaire [Exposé de
synthèse sur invitation]
*Congrès de la Société Française de Physique - Conférence de la
Division de Physique des Plasmas*
Nice, France, 09-13 septembre, 1985
- 1706 BOURDILLON A., FONTAINE D.
F region ion drift and velocity of small scale irregularities using
HF backscatter : A EISCAT-EDIA preliminary comparison
*1985 North American Radio Science Meeting and International ISEE/AP-S
Symposium*
Vancouver, Canada,, 17-21 juin, 1985
- 1707 CANU P., SOLOMON J., ETCHETO J.
Etudes numériques des ondes de plasma électronique en amont de l'onde
de choc terrestre
Vth I.A.G.A. Scientific Assembly
Prague, Tchécoslovaquie, 05-17 août, 1985
- 1708 CHANTEUR G.
A modified Fornberg-Whitham's scheme for dissipative KdV equations
Nordic Symposium on "Nonlinear Waves in Plasmas"
Riso National Laboratory, Denmark, 13-16 août, 1985

- 1709 CHRISTIANSEN P.J., ETCHETO J., GOUGH M.P.
 Studies of the polarization of terrestrial electromagnetic continuum radiation
Colloque International "Etude Comparative des Systèmes Magnétosphériques", C.N.E.S.
 La Londe Les Maures, France, 09-14 septembre, 1985
- 1710 CORNILLEAU-WEHRLIN N., SOLOMON J., KORTH A., KREMSER G.
 Observation of energetic electrons and VLF waves at geostationary orbit during Sudden Storm Commencements (SSC)
A.G.U. Fall Meeting
 San Francisco, California, U.S.A., 09 -13 décembre, 1985
- 1711 CORNILLEAU-WEHRLIN N., TIXIER M.
 Mesures simultanées d'ondes dans la magnétosphère et au sol : Apport à l'étude des missions TBF quasi-périodiques [Exposé de synthèse sur invitation]
Colloque du GRECO-PLASMAE
 Muides s/Loire, 17-19 décembre, 1985
- 1712 DAWSON J.M., LEMBEGE B.
 Self consistent study of collisionless perpendicular shock
27th American Physical Society
 San Diego, California, U.S.A., 04-08 novembre, 1985
- 1713 DAWSON J.M., LEMBEGE B.
 Supercritical and subcritical viscous perpendicular collisionless shock
A.G.U. Fall Meeting
 San Francisco, California, U.S.A., 09-13 décembre, 1985
- 1714 DUBOIN M.L.
 Meridional component of the F region neutral wind from EISCAT data : Altitude and latitude variation
Second EISCAT International Workshop
 Aberystwyth, G.B., 09-12 septembre, 1985
- 1715 DUBOIN M.L.
 Heating rates measured by EISCAT : Latitudinal variations
Second EISCAT International Workshop
 Aberystwyth, G.B., 09-12 septembre, 1985
- 1716 ETCHETO J.
 Presentation of the 22 February 1982 event
ISEE Workshop on the "Plasmasheet Boundary Layer"
 Issy-Les-Moulineaux, France, 25-26 avril, 1985
- 1717 ETCHETO J., CORNILLEAU-WEHRLIN N.
 Triggering of storm-associated non-thermal continuum
Colloque International "Etude Comparative des Systèmes Magnétosphériques", C.N.E.S.
 La Londe Les Maures, France, 09-14 septembre, 1985

- 1718 ETCHETO J., SAINT MARC A.
Anomalous high plasma densities in the plasma sheet boundary layer :
Evidence for a hidden population
*Colloque International "Etude Comparative des Systèmes
Magnétosphériques", C.N.E.S.*
La Londe Les Maures, France, 09-14 septembre, 1985
- 1719 ETCHETO J., SAINT MARC A.
Anomalous high plasma densities in the plasma sheet boundary layer :
Evidence for a hidden population
Chapman Conference on "Magnetotail Physics"
Laurel, Maryland, U.S.A., 28-31 octobre, 1985
- 1720 FEJER B.J., SENIOR C., HOLT J.A., TEPLEY C.A., ABDU M.A., SOBRAL
J.H.A.
Low and mid-latitude ionospheric electric field measurements during
GISMOS 1
A.G.U. Spring Meeting
Baltimore, Maryland, U.S.A., 27-31 mai, 1985
- 1721 FONTAINE D., PERRAUT S., ALCAYDE D., CAUDAL G., HIGEL B.
Large-scale structure of the convection inferred from co-ordinated
measurements by EISCAT and GEOS 2
Second EISCAT International Workshop
Aberystwyth, G.B., 09-12 septembre, 1985
- 1722 GIRARD L., SENIOR C.
Electrodynamic structure of auroral arcs from EISCAT measurements : A
case study
Vth I.A.G.A. Scientific Assembly
Prague, Tchécoslovaquie, 05-17 août, 1985
- 1723 JEDE B., GLASSMEIER K.H., RANTA A., CORNILLEAU-WEHRLIN N., KORTH A.,
COLLIS P., JUNGINGER H.
Simultaneous observations of a riometer pulsation event at the ground
and with a geostationary satellite on August 31, 1978
Vth I.A.G.A. Scientific Assembly
Prague, Tchécoslovaquie, 05-17 août, 1985
- 1724 LEMBEGE B., DAWSON J.M.
Study of collisionless and viscous oblique supercritical shock
27th American Physical Society
San Diego, California, U.S.A., 04-08 novembre, 1985
- 1725 LEMBEGE B., DAWSON J.M.
Particle dynamic through a supercritical viscous oblique
collisionless shock
A.G.U. Fall Meeting
San Francisco, California, U.S.A., 09-13 décembre, 1985
- 1726 MALINGRE M., POTTELETTE R.
Ondes électrostatiques basse fréquence excitées par un faisceau
d'ions dans l'ionosphère aurorale
*Congrès de la Société Française de Physique - Conférence de la
Division de Physique des plasmas, 1985*
Nice, France, 09-13 septembre, 1985

- 1727 MAZAUDIER C.
Study of large-scale electric current systems by the Saint-Santin
quadrastatic incoherent scatter sounder
E.G.S. Symposium
Munich, R.F.A., 05-08 mars, 1985
- 1728 MAZAUDIER C.
On the ground magnetic variation produced by ionospheric electric
currents
Vth I.A.G.A. Scientific Assembly
Prague, Tchécoslovaquie, 05-17 août, 1985
- 1729 MAZAUDIER C., SENIOR C., NIELSEN E.
On the stationary state of magnetospheric convection : Observations
and model
Vth I.A.G.A. Scientific Assembly
Prague, Tchécoslovaquie, 05-17 août, 1985
- 1730 PERRAUT S., FONTAINE D., HIGEL B. -
Magnetospheric convection E-field and its relationships with solar
wind and ionospheric E-fields [Exposé de synthèse sur invitation]
Chapman Conference on "Solar Wind-Magnetosphere Coupling"
Pasadena, Ca., U.S.A., 12-15 février, 1985
- 1731 POTTELETTE R.
Generation of shocks and Turbulence through the interaction of conics
with the background plasma
*7th ESA Symposium on "European Rocket and Balloon Programs and
Related Research"*
Loen, Norvège, 05-11 mai, 1985
- 1732 RAADU M., CHANTEUR G.
Development of shocklike solutions of an mKdV equation : Double layers
XIth Annual Conference on "Plasma Physics"
Glasgow, G.B., 26-28 juin, 1985
- 1733 RAADU M., CHANTEUR G.
Formation of double layers : Shocklike solutions of an mKdV equation
Nordic Symposium on "Nonlinear Waves in Plasmas"
Riso National Laboratory, Denmark, 13-16 août, 1985
- 1734 ROUX A.
Waves and wave particle interactions [Exposé de synthèse sur
invitation]
Vth I.A.G.A. Scientific Assembly
Prague, Tchécoslovaquie, 05-17 août, 1985
- 1735 ROUX A., CORNILLEAU-WEHRLIN N., PERRAUT S., GENDRIN R.
Anomalous heating of ionospheric components (thermal E and He⁺) by
intense ICW's in the equatorial magnetosphere [Exposé de synthèse
sur invitation]
*Conférence Chapman sur "L'Accélération des ions dans la Magnétosphère
et l'ionosphère"*
Wellesley College, Boston, Mass., U.S.A., 03-07 juin, 1985

- 1736 ROUX A., PERRAUT S., ROBERT P., PEDERSEN A., KORTH A., KREMSER G., PELLINEN R., RODGERS D., HULQVIST B.
The role of ULF turbulence during magnetospheric substorms [Exposé de synthèse sur invitation]
Vth I.A.G.A. Scientific Assembly
Prague, Tchécoslovaquie, 05-17 août, 1985
- 1737 SENIOR C., BEAUJARDIERE (de La) O., SHARBER R.
E and F region study of the evening sector auroral oval : A Chatanika Dynamics Explorer-B data comparison
Vth I.A.G.A. Scientific Assembly
Prague, Tchécoslovaquie, 05-17 août, 1985
- 1738 SENIOR C., BLANC M., FEJER B.G., D HOLT J.A., TEPLEY C.A.
Comparison of the predictions of a time-dependent linear convection model with ionospheric electric fields measured during the GISMOS 1 multiradar campaign
A.G.U. Fall Meeting
San Francisco, California, U.S.A., 09-13 décembre, 1985
- 1739 SHARBER J.R., SENIOR C., EVANS D.S., BEAUJARDIERE (de La) O., HEELIS R.A., SUGIURA M.
Study of the evening sector auroral oval with the Chatanika radar, DE-2 and NOAA-6 satellites : I - E-region ionization sources
A.G.U. Fall Meeting
San Francisco, California, U.S.A., 09-13 décembre, 1985
- 1740 SOLOMON J., CORNILLEAU-WEHRLIN N., KORTH A., KREMSER G.
On the origin of plasmaspheric hiss : Local generation
Vth I.A.G.A. Scientific Assembly
Prague, Tchécoslovaquie, 05-17 août, 1985
- 1741 STAMNES K., PERRAUT S., BOSQUED J.M., REES M.H., EMERY B.A., ROBLE R.G.
Ionospheric response to daytime auroral electron precipitation : Results and analysis of a co-ordinated experiment between the AUREOL-3 satellite and the EISCAT radar
Second EISCAT International Workshop
Aberystwyth, G.B., 09-12 septembre, 1985
- 1742 STAMNES K., PERRAUT S., BOSQUED J.M., REES M.H., EMERY B.A., ROBLE R.G.
Ionospheric response to daytime auroral electron precipitation : Results and analysis of a co-ordinated experiment between the AUREOL-3 satellite and the EISCAT radar
Vth I.A.G.A. Scientific Assembly
Prague, Tchécoslovaquie, 05-17 août, 1985
- 1743 TIXIER M., CORNILLEAU-WEHRLIN N.
Relationship between VLF-QP modulations and VLF waves. Experimental study using ground and GEOS data and interpretation
Vth I.A.G.A. Scientific Assembly
Prague, Tchécoslovaquie, 05-17 août, 1985

1986

- 1744 BAHNSEN A., DECREAU P.M.E., HAMELIN M., MASSIF R., FERAUDY (de) H., PAWELA E., POTTELETTE R.
Plasma probing by active wave experiment on the VIKING satellite :
First results
E.G.S. Symposium on "Auroral Dynamics : Results from EISCAT and VIKING"
Kiel, R.F.A., 21-30 août, 1986
- 1745 BEAUJARDIERE (de La) O., WICKWAR V.B., EVANS D.S., HEINEMANN N., SENIOR C.
Incoherent scatter and satellite observations of substorms
A.G.U. Spring Meeting
Baltimore, Maryland, U.S.A., mai 1986
- 1746 BEAUJARDIERE (de La) O., SENIOR C., EVANS D.S., HEINEMANN N.
Substorm observations during GISMOS
Symposium on "Solar-Terrestrial Physics - Magnetosphere-Ionosphere System" [XXVI COSPAR]
Toulouse, France, 30 juin - 05 juillet, 1986
- 1747 BELMONT G., REZEAU L.
"Kinetic" Alfvén wave and other ion modes : The fluid approach
Symposium on "Solar-Terrestrial Physics - Magnetosphere-Ionosphere System" [XXVI COSPAR]
Toulouse, France, 30 juin - 12 juillet, 1986
- 1748 BERTHELIER A., BERTHELIER J.J., BOSQUED J.M., GALPERIN Y.
Intense mid-scale field aligned currents associated with auroral precipitations
International Symposium on "Polar Geomagnetic Phenomena"
Suzdal, U.R.S.S., mai 1986
- 1749 BERTHELIER J.J.
Thermal plasma motion in the Polar Upper Atmosphere
Symposium on "Physics of Thermal Plasma in the Magnetosphere" [COSPAR, 1986]
Toulouse, France, juillet 1986
- 1750 BERTHELIER J.J., BLANC M.
Environnement du satellite : Orbites polaires
Cours de Technologie Spatiale, C.N.E.S.
Toulouse, France, juillet 1986
- 1751 BERTHELIER J.J., CERISIER J.C., MACHARD C.
The ULF electromagnetic turbulence in the auroral zone and cusp
Symposium on "Solar-Terrestrial Physics - Magnetosphere-Ionosphere System" [XXVI COSPAR]
Toulouse, France, juillet 1986
- 1752 BLANC M.
Ionospheres of the terrestrial planets [Exposé de synthèse sur invitation]
Conférence à l'Ecole d'Eté "Astronomie Spatiale et Exploration du Système Solaire", E.S.A.
Alpach, Autriche, 03-10 août, 1986

- 1753 BOSQUED J.M., HOFFMAN R.A., BERTHELIER A., PELLINEN R.J., KOVRAZHKIN R.A.
Stability of inverted-V events observed by DE-2 and AUREOL-3
Topical Meeting on "Magnetosphere-Ionosphere-Thermosphere Interactions during High Solar Activity" [XXVI COSPAR]
Toulouse, France, juillet 1986
- 1754 CAUDAL G.
The response of energetic trapped electrons to a modulation of ionospheric conductivity at Jupiter
Second Neil Brice Memorial Symposium on "Magnetospheres of the Outer Planets"
Iowa City, Iowa, U.S.A., 01-05 septembre, 1986
- 1755 CERISIER J.C., MACHARD C., POTTELETTE R.
Kinetic Alfvén waves generated by time varying field-aligned currents
Symposium on "Solar-Terrestrial Physics - Magnetosphere-Ionosphere System" [XXVI COSPAR]
Toulouse, France, juillet 1986
- 1756 CHANTEUR G.
The formation of weak current driven double layers [Exposé de synthèse sur invitation]
NASA Workshop on "Double Layers in Astrophysics"
Huntsville, NASA/MSFC, Alabama, U.S.A., 17-19 avril, 1986
- 1757 CORNILLEAU-WEHRLIN N., SOLOMON J., KORTH A., KREMSER G.
A study of ELF hiss generation inside and outside the plasmasphere
A.G.U. Fall Meeting
San Francisco, California, U.S.A., 08-12 décembre, 1986
- 1758 DAWSON J.M., LEMBEGE B.
Foot characteristics of an oblique collisionless supercritical shock
A.G.U. Fall Meeting
San Francisco, California, U.S.A., 08-12 décembre, 1986
- 1759 ETCHETO J., ANDERSON R.R., ELPHIC R., FITZENREITER R., HARVEY C.C., HUANG C., SAINT-MARC A., SONG X.T., TROTIGNON J.G.
Structure of boundary layers
Symposium on "Solar-Terrestrial Physics - Magnetosphere-Ionosphere System" [XXVI COSPAR]
Toulouse, France, 30 juin - 05 juillet, 1986
- 1760 FEJER B.G., SENIOR C., BEAUJARDIERE (de La) O., HOLT J.A., TEPLEY C.A., BURNSIDE R., ABDU M.A., SOBRAL J.A.
Low- and mid-latitude ionospheric electric fields measurements during World Days
International Symposium on "Large Scale Processes in the Ionospheric Thermospheric System"
Boulder, Colorado, U.S.A., 02-06 décembre, 1986
- 1761 FERAUDY (de) H., BAHNSEN A., JESPERSEN M., MULLER-PEDERSEN B.,
Observations of auroral kilometric radiation by the VIKING wave experiment at altitudes below 14 000 km [Exposé de synthèse] sur invitation]
E.G.S. Symposium on "Auroral Dynamics : Results from EISCAT and VIKING"
Kiel, R.F.A., 21-30 août, 1986

- 1762 FONTAINE D.
Large-scale structures and convection electric fields and field-aligned currents inferred from EISCAT measurements [Exposé de synthèse sur invitation]
E.G.S. Symposium on "Auroral Dynamics : Results from EISCAT and VIKING"
Kiel, R.F.A., 21-30 août, 1986
- 1763 FONTAINE D.
EISCAT experiments of elevation scan (CP-3) : Examples of investigations of the auroral electrodynamics
Cours à l'Ecole d'Eté de "Incoherent Scatter Technique (EISCAT)"
Tromsø, Norvège, 04-16 août, 1986
- 1764 FONTAINE D., PERRAUT S., CORNILLEAU-WEHRLIN N.
Coordinated observations of electron fluxes and electrostatic cyclotron waves during diffuse auroras
Symposium on "Solar-Terrestrial Physics - Magnetosphere-Ionosphere System" [XXVI COSPAR]
Toulouse, France, 30 juin - 12 juillet, 1986
- 1765 GENDRIN R., CORNILLEAU-WEHRLIN N., FONTAINE D., HIGEL B., PERRAUT S., ROUX A.
Magnetic conjugacy as observed at the apex of the field line : GEOS-2 results [Exposé de synthèse sur invitation]
XIXth General Assembly of the Special Committee for Antarctic Research [S.C.A.R.]
San Diego, California, U.S.A., 16-27 juin, 1986
- 1766 GODDARD R., BERTHELIER J.J., LAFRAMBOISE J.
Potentiels autour de satellites et leur contrôle
54eme Congres de l'ACFAS
Montreal, Canada, mai 1986
- 1767 LEMBEGE B., DAWSON J.M.
Relativistic particle dynamics in a strongly magnetized plasma
28th American Physical Society
Baltimore, U.S.A., 03-07 novembre, 1986
- 1768 LEMBEGE B., DAWSON J.M.
Dynamics of energetic particles in a strongly magnetized plasma
A.G.U. Fall Meeting
San Francisco, California, U.S.A., 08-12 décembre, 1986
- 1769 MAZAUDIER C.
On thermospheric winds produced by auroral heating during magnetic storm and associated dynamo electric fields
International Symposium on "Large Scale Processes in the Ionospheric Thermospheric System" [submitted to Ann. Geophysicae]
Boulder, Colorado, U.S.A., 02-06 décembre, 1986
- 1770 OPGENOORTH H.J., BROMAGE B., FONTAINE D., LA HOZ C., HUUSKONEN A., KOHL H., LOVHAUG U.P., WANNBERG G.
First results of coordinated EISCAT/VIKING observations
E.G.S. Symposium on "Auroral Dynamics : Results from EISCAT and VIKING"
Kiel, R.F.A., 21-30 août, 1986

- 1771 POTTELETTE R., BAHNSEN A., FERAUDY (de) H., JESPERSEN M., MALINGRE M., PERRAUT S.
VLF hiss emissions in the auroral magnetosphere : Preliminary results from VIKING observations
E.G.S. Symposium on "Auroral Dynamics : Results from EISCAT and VIKING"
Kiel, R.F.A., 21-30 août, 1986
- 1772 RAUCH J.L., CERISIER J.C., BERTHELIER J.J., LEFEUVRE F., GUILLAUME C., BOUD'KO N., MICHAILOVA G.
ELF hiss in the plasmasphere
Symposium on "Physics of Thermal Plasma in the Magnetosphere"
[COSPAR, 1986]
Toulouse, France, juillet 1986
- 1773 REZEAU L., MORANE A., PERRAUT S., ROUX A., PEDERSEN A., SCHMIDT R.
A study of Alfvénic turbulence in the magnetopause and the adjacent magnetosheath
Symposium on "Solar-Terrestrial Physics - Magnetosphere-Ionosphere System" [XXVI COSPAR]
Toulouse, France, 30 juin - 12 juillet, 1986
- 1774 ROUX A., PERRAUT S., PEDERSEN A., KORTH A., KREMSER G., APARICIO B., PELLINEN R., RODGERS D.
Instability of the plasmasheet in relation to substorms [Exposé de synthèse sur invitation]
Symposium on "Solar-Terrestrial Physics - Magnetosphere-Ionosphere System" [XXVI COSPAR]
Toulouse, France, 30 juin - 12 juillet, 1986
- 1775 ROUX A., PERRAUT S., PEDERSEN A., KORTH A., KREMSER G., APARICIO B., PELLINEN R., RODGERS D.
Plasmasheet instability and substorm development [Exposé sur invitation]
Symposium on "Polar Geomagnetic Phenomena"
Souzdal, U.R.S.S., 25-31 mai, 1986
- 1776 SALAH J., DUBOIN M.L., MAZAUDIER C.
Comparison of electrodynamic behavior in the ionosphere over Saint-Santin and Millstone Hill during the GTMS June 1984 campaign
International Symposium on "Large Scale Processes in the Ionospheric Thermospheric System"
Boulder, Colorado, U.S.A., 02-06 décembre, 1986
- 1777 SENIOR C., BLANC M.
Middle- and low-latitude ionospheric electric fields : Model and data
International Symposium on "Large Scale Processes in the Ionospheric Thermospheric System"
Boulder, Colorado, U.S.A., 02-06 décembre, 1986
- 1778 SOLOMON J., CORNILLEAU-WEHRLIN N., KORTH A., KREMSER G.
Non stationary effects in wave particle interactions during Storm Sudden Commencements [SSC]
Symposium on "Solar-Terrestrial Physics - Magnetosphere-Ionosphere System" [XXVI COSPAR]
Toulouse, France, 30 juin - 12 juillet, 1986

- 1779 WICKWAR V.B., SALAH J., OLIVER W.L., BURNSIDE R., TEPLEY C., ALCAYDE D., MAZAUDIER C., ROBLE R.G.
Meridional winds during the TMS period [Exposé de synthèse sur invitation]
COSPAR/Workshop on "Thermospheric Mapping Study" [TMS]
Toulouse, France, juillet 1986
- 1780 WICKWAR V.B., SALAH J., OLIVIER W.L., BURNSIDE R., TEPLEY C., ALCAYDE D., DUBOIN M.L., ROBLE R.G.
Meridional winds during the GTMS summer solstice period
International Symposium on "Large Scale Processes in the Ionospheric Thermospheric System"
Boulder, Colorado, U.S.A., 02-06 décembre, 1986
- 1987
- 1781 ALTMAN C., LEMBEGE B., ROUX A.
Generation of the non-thermal E M continuum
U.R.S.I. 22nd General Assembly
Tel Aviv, Israël, 24 août - 04 septembre, 1987
- 1782 BERTHELIER A.
Structures de courants alignés à petite échelle [ARCAD 3]
Séminaire du GRECO PLASMAE
St Etienne-Les-Orgues, France, 19-21 octobre, 1987
- 1783 BERTHELIER J.J.
The low altitude (< 2000 km) ionospheric source for the magnetospheric ions : Experimental aspects
IUGG XIXth General Assembly [IAGA] - Symposium on "Variability of the Ion Composition in the Earth's Magnetosphere"
Vancouver, Canada, 09-22 août, 1987
- 1784 BLANC M.
Magnetosphere-ionosphere coupling [Exposé de synthèse sur invitation]
IUGG XIXth General Assembly [IAGA], Atelier de travail sur le programme "World Ionosphere-Thermosphere Study"
Vancouver, Canada, 09-22 août, 1987
- 1785 CAUDAL G., BLANC M.
Magnetospheric convection during quiet times : A review [Exposé de synthèse sur invitation]
IUGG XIXth General Assembly [IAGA]
Vancouver, Canada, 09-22 août, 1987
- 1786 CHANTEUR G., BELMONT G., PERRAUT S., REZEAU L., ROUX A.
Kelvin-Helmholtz instability at the magnetopause : New theoretical results
21st ESLAB Symposium on "Small-Scale Plasma Processes"
Boknesjo, Norvège, 22-25 juin, 1987
- 1787 CHANTEUR G., BELMONT G., PERRAUT S., REZEAU L., ROUX A.
L'instabilité de Kelvin-Helmholtz à la magnétopause : Nouveaux résultats théoriques
Congrès de la Société Française de Physique [SFP'1987]
Strasbourg, France, 06-10 juillet, 1987

- 1788 CHANTEUR G., BELMONT G., PERRAUT S., REZEAU L., ROUX A.
Kelvin-Helmholtz turbulence at the magnetopause
The Third International School for Space Simulation [ISSS-3]
Second Part
Beaulieu, France, 22-27 juin, 1987
- 1789 CHANTEUR G., PORTENEUVE E., OMURA Y.
Benchmarks of the ES1 code on different computers ; a short comparison
The Third International School for Space Simulation [ISSS-3]
Second Part
Beaulieu-sur-Mer, France, 22-27 juin, 1987
- 1790 CORNILLEAU-WEHRLIN N., HUGHES W.J., CATTELI C.A., ELPHIC R.C.
Multi-point studies of currents and waves at substorm onset
A.G.U. Spring Meeting
Baltimore, U.S.A., mai 1987
- 1791 ETCHETO J., ANDERSON R.R., ELPHIC R.C., HUANG C., SAINT-MARC A.,
TROTIGNON J.G.
Experimental study of high frequency turbulence observed in the
plasmashet boundary layer
IUGG XIXth General Assembly
Vancouver, Canada, 09-22 août, 1987
- 1792 FERAUDY (de) H.
Observations du rayonnement kilométrique auroral au voisinage des
régions sources par VIKING
Séminaire du GRECO PLASMAE
St Etienne-Les-Orgues, France, 19-21 octobre, 1987
- 1793 GIRARD L.
Un scénario possible de formation des structures d'arcs multiples
Séminaire du GRECO PLASMAE
St Etienne-Les-Orgues, France, 19-21 octobre, 1987
- 1794 GIRARD L., SENIOR C.
Electrodynamics of a two-arc structure as inferred from EISCAT
measurements
Third EISCAT International Workshop
Bad Lauterberg, R.F.A., mars 1987
- 1795 HILGERS A.
Elements de typologie des sources du rayonnement kilométrique
terrestre
Séminaire du GRECO PLASMAE
St Etienne-Les-Orgues, 19-21 octobre, 1987
- 1796 HUGHES W.J., CORNILLEAU-WEHRLIN N., SMITS D.P., CATTELL C.A., ELPHIC R.C.
Multisatellite observations of substorm onsets using the ISEE
spacecraft
A.G.U. Fall Meeting
San Francisco, California, U.S.A., décembre, 1987

- 1797 LEMBEGE B.
Particle acceleration by non linear magnetospheric waves in space plasma by computer simulation [Exposé de synthèse sur invitation]
U.R.S.I. 22nd General Assembly
Tel Aviv, Israël, 24 août - 04 septembre, 1987
- 1798 LE QUEAU D.
Introduction à la physique des plasmas chauds
Polycopie du cours professé au DEA d'Astrophysique et Techniques Spatiales
- de l'Université Paul Sabatier (Professeur J. VEDRENNE)
- des Universités Paris 7 et Paris 11 (Professeur J. HEYWAERTS)
- 1799 LOUARN P.
Modeles théoriques des sources de l'AKR
Séminaire du GRECO PLASMAE
St Etienne-Les-Orgues, France, 19-21 octobre, 1987
- 1800 LOUARN P.
Study of a possible mechanism for the generation of stellar radio bursts : The synchrotron maser instability
U.R.S.I. 22nd General Assembly
Tel Aviv, Israël, 24 août - 04 septembre, 1987
- 1801 LUDLOW G.R., HUGHES W.J., CORNILLEAU-WEHRLIN N.
Observations of Pc 1 events using ground-based and satellite measurements
IUGG XIXth General Assembly [IAGA]
Vancouver, Canada, 09-22 août, 1987
- 1802 LUDLOW G.R., HUGHES W.J., CORNILLEAU-WEHRLIN N., SINGER H.J.
Observations of Pc1 events using ground-based and satellite measurements
Chapman Conference on "Plasma Waves and Instabilities in Magnetospheres and at Comets"
Sendai/Mt Zao, Japon, 12-16 octobre, 1987
- 1803 MALINGRE M., POTTELETTE R.
Sursauts électrostatiques intenses et structures fines de courants alignés observés dans les arcs :
1 - Observations du satellite VIKING
2 - Etude des mécanismes possibles de génération de ces ondes
Séminaire du GRECO PLASMAE
St Etienne-Les-Orgues, France, 19-21 octobre, 1987
- 1804 MAZAUDIER C.
On the relation between ionospheric phenomena and SR day to day variability [Exposé de synthèse sur invitation]
IUGG XIXth General Assembly [IAGA]
Vancouver, Canada, 09-22 août, 1987
- 1805 MENVIELLE, MAZAUDIER C., BELOUET F., BOUVET J.
The SR day to day variability and its relations to the ionospheric disturbance dynamo
IUGG XIXth General Assembly [IAGA]
Vancouver, Canada, août 1987

- 1806 MOUNIR H., CERISIER J.C., BERTHELIER A., BERTHELIER J.J.
Turbulence électrostatique observée par AUREOL 3
Séminaire du GRECO PLASMAE
St Etienne-Les-Orgues, 19-21 octobre, 1987
- 1807 NIELSEN E., SENIOR C.
Conductivity enhancements associated with increased electron temperatures owing to excitation of unstable short-scale plasma waves in the ionospheric E-region
Third EISCAT International Workshop
Bad Lauterberg, R.F.A., mars 1987
- 1808 OPGENOORT H.J., BROMAGE B., FONTAINE D., LA HOZ C., HUUSKONEN A., LOVHAUG U.P., WANNBERG G.
Coordinated EISCAT/VIKING Observations - Outline of experiments and description of observations
Third EISCAT International Workshop
Bad Lauterberg, R.F.A., mars 1987
- 1809 PEDERSEN B.M., FERAUDY (de) H.
Présentation de données VIKING simultanées, observées pendant des traversées de sources AKR, associées aux arcs auroraux du côté nuit et arcs polaires
Séminaire du GRECO PLASMAE
St Etienne-Les-Orgues, France, 19-21 octobre, 1987
- 1810 PERRAUT S., ROBERT P., ROUX A., PELLINEN R., PEDERSEN A., KORTH A., KREMSER G., APARICIO B.
Instability of the outer edge of the ring current at substorm onsets
IUGG XIXth General Assembly [IAGA]
Vancouver, Canada, 09-22 août, 1987
- 1811 POTTELETTE R.
Small scale size structures detected in the source region of AKR
8th E.S.A. Symposium on "European Rocket, Balloon Programmes and Related Research"
Sunne, Suède, mai 1987
- 1812 POTTELETTE R.
Emissions d'ondes près du cornet polaire
Séminaire du GRECO PLASMAE
St Etienne-Les-Orgues, France, 19-21 octobre, 1987
- 1813 POTTELETTE R., MALINGRE M., BAHNSEN A., ERLANDSON R.
Observation of high frequency waves near the cusp [Exposé de synthèse sur invitation]
E.G.S. Symposium on "New Results in Magnetospheric Physics"
Strasbourg, France, avril 1987
- 1814 RAADU M.A., CHANTEUR G.
Weak double layers as shockline solutions of a modified Korteweg-De Vries equation
The Third International School for Space Simulation [ISSS-3] Second Part
Beaulieu, France, 22-27 juin, 1987

- 1815 REZEAU L.
Fluctuations électromagnétiques observées à l'orbite géostationnaire lors de traversées de magnétopause et lors de sous-orages
Séminaire du GRECO PLASMAE
St Etienne-Les-Orgues, France, 19-21 octobre, 1987
- 1816 REZEAU L., MORANE A., PERRAUT S., ROUX A., SCHMIDT R.
Characterization of Alfvénic turbulence in the magnetopause boundary layer
21st ESLAB Symposium on "Small-Scale Plasma Processes"
Bolkesjo, Norvège, 22-25 juin, 1987
- 1817 REZEAU L., MORANE A., ROUX A., PERRAUT S., SCHMIDT R.
Caractérisation de la turbulence électromagnétique ultra-basse-fréquence au voisinage de la magnétopause terrestre
Congrès de la Société Française de Physique [SFP'1987]
Strasbourg, France, 06-10 juillet, 1987
- 1818 RICHMOND A.D., KAMIDE Y., AKASOFU S.I., ALCAYDE D., BLANC M., BEAUJARDIERE (de la) O., EVANS D.S., FOSTER J.C., FRIIS-CHRISTENSEN E., HOLT J.M., PELLINEN R.J., SENIOR C., ZAITZEV A.N.
Mapping the electrodynamic features of the high-latitude ionosphere
IUGG XIXth General Assembly [IAGA]
Vancouver, Canada, 09-22 août, 1987
- 1819 ROUX A., PERRAUT S., REZEAU L., MORANE A., PEDERSEN A., SCHMIDT R., KORTH A., KREMSER G., APARICIO B.
Characteristics of ULF fluctuations within magnetospheric boundaries [Exposé de synthèse sur invitation]
IUGG XIXth General Assembly [IAGA]
Vancouver, Canada, 09-22 août, 1987
- 1820 SENIOR C., BLANC M.
Convection in the inner magnetosphere : Model predictions and data
Symposium on "Magnetosphere-Ionosphere Coupling Processes"
Kyoto, Japon, mars 1987
- 1821 SENIOR C., BLANC M.
Convection in the inner magnetosphere : Model predictions and data
CEDAR Workshop on "Coupling, Energetics, and Dynamics of Atmospheric Regions"
Boulder, Colorado, U.S.A., 29 juin - 02 juillet, 1987
- 1822 VERGA A.D., CHANTEUR G., PELLAT R.
Current driven weak double layers
The Third International School for Space Simulation [ISSS-3] Second Part
Beaulieu, France, 22-27 juin, 1987
- 1988
- 1823 BERCHEM J., GENDRIN R., OMURA Y.
Chauffage résonant et non résonant des ions He⁺ dans la magnétosphère
Colloque de Physique des Plasmas de la SFP
Orsay, France, 12-13 septembre, 1988

- 1824 BERTHELIER A., CAUDAL G., FONTAINE D.
Comparison of field-aligned currents during a well conjugated pass of the French-Soviet spacecraft ARCAD 3 above the EISCAT field of view
Second Viking Workshop
La Londe-les-Maures, France, 02-06 mai, 1988
- 1825 BLANC M.
Ionosphere/magnetosphere coupling processes [Exposé de synthèse sur invitation]
NATO-AGARD Symposium on "Ionospheric Structure and Variability"
Munich, R.F.A., 16-20 mai, 1988
- 1826 CAUDAL G., CONNERNEY J.
Jupiter's planetary magnetic field and magnetospheric plasma pressure distribution inferred from Voyager magnetometer observations
A.G.U. Spring Meeting
Baltimore, Maryland, U.S.A., 16-20 mai, 1988
- 1827 CERISIER J.C., MOUNIR H., BERTHELIER J.J.
Electrostatic turbulence in the high latitude ionosphere
NATO-AGARD Symposium on "Ionospheric Structure and Variability"
Munich, R.F.A., 16-20 mai, 1988
- 1828 CHANTEUR G., BELMONT G.
Numerical simulations of surface waves on the terrestrial magnetopause
Second Nordic-Symposium on "Nonlinear Phenomena in Plasmas and Related Topics"
Riso National Laboratory, Riso, Danemark, 08-12 août, 1988
- 1829 CORNILLEAU-WEHRLIN N., HUGUES W.J., CATELL C.A., ELPHIC R.C.
Multipoint studies of substorm onset signatures
Second Viking Workshop
La Londe-les-Maures, France, 02-06 mai, 1988
- 1830 ERLANDSON R.E., ZANETTI L.J., POTEIRA T.A., MURPHREE J.S., BLOCK L., MARKLUND G., HOLMGREN G., POTTELETTE R., LUNDIN K.
Aurora near the polar cusp : Magnetic fields , electric fields and charged particles
International Conference on "Auroral Physics"
Cambridge, St. Johns College, G.B., 11-15 juillet, 1988
- 1831 EVANS D.S., CROWLEY G., BEAUJARDIERE (de la) O., JOHNSON R., HEINEMAN N.C., LESTER M., SENIOR C.
Time-dependent correlations between particle precipitation, plasma convection, and electric currents : A test study using the January 1984 GISMOS interval
A.G.U. Fall Meeting
San Francisco, California, U.S.A., décembre 1988
- 1832 FONTAINE D.
Large scale convection and electrodynamics at the auroral and polar latitudes [Exposé de synthèse sur invitation]
Second Viking Workshop
La Londe-les-Maures, France, 02-06 mai, 1988

- 1833 HANUISE C., GREENWALD R.A., BAKER K.B., RUOHONIEMI J.M., CERISIER J.C., SENIOR C.
Small-scale irregularities and global plasma dynamics in the high-latitude ionosphere
NATO-AGARD Symposium on "Ionospheric Structure and Variability"
Munich, R.F.A., 16-20 mai, 1988
- 1834 KORTH A., KREMSER G., ULLALAND S.L., ROUX A., PERRAUT S., PEDERSEN A., SCHMIDT R., TANSEKANEN P.
Field-aligned energetic electrons beams observed at geostationary orbit at substorm onsets
XXVIIth COSPAR - Symposium 7
Espoo, Finlande, 18-29 juillet, 1988
- 1835 LE QUEAU D., ROUX A., FERAUDY (de) H., LOUARN P.
Generation of the Auroral Kilometric Radiation by maser cyclotron instability
Second Viking Workshop
La Londe-les-Maures, France, 02-06 mai, 1988
- 1836 LILENSTEIN J., FONTAINE D., ELIASSON L.
Effects of the precipitation on the auroral ionosphere : Comparison between EISCAT and VIKING's observations
Second Viking Workshop
La Londe-les-Maures, France, 02-06 mai, 1988
- 1837 MALINGRE M., POTTELETTE R., BAHNSEN A., ELIASSON L., MARKLUND G.
Broadband impulsive waves and small scale DC electric field structure observed by VIKING
Second Viking Workshop
La Londe-les-Maures, France, 02-06 mai, 1988
- 1838 MALINGRE M., POTTELETTE R., BAHNSEN A., ELIASSON L., MARKLUND G.
Broadband impulsive waves and small scale DC electric field structures observed by VIKING
International Conference on "Auroral Physics"
Cambridge, St. Johns College, G.B., 11-15 juillet, 1988
- 1839 MOUNIR H., BERTHELIER A., LAGOUTTE D., BOSQUED J.M., CERISIER J.C., BERTHELIER J.J.
La turbulence électrique dans l'ionosphère à haute latitude
Colloque de la Division de Physique des Plasmas
Société Française de Physique, Orsay, France, septembre 1988
- 1840 PERRAUT S., ROUX A., KREMSER G., KORTH A., PEDERSEN A., SCHMIDT R.
Small-scale field-aligned current structures observed during substorms ; Consequences on the acceleration of energetic electron beams
International Conference on "Auroral Physics"
Cambridge, St Johns College, G.B., 11-15 juillet, 1988
- 1841 POTTELETTE R.
Small scale acceleration structures and high frequency wave generation [Exposé de synthèse sur invitation]
Second Viking Workshop
La Londe-les-Maures, France, 02-06 mai, 1988

- 1842 POTTELETTE R., MALINGRE M., ELIASSON L., STASIEWICZ K., MARKLUND G.
Bursts of intense broadband noise observed in the source regions of AKR
XIIIth General Assembly of the European Geophysical Society [EGS]
Bologne, Italie, 21-25 mars, 1988
- 1843 REZEAU L.
Ultra-low frequency turbulence in the vicinity of the magnetopause
International Workshop on "Turbulence on Nonlinear Dynamics in MHD Flows"
cargèse, France, 04-08 juillet, 1988
- 1844 REZEAU L.
Solitons d'Alfven
Groupe de Travail du GRECO PLASMAE sur "Turbulence dans les Plasmas Spatiaux"
Paris, France, 1er mars 1988
- 1845 SENIOR C., FONTAINE D., CAUDAL G.
Empirical models of convection electric field and electrostatic potential at high latitude from EISCAT observations : Preliminary results
NATO-AGARD Symposium on "Ionospheric Structure and Variability"
Munich, R.F.A., 16-20 mai, 1988
- 1846 SENIOR C., FONTAINE D., CAUDAL G.
Empirical models of convection electric field and electrostatic potential at high latitude from EISCAT observations
XXVII COSPAR Meeting
Espoo, Finlande, 18-29 juillet, 1988
- 1847 SONG X.T., CAUDAL G., GENDRIN R.
Refilling of the plasmasphere at the geostationary orbit : A Kp - dependent model deduced from the GEOS-2 measurements of the cold plasma density
XVII COSPAR Meeting
Espoo, Finlande, 18-29 juillet, 1988
- 1848 TAIEB C.
Simulation of the polar cap F-region ionization using an experimental convection electric field
NATO-AGARD Symposium on "Ionospheric Structure and variability"
Munich, R.F.A., 16-20 mai, 1988
- 1849 TIMOFEEV E.E., RASPOPOV O.M., GALPERIN Yu.I., JORJIO M.V., BOSQUED J.M., BERTHELIER J.J., BERTHELIER A., AULAMO O.A., VALLINKOSKI M.K., PELLINEN R.J.
Regularities in Birkeland current system stratification
International Conference on "Auroral Physics"
Cambridge, St. Johns College, G.B., 11-15 juillet, 1988

1989

- 1850 BELMONT G., REZEAU L.
 Événement à transfert de flux (FTE) : Etat de l'art
Séminaire GRECO PLASMAE
 Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989
- 1851 BERTHELIER A.
 Courants alignés à petite échelle et turbulence au voisinage du
 cornet polaire
Séminaire GRECO PLASMAE
 Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989
- 1852 BERTHELIER J.J.
 Dynamique des ions thermiques dans l'ionosphère polaire
Séminaire GRECO PLASMAE
 Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989
- 1853 BLANC M.
 Le vent polaire
Séminaire GRECO PLASMAE
 Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989
- 1854 CHANTEUR G.
 Simulation numérique (MHD) d'ondes de surface sur la magnetopause
Séminaire GRECO PLASMAE
 Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989
- 1855 CÔRNILLEAU-WEHRLIN N., SOLOMON J., KORTH A., KREMSER G.
 ELF/VLF wave induced pitch angle diffusion and the precipitation of
 energetic electrons
*U.R.S.I. Conference on "Wave-Induced Particle Precipitation and
 wave-particle interactions" [URSI-WIPP'89]*
 Dunedin, N.Z., 5-11 février, 1989
- 1856 DUBOULOZ N.
 Excitation du bruit électrostatique large bande dans les plasmas
 auroraux
Séminaire GRECO PLASMAE
 Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989
- 1857 FAMBITAKOYE O., MENVIELLE M., MAZAUDIER C.
 Global disturbance of the transient magnetic field associated to
 thermospheric storm winds, on March 23, 1979
European Geophysical Society XIV General Assembly [E.G.S.]
 Barcelone, Espagne, 13-17 mars, 1989
- 1858 FONTAINE D.
 Introduction à l'étude des pertes d'ions
Séminaire GRECO PLASMAE
 Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989
- 1859 GIRARD L.
 Coordination sol/INTERBALL
Séminaire GRECO PLASMAE
 Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989

- 1860 HANUISE C., RUHONIEMI J.M., GREENWALD R.A., BAKER K.B., CERISIER J.C., SENIOR C., VILLAIN J.P.
Dual HF radar observations of large-scale, high-latitude ionospheric convection : Initial results and propagation effects
European Geophysical Society XIV General Assembly [E.G.S.]
Barcelone, Espagne, 13-17 mars, 1989
- 1861 HILGERS A., FERAUDY (de) H., LE QUEAU D., LOUARN P., ROUX A.
Caractérisation des sources AKR par les données VIKING : Analyse statistique
Séminaire GRECO PLASMAE
Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989
- 1862 KREMSER G., KORTH A., PERRAUT S., ROUX A.
Field-aligned electron beams at substorm onsets : Interaction of Kinetic Alfvén waves with bouncing electrons
U.R.S.I. Conference on "Wave-Induced Particle Precipitation and wave-particle interactions" [URSI-WIPP'89]
Dunedin, N.Z., 5-11 février, 1989
- 1863 LILENSTEN J., FONTAINE D., KOFMAN W.
Événements conjugués : EISCAT/VIKING - Bilan d'énergie dans l'ionosphère
Séminaire GRECO PLASMAE
Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989
- 1864 LOUARN P., ROUX A., FERAUDY (de) H., LE QUEAU D.
Identification de la source d'énergie libre du rayonnement kilométrique auroral
Séminaire GRECO PLASMAE
Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989
- 1865 MAZAUDIER C.
Exposé de synthèse sur les résultats de Saint-Santin
WITS Workshop on "Ionospheric Thermospheric Study"
Kaluga, Moscou, U.R.S.S., 06-10 février, 1989
- 1866 PERRAUT S., FERAUDY (DE) H., ROUX A., PARIS J., DECREAU P.
Densités mesurées à bord de Viking dans les cornets polaires et dans les sources de rayonnement kilométrique auroral
Séminaire GRECO PLASMAE
Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989
- 1867 PEYMIRAT C.
Étude des pertes d'ions dans la convection magnétosphérique à grande échelle
Séminaire GRECO PLASMAE
Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989
- 1868 PEYMIRAT C., FONTAINE D., SENIOR C.
A magnetohydrodynamic description of the particle losses and their influence on magnetospheric convection
European Geophysical Society XIV General Assembly [E.G.S.]
Barcelone, Espagne, 13-17 mars, 1989

- 1869 POTTELETTE R., LE QUEAU D.
Interactions ondes-particules dans la fente polaire et le cornet
polaire : Apport de Viking
Séminaire GRECO PLASMAE
Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989
- 1870 ROBINEAU A.
Modélisation des transports d'ions à haute latitude
Séminaire GRECO PLASMAE
Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989
- 1871 SENIOR C.
Modèles empiriques de champs et potentiels électriques obtenus
à partir du radar EISCAT
Séminaire GRECO PLASMAE
Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989
- 1872 SENIOR C., FONTAINE D., CAUDAL G., ALCAYDE D.
Models of convection electric fields and electrostatic potential from
EISCAT data
European Geophysical Society XIV General Assembly [E.G.S.]
Barcelone, Espagne, 13-17 mars, 1989
- 1873 TAIEB C.
Simulation de la densité d'ionisation de la région F avec un champ de
convection déduit des observations d'EISCAT
Séminaire GRECO PLASMAE
Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989
- 1874 WU J., BLANC M., ALCAYDE D., FONTANARI J.
Transport des ions le long des lignes de force aurorales dans
l'ionosphère supérieure (EISCAT)
Séminaire GRECO PLASMAE
Font-Romeu, France, 16-19 janvier, 1989

ARTICLES DE VULGARISATION - FILMS

1986

- 1901 LEMBEGE B.
Particle trapping in electrostatic troughs and wave breaking
Film 16 mm, sortie novembre 1986 [durée 7 min]

1987

- 1902 BLANC M., KOFMAN W., ROUX A.
Les plasmas chauds en géophysique externe et planétologie
Bull. Sté Fse Phys., 11-13, juillet 1987
- 1903 GENDRIN R.
Science dans l'espace - Introduction
"Atlas de l'Espace", p. 206, Encyclopedia Universalis, 1987
- 1904 GENDRIN R.
L'environnement ionisé de la Terre
"Atlas de l'Espace", "Science dans l'Espace", pp. 210-215, Encyclopedia Universalis, 1987
- 1905 LEMBEGE B., DAWSON J.M.
Relativistic particle dynamics in a strongly magnetized plasma
Film 16 mm couleur, sortie décembre 1987 [durée 4 min]

1988

- 1906 ALCAYDE D., BLANC M., FONTAINE D., MOLLER-PEDERSEN B.
Nuit d'aurores : Les relations soleil-terre
Réalisation D. PEDERSEN, Producteur exécutif ALPHASCOPE, 1988
- 1907 LEMBEGE B., DAWSON J.M.
Relativistic particles in a steepening magnetosonic wave
Film 16 mm couleur, sortie août 1988 [durée 8 min]
- 1908 LEMBEGE B., DAWSON J.M.
Formation of an electron-position plasma in a strongly nonlinear magnetosonic wave
Film 16 mm couleur, sortie août 1988 [durée 4 min]

1989

- 1909 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. [à paraître, 1989]
- 1910 ROUX A.
Etude in situ de la plus proche des radiosources : La Terre
Images de la Physique [à paraître, 1989]

S C I E N C E S P O U R L E S T E L E C O M M U N I C A T I O N S

ARTICLES PUBLIES DANS LES REVUES A COMITE DE LECTURE

1985

- 4001 CLAVERIE J., KLAPISZ C.
 Meteorological features leading to multipath propagation observed in the PACEM 1 experiment
Ann. Télécomm., 40 (11-12), 660-671, 1985
- 4002 DECHAMBRE M., LAVERGNAT J.
 Frequency determination of a noisy signal by zero-crossings counting
Signal Processing, 8 (1), 93-105, 1985
- 4003 DUHAMEL P.
 Un algorithme de transformation de Fourier rapide à double base
Ann. Télécomm., 40 (09-10), 481-494, 1985
- 4004 GLOAGUEN C., LEORAT J., POUQUET A., GRAPPIN R.
 A scalar model for MHD turbulence
Physica 17D, 154-182, 1985
- 4005 HOLLMANN H.
 Factorization of X^{**N-q} over Q
Acta Arithmetica, 45 (4), 1985
- 4006 LAVERGNAT J., SYLVAIN M.
 Analyse théorique d'un canal de propagation en présence de trajets multiples
Ann. Télécomm., 40 (11-12), 572-583, 1985
- 4007 LAVERGNAT J., SYLVAIN M.
 Statistiques de la fonction de transfert par trajets multiples pour des largeurs de bande moyennes. Application à la prévision de la qualité
Ann. Télécomm., 40 (11-12), 604-616, 1985
- 4008 LEVY A.
 Performances en probabilité d'erreur des modulations à grand nombre d'états en période d'évanouissements sélectifs
Ann. Télécomm., 40 (11-12), 617-625, 1985
- 4009 LEVY A.J.
 Fast error rate evaluation in the presence of intersymbol interference
IEEE Trans. COM-33 (5), 479-481, 1985

- 4010 MAYRARGUE S.
Caractérisation paramétrique de la fonction de transfert d'un canal radioélectrique en vue de l'évaluation du taux d'erreur
Ann. Télécomm., 40 (11-12), 626-633, 1985
- 4011 MON J.P.
Etude de la distorsion d'amplitude dans une bande de 1 GHz en période de trajets multiples : diversité de fréquence
Ann. Télécomm., 40 (11-12), 565-571, 1985
- 4012 MOUPFOUMA F.
Model of rainfall-rate distribution for radio system design
IEE Proceedings - H (Microwaves, Optics and Antennas), 132 (1), 39-43, 1985
- 4013 OLIVIER P., TIFFON J.
Fast-fading characterisation in urban mobile propagation at 855 MHz in Paris
Electron. Lett., 21 (19), 830-832, 1985
- 4014 SYLVAIN M.
Panorama des études sur les trajets multiples
Ann. Télécomm., 40 (11-12), 547-564, 1985
- 4015 SYLVAIN M., LAVERGNAT M.
Modelling the transfer function in medium bandwidth radio channels during multipath propagation
Ann. Télécomm., 40 (11-12), 584-603, 1985

1986

- 4016 DUHAMEL P.
Implementation of "Split-Radix" FFT algorithms for complex, real, and real symmetric data
IEEE Trans. ASSP-34 (2), 285-295, 1986
- 4017 LAVERGNAT J., SYLVAIN M.
Faisceaux hertziens et trajets multiples : De la modélisation à la prévision
Onde Electrique (L'), 66 (3), 59-66, 1986

1987

- 4018 BIC J.C., DUPONTEIL D., TORTELIER P.
Les effets du bruit sur la modulation et le codage
Onde Electrique (L'), 67 (3), 99-111, 1987
- 4019 DUHAMEL P., VETTERLI M.
Improved Fourier and Hartley transform algorithms. Application to cyclic convolution of real data
IEEE Trans. ASSP., 35 (6), 818-824, 1987

- 4020 LAVERGNAT J., SYLVAIN M.
 Selective fading radio channels : Modelling and prediction
IEEE J. Selected Areas in Communications, SAC-5 (3), 378-388, 1987
 [and in "Microwave Digital Radio", GREENSTEIN L.J. & M. SHAFI Eds.,
 pp. 118-128, IEEE, 1988]
- 4021 MOU Z.J., DUHAMEL P.
 Fast FIR filtering : Algorithms and implementations
Signal Processing, 13 (4), 377-384, 1987
- 4022 MOUPFOUMA F.
 More about rainfall rates and their prediction for radio systems
 engineering
*IEE Proceedings - H (Microwaves, Antennas and Propagation), 134 (6),
 527-537, 1987*
- 4023 MOUPFOUMA F.
 Rain induced attenuation prediction model for terrestrial and
 satellite-earth microwave links
Ann. Télécomm., 42 (9-10), 539-550, 1987
- 1988**
- 4024 BERRADA-BABY H., GOLE P., LAVERGNAT J.
 A model for the tropospheric excess path length of radio waves from
 surface meteorological measurements
Radio Sci., 23 (6), 1023-1038, 1988
- 4025 DUHAMEL P., HOLLMANN H.
 On DFT's (NTT's) with minimum number of rotations (shifts)
Signal Processing, 14 (3), 237-241, 1988
- 4026 DUHAMEL P., PIRON B., ETCHETO J.M.
 On computing the inverse DFT
IEEE Trans. ASSP-36 (2), 285-286, 1988
- 4027 GLOAGUEN C., LAVERGNAT J.
 Multiple scattering by discrete random media : A summation of planar
 diagrams
IEEE Trans. AP-36 (8), 1129-1135, 1988
- 4028 LAVERGNAT J., LEHNER T., LE_ROUX A.Y.
 Nonlinear beam plasma interaction using finite difference methods
J. Comput. Phys., 79 (2), 298-316, 1988
- 4029 LAVERGNAT J., N'KWAWO H.
 Effet de la longueur du trajet sur la sélectivité d'un canal en
 période de propagation par trajets multiples
Ann. Télécomm., 43 (1-2), 14-19, 1988
- 4030 MOU Z.J., DUHAMEL P.
 In-place butterfly-style FFT of 2-D real sequences
IEEE Trans. ASSP-36 (10), 1642-1650, 1988

1989**4031 SYLVAIN M.**

Experimental probing of multipath microwave channels
Radio Sci., 24 (2), 160-178, 1989

4032 VETTERLI M., DUHAMEL P.

Split-radix algorithms for length-pm DFT's
IEEE Trans. ASSP-37 (1), 57-64, 1989

ACTES DE CONFERENCES INTERNATIONALES ET OUVRAGES COLLECTIFS

1985

- 4201 CLERGEOT H., OUAMRI A., TRESSSENS S.
High resolution spectral methods for spatial discrimination of closely spaced correlated sources
in Proceedings of the "ICASSP'85" [International Conference on "Audio Speech and Signal Processing"], pp. 560-563, IEEE, 1985
(Tampa, Florida, U.S.A., 26-29 mars, 1985)
- 4202 DUHAMEL P.
Un algorithme de transformée de Fourier rapide à double radical. Cet algorithme est-il optimal ?
Actes du 10e Colloque "G.R.E.T.S.I.", pp. 1061-1066, 1985
(Nice, France, 20-24 mai, 1985)
- 4203 DUHAMEL P., HOLLMANN H.
"Split-radix" FFT algorithm on real and complex data
in Proceedings of the "ICASSP'85" [International Conference on "Audio Speech and Signal Processing"], pp. 784-787, IEEE, 1985
(Tampa, Florida, U.S.A., 26-29 mars, 1985)
- 4204 LEVY A.
Availability of digital transmission systems : Computed signatures
in Conference Record "IEEE International Conference on Communications" [ICC'85], pp. 1532-1536, IEEE, 1985
(Chicago, U.S.A., 23-26 juin, 1985)
- 4205 MAYRARGUE S.
Defining a two-parameter signature for a multipath fading channel without using a model
in Proceedings of "Global Telecommunications Conference Communications" (GLOBECOM'85), pp. 1099-1103, IEEE, 1985
(New Orleans, Louisiana, U.S.A., 02-05 décembre, 1985)
- 4206 MON J.P.
Amplitude distortion and frequency diversity on a 1 GHz bandwidth during multipath fading
in Conference Record "IEEE International Conference on Communications" [ICC'85], pp. 1508-1512, IEEE, 1985
(Chicago, U.S.A., 23-26 juin, 1985)
- 4207 OUAMRI A., TRESSSENS S., CLERGEOT H.
Séparation de sources corrélées voisines par les méthodes spectrales à haute résolution
Actes du 10e Colloque "G.R.E.T.S.I.", pp. 345-350, 1985
(Nice, France, 20-24 mai, 1985)
- 4208 SYLVAIN M., LAVERGNAT J.
Modelling the transfer function of a 55 MHz wide radio channel during multipath propagation
in Conference Record "IEEE International Conference on Communications" [ICC'85], pp. 1541-1546, IEEE, 1985
(Chicago, U.S.A., 23-26 juin, 1985)

1986

- 4209 BIC J.C., DUPONTEIL D., IMBEAUX J.C.
 Eléments de communications numériques
Collection Technique et Scientifique des Télécommunications
 [CNET - ENST], Dunod, 1986
- 4210 CLAVERIE J., KLAPISZ C., SYLVAIN M.
 The use of acoustic sounding in multipath propagation studies
in Proceedings of the Third International Symposium on "Acoustic Remote Sensing of the Atmosphere and Oceans", pp. 485-496, 1986
 (Issy-Les-Moulineaux, France, 14-17 octobre, 1985)
- 4211 DAUTRICHE M., MON J.P.
 Résultats de trois ans d'études de propagation à 11,57 GHz sur un trajet Satellite-Terre
Actes du 3ème Symposium National du Comité Espagnol, [URSI'86], pp. 51-53, 1986
 (Gerone, Espagne, 22-24 septembre, 1986)
- 4212 DUHAMEL P., VETTERLI M.
 Cyclic convolution of real sequences : Hartley versus Fourier and new schemes
in Proceedings of the "ICASSP'86" [International Conference on "Audio Speech and Signal Processing"], pp. 229-232, IEEE, 1986
 (Tokyo, Japon, 07-11 avril, 1986)
- 4213 GLOAGUEN C.
 On the Dyson equation in the problem of multiple scattering by discrete random media
in Proceedings of the U.R.S.I. International Symposium on "Electromagnetic Theory", pp. 232-234, 1986
 (Budapest, Hongrie, 25-29 août, 1986)
- 4214 GOLE P., BERRADA-BABY H.
 Effects of the troposphere on satellite-earth distance measurements
in Proceedings of the Open U.R.S.I. Symposium (Commission F) on "Wave Propagation : Remote Sensing and Communications", pp. 8.8.1-8.8.4, U.R.S.I., 1986
 (Durham, New Hampshire, U.S.A., 28 juillet - 01 août, 1986)
- 4215 MAYRARGUE S., JOUVEAU J.P.
 Comparaison of five different methods for frequency estimation
in Proceedings of "EUSIPCO 86", pp. 279-282, 1986
 (La Haye, 02-05 septembre, 1986)
- 4216 MOUPFOUMA F.
 Empirical model of rainfall rates for microwave attenuation prediction in various hydrometeorological zones
in Proceedings of the Open U.R.S.I. Symposium (Commission F) on "Wave Propagation : Remote Sensing and Communications", pp. 9.6.1-9.6.4, U.R.S.I., 1986
 (Durham, New Hampshire, U.S.A., 28 juillet - 01 août, 1986)

- 4217 MOUPFOUMA F., SPANJAARD N.
Rain effects on microwave communications in Equatorial and Tropical regions
in Proceedings of the Global Telecommunications Conference on "Communications in the Information Age" [GLOBECOM'86], pp. 6.2.1-6.2.6, IEEE, 1986
(Houston, Texas, U.S.A., 01-04 décembre, 1986)
- 4218 OUAMRI A., TRESSENS S., CLERGEOT H.
Comparison of high resolution spectral methods based on SVD
in Proceedings of "EUSIPCO 86", pp. 337-340, 1986
(La Haye, 02-05 septembre, 1986)
- 1987
- 4219 BERRADA-BABY H., GOLE P., LAVERGNAT J.
Modèle de représentation de l'allongement troposphérique apparent d'un trajet radio-électrique Terre-satellite
Actes du 3ème Colloque National sur "La Localisation en Mer", pp. 79-89, Shom, 1987
(Rueil-Malmaison, France, 28 septembre - 1er octobre, 1987)
- 4220 CLERGEOT H., OUAMRI A., TRESSENS S., BOUVET M.
A new maximum likelihood method for estimation of frequencies of correlated sources - Comparison with existing methods
in Proceedings of the Florence Conference on "Digital Signal Processing - 87", CAPPELLINI V. & A.G. CONSTANTINIDES Eds., Editions des Participants, pp. 71-75, North-Holland, 1987
(Florence, Italie, 07-10 septembre, 1987)
- 4221 DECHAMBRE M., LEVY A.
Limits of data rates in the urban mobile channel
in Proceedings of the 37th IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 541-546, IEEE, 1987
(Tampa, U.S.A., 01-08 juin, 1987)
- 4222 DUHAMEL P., HMIDA H.
New 2n DCT algorithms suitable for VLSI implementation
in Proceedings of the "ICASSP'87" [International Conference on "Audio Speech and Signal Processing"], pp. 1805-1808, IEEE, 1987
(Dallas, TX, U.S.A., 06-09 avril, 1987)
- 4223 DUHAMEL P., MOU Z.J.
Fast FIR filtering algorithms with great regularity
in Proceedings of the Florence Conference on "Digital Signal Processing - 87", CAPPELLINI V. & A.G. CONSTANTINIDES Eds., Edition des Participants, pp. 17-21, North-Holland, 1987
(Florence, Italie, 07-10 septembre, 1987)
- 4224 GOLE P., BERRADA-BABY H.
Prediction of the excess path length due to water vapor from ground meteorological measurements
in Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium [IGARSS'87], pp. 259-260, IEEE, 1987
(Ann Arbor, Michigan, U.S.A., 18-21 mai, 1987)

- 4225 GOLE P., LAVERGNAT J., SYLVAIN M.
Description and preliminary results of the PACEM 2 experimental program
in Proceedings of the IEEE/IECI Global Telecommunications Conference "GLOBECOM 1987", Volume 3, pp 1505-1509, IEEE, 1987
(Tokyo, Japon, 15-18 novembre, 1987)
- 4226 LEVY A.
A delay angle distribution model for the urban multipath mobile radio channel
in Proceedings of the International Conference on "Digital Mobile Radio Communication", pp. 208-217, 1987
(Venise, Italie, 30 juin - 03 juillet, 1987)
- 4227 MON J.P.
Tropospheric stratification and microwave line of sight propagation
in Proceedings of the International Microwave Symposium on "Gathering the World through Microwaves" [1987 SBMO], Tome II, pp. 876-883, IEEE, 1987
(Rio de Janeiro, Brésil, 27-30 juillet, 1987 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 4228 MOU Z.J., DUHAMEL P.
2-D FFT's on real data : Row column versus vectorized SRFFT
in Proceedings of the Florence Conference on "Digital Signal Processing - 87", CAPPELLINI V. & A.G. CONSTANTINIDES Eds., pp. 744-749, North-Holland, 1987
(Florence, Italie, 07-10 septembre, 1987)
- 4229 MOUPFOUMA F., MARTIN L., SPANJAARD N.
Modelling of rainfall rate for microwave propagation studies in tropical regions
in Proceedings of the International Microwave Symposium on "Gathering the World through Microwaves" [1987 SBMO], Tome II, pp 997-1005, IEEE, 1987
(Rio de Janeiro, Brésil, 27-30 juillet, 1987 - Exposé de synthèse sur invitation)
- 4230 OLIVIER P., TIFFON J.
Transfer function measurement as a characterization of the urban mobile radio channel
in Proceedings of the Fifth International Conference on "Antennas and Propagation", pp. 2.95-2.98, IEE, 1987
(York, G.B., 30 mars - 02 avril, 1987)

1988

- 4231 DUHAMEL P.
A connection between bit-reverse and matrix transpose. Hardware and software consequences
in Proceedings of the International Conference on "Audio Speech and Signal Processing" [ICASSP'88], pp. 1403-1406, IEEE, 1988
(New York, U.S.A., 11-14 avril, 1988)

- 4232 DUHAMEL P., VETTERLI M.
Split-radix transform and running convolution algorithms : Recent results and directions
in Proceedings of the 1988 IEEE ASSP Workshop on "Digital Signal Processing", pp. 1.6.1-1.6.2, IEEE, 1988
(Stanford Sierra Lodge, Tahoe, Californie, U.S.A., 15-17 septembre, 1988)
- 4233 GOLE P., SYLVAIN M., GHAREMANI T.
Long-term multipath effects on a space-diversity channel
in Proceedings of the International Symposium on "Radio Propagation" [ISRP'88], pp 464-467, 1988
(Beijing, Chine, 18-21 avril, 1988)
- 4234 LEGER A., DUHAMEL P., MADEC G., KNOEPFLI J.M.
Distributed arithmetic implementation of the DCT for real time photovideotex on ISDN
in Proceedings of the Fourth International Symposium on "Optical and Optoelectronic Applied Science and Engineering", SPIE, U.S.A., 1988
(La Haye, Pays Bas, 30 mars - 03 avril, 1987)
- 4235 LEVY A.
Combined effects of fast and selective fading on performance of PSK and MSK with coherent detection
in Proceedings of the AGARD Fall 1988 "Electromagnetic Wave Propagation Panel Specialists' Meeting", AGARD-CPP-442, pp. 30.1-30.7, 1988
(Arcueil, France, 17-21 octobre, 1988)
- 4236 LI Y.K., GOLE P., SYLVAIN M.
Dispersion lineaire d'amplitude sur une liaison hyperfrequence
in Proceedings of the AGARD Fall 1988 "Electromagnetic Wave Propagation Panel Specialists' Meeting", AGARD-CPP-442, pp. 13.1-13.11, 1988
(Arcueil, France, 17-21 octobre, 1988)
- 4237 MARTIN J., OLIVIER P., TIFFON J.
Impulse response estimation of the urban mobile radio channel in Paris
in Proceedings "EUSIPCO'88", "Signal Processing IV - Theories and Applications", LACOUME J.L., A. CHEHIKIAN, M. MARTIN & J. MALBOS EDS., Volume 1, 211-214, North-Holland, 1988
(Grenoble, France, 05-08 septembre, 1988)
- 4238 MAYRARGUE S.
ESPRIT and TAM (Toeplitz Approximation Method) are theoretically equivalent
in Proceedings in the International Conference on "Audio Speech and Signal Processing" [ICASSP'88], pp. 2456-2459, IEEE, 1988
(New York, U.S.A., 11-14 avril, 1988)
- 4239 MAYRARGUE S.
On the common structure of several well-known methods for harmonic analysis and direction-of-arrival estimation induced by a new version of ESPRIT
in Proceedings of the IEEE IVth Workshop on "Spectrum Estimation and Modelling", pp. 307-311, IEEE, 1988
(Minneapolis, Minnesota, U.S.A., 03-05 août, 1988)

- 4240 MAYRARGUE S., JOUVEAU J.P.
 A new application of SVD to harmonic retrieval
in Proceedings of the International Workshop on "SVD & Signal Processing", (4 pages), IEEE, 1987
[in "Single Value Decomposition and Signal Processing", DEPRETTERE E.F. Ed., pp. 467-472, North-Holland, 1988]
 (Les Houches, France, 21-23 septembre, 1987)
- 4241 MAYRARGUE S., JOUVEAU J.P.
 On the equivalence between ESPRIT and TAM (Toeplitz Approximation Method), leading to an improved TAM
in Proceedings "EUSIPCO'88", "Signal Processing IV - Theories and Applications", LACOUME J.L., A.CHEHIKIAN, M. MARTIN & J. MALBOS Eds., Volume 1, pp. 55-58, North-Holland, 1988
 (Grenoble, France, 05-08 septembre, 1988)
- 4242 MOU Z.J., DUHAMEL P.
 A unified approach to the fast FIR filtering algorithms
in Proceedings of the International Conference on "Audio Speech and Signal Processing" [ICASSP'88], pp. 1914-1917, IEEE, 1988
 (New York, U.S.A., 11-14 avril, 1988)
- 4243 OLIVIER P.
 Frequency correlation of the transfer function for 900 MHz urban multipath propagation
in Proceedings of the International Symposium on Radio Propagation [ISRP'88], pp 358-361, 1988
 (Beijing, Chine, 18-21 avril, 1988)
- 4244 SYLVAIN M.
 Propagation studies in the Centre National d'Etudes des Télécommunications
in Proceedings of the First Workshop on "Fading Phenomena on Microwave Terrestrial Links", EL-SAYED O.L. & A.K. FARRAQ Eds., pp. 1.2.1-1.2.12, National Telecommunication Institute, Le Caire, Egypte, 1988
 (Le Caire, Egypte, 24-25 février, 1988)
- 4245 SYLVAIN M.
 Multipath modeling of medium bandwidth channels
in Proceedings of the First Workshop on "Fading Phenomena on Microwave Terrestrial Links", EL-SAYED O.L. & A.K. FARRAQ Eds., pp. 4.2.1-4.2.11, National Telecommunication Institute, Le Caire, Egypte, 1988
 (Le Caire, Egypte, 24-25 février, 1988)
- 4246 TRESSSENS S., CLERGEOT H., OUAMRI A., BOUVET M.
 More on optimality methods for bearing estimation
in Proceedings of the International Conference on "Audio Speech and Signal Processing" [ICASSP'88], pp. 2881-2884, IEEE, 1988
 (New York, U.S.A., 11-14 avril, 1988)
- 4247 VETTERLI M., DUHAMEL P.
 Split-radix algorithms for length-pm DFT's
in Proceedings of the International Conference on "Audio Speech and Signal Processing" [ICASSP'88], pp. 1415-1418, IEEE, 1988
 (New York, U.S.A., 11-14 avril, 1988)

4248 ZHANG H.M., TRESSENS S.

An improved Burg type recursive lattice method for autoregressive spectral analysis

in Proceedings "EUSIPCO'88", "Signal Processing IV - Theories and Applications", LACOUME J.L., A. CHEHIKIAN, M. MARTIN & J. MALBOS Eds., Volume 1, 439-442, North-Holland, 1988

(Grenoble, France, 05-08 septembre, 1988)

1989

4249 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 1

in Proceedings of the International Conference on "Digital Satellite Communications 8" [à paraître, 1989]

(Pointe à Pitre, Guadeloupe, 24-28 avril, 1989)

4250 VETTERLI M., DUHAMEL P.

Trade-off's in the computation of mono- and multi-dimensional DCT's

in Proceedings of ICASSP'89 [à paraître, 1989]

(Glasgow, G.B., 23-26 mai, 1989)

4251 XIE Y., LAVERGNAT J., MON J.P., SYLVAIN M.

"Microwave Propagation", Publishing House of Electronics Industry, Beijing, Chine [à paraître, 1989]

4252 ZHANG H.M., DUHAMEL P.

Doubling Levinson/Schur Algorithm and its implementation

in Proceedings of ICASSP'89 [à paraître, 1989]

(Glasgow, G.B., 23-26 mai, 1989)

BREVETS**1985**

- 4301** DELAHAYE J.Y., LAVERGNAT J., CHARDON Y., GALLOUX P.
Dispositif de localisation et/ou d'identification au moyen d'une
carte émettrice
Brevet français No. 85 11862, 1985
France (CNET)

1986

- 4302** DELAHAYE J.Y., VINSON J.P.
Banc de mesure pour liaison hertzienne à large bande
Brevet CNET No. 86 11759, déposé le 14 août 1986
France (CNET)
- 4303** DUHAMEL P.
Dispositif de transformée en cosinus d'un signal numérique
échantillonné
Brevet CNET No. 86 01629, déposé le 6 février 1986
France (CNET/01208)
- 4304** DUHAMEL P.
Dispositif de détermination de la transformée numérique d'un signal
Brevet CNET No. 86 12431, déposé le 4 septembre 1986
France (CNET)

1987

- 4305** DELAHAYE J.Y.
Dispositif de commande de l'éclairage de locaux
Brevet CNET No. 87 11806, déposé le 21 août 1987
France (CNET)
- 4306** HMIDA H., DUHAMEL P.
Dispositif de calcul binaire
Brevet CNET No. FR 87 03758, déposé le 18 mars 1987
France (CNET)
- 4307** HMIDA H., DUHAMEL P.
Dispositif de calcul binaire à entrées perfectionnées
Brevet CNET No. FR 87 13146, déposé le 23 septembre 1987
[Additif au Brevet CNET No. FR 87 03758, déposé le 18 mars 1987]
France (CNET)

1988**4308 DELAHAYE J.Y., FOURNET-FAYAS C.**

Appareil de mesure de la fréquence de résonance d'une cavité hyperfréquence

Brevet CNET No. FR 88 10127, déposé le 27 juillet 1988

France (CNET)

4309 DUHAMEL P., MOU Z.J., CAND M.

Multiplieur numérique généralisé et filtre numérique mettant en oeuvre ce multiplieur

Brevet CNET No. FR 88 01193, déposé le 02 février 1988

France (CNET)

NOTES TECHNIQUES ET DOCUMENTS DE TRAVAIL

1985

- 4401 COLLECTIF (CNET TSF-ETP)
Bilan de liaison des faisceaux hertziens numériques à grande capacité
Note Technique NT/LAB/MER/154 - NT/PAB/RPE/138, janvier 1985
- 4402 GLOAGUEN C.
La méthode des diagrammes en théorie de la diffusion multiple
Note Technique CRPE/143, novembre 1985
- 4403 GOLE P.
Effets de la troposphère sur les mesures de distance Terre-Satellite.
Application au projet DORIS - Rapport de phase I
Document de Travail DT/CRPE/1130, mars 1985
- 4404 LAVERGNAT J.
Rayonnement électromagnétique - Propagation en espace libre
(Cours DEA "Méthodes Physiques en Télédétection" - Année 1984-1985)
Note Technique CRPE/142, juin 1985
- 4405 SYLVAIN M., JOUVEAU J.P.
Mise en oeuvre d'un programme de tracé de rayons
Note Technique CRPE/139, avril 1985

1986

- 4406 CLAVERIE
Application des données météorologiques de l'expérience "PACEM 1" à
l'étude des situations atmosphériques conduisant à des phénomènes de
propagation par trajets multiples
Note Technique CRPE/146, mars 1986
- 4407 DECHAMBRE M., LEVY A.J.
Méthodes d'évaluation de la qualité des liaisons numériques avec les
mobiles en milieu urbain : L'état de l'art
Note Technique CRPE/144, janvier 1986
- 4408 GOLE P., BERRADA-BABY H.
Effets de la troposphère sur les mesures de distance Terre-Satellite.
Application au projet DORIS
Rapport de Phase II
Document de Travail DT/CRPE/1135, février 1986
- 4409 LEVY A.J.
Compte-Rendu de Mission au Radio Research Laboratories (Japon)
1er novembre 1985 au 28 janvier 1986
Document de Travail DT/CRPE/1142, octobre 1986

4410 MOUPFOUMA F.

Atlas mondial des intensités de pluie intégrées sur une minute pour les études de faisabilité des liaisons hertziennes et par satellite
Note Technique NT/LAB/MER/219-NT/PAB/RPE/147, mars 1986

4411 OUAMRI A.

Etude des performances des méthodes d'identification à haute résolution et application à l'identification des échos par une antenne linéaire multicapteurs
Note Technique CRPE/151, août 1986

1987

4412 BAUDIN F., DELAHAYE J.Y., DUBOIS S., FRENOD J.M., GOLE P., PARIS J., LANCELIN Ph., SYLVAIN M.

Document Technique PACEM 2
Document de Travail DT/CRPE/1153, juin 1987

4413 BERRADA-BABY H., GOLE P., LAVERGNAT J.

Effets de la troposphère sur les mesures de distance Terre-Satellite. Application au projet DORIS - Rapport Final
Note Technique CRPE/158, juin 1987

4414 COLLECTIF ETP

Proposition de programme d'études de la propagation oblique à 20 et 30 GHz dans le cadre du programme OLYMPUS
Document de Travail DT/CRPE/1150, février 1987

4415 DUHAMEL P.

Algorithmes de transformées discrètes rapides pour convolution cyclique et de convolution cyclique pour transformées rapides
Note Technique CRPE/155, février 1987

4416 MOUPFOUMA F., MARTIN L., SPANJAARD N.

Campagne de mesures de propagation en Afrique
Compte rendu des résultats de mesures
Période Juillet - Novembre 1986, Douala, Cameroun
Rapport Final, NT/LAB/MER/272 - NT/PAB/RPE/157
[Projet UIT 9 R A F /86/018 11 01 A], mai 1987

1988

4417 DELAHAYE J.Y., LAVERGNAT J.

Rapport de Mission en Chine [20 septembre - 07 octobre, 1988]
Document de Travail DT/CRPE/1168, novembre 1988

4418 GLOAGUEN C.

Utilisation d'un radar dans le cadre du programme OLYMPUS
Document de Travail DT/CRPE/1167, octobre 1988

4419 LAVERGNAT J., BIC J.C., SYLVAIN M.

Méthode de prévision de la qualité d'une liaison hertzienne numérique : Version 02
Note Technique CRPE/171, novembre 1988

- 4420 MON J.P., BEN-MERIE M T., LAVERGNAT J.
La propagation dans les bandes des 20 et 30 GHz : Bilan et perspectives offertes par le programme OLYMPUS
Note Technique CRPE/161, avril 1988
- 4421 MOUPFOUMA F.
Etude des précipitations et de leurs effets sur les liaisons hertziennes en visibilité et par satellite dans les zones tropicales
Note Technique CNET/PAB/RPE/164 - CNET/LAB/MER, juin 1988
- 4422 TIFFON J., OLIVIER P., MARTIN J., BRIGAND J.P., CELIN P., DELAHAYE J.Y., MATHIEU D., REVOL G., RIGUET R., VINSON J.P.
Caractérisation en bande large du canal radio-mobile en milieu urbain
Note Technique CRPE/160, février 1988
- 4423 TRESSENS S., MAYRARGUE S., JOUVEAU J.P.
Identification d'échos par une antenne linéaire multicapteurs
Note Technique CRPE/168, août 1988

1989

- 4424 DUHAMEL P.
Fast Fourier Transforms : A tutorial review and a state of the art
Note Technique CRPE/172, janvier 1989

THESES

1985

- 4601 CLAVERIE J.
Application des données météorologiques de l'expérience PACEM 1 à l'étude des situations atmosphériques conduisant à des phénomènes de propagation par trajets multiples
Thèse de 3ème cycle, Paris XI, Orsay, France, 27 juin 1985
- 4602 DAUTRICHE M.
Etude de l'affaiblissement et de la dépolarisation des ondes radioélectriques à 11,575 GHz sur un trajet Satellite-Terre
Thèse d'Ingénieur, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, 22 octobre 1985

1986

- 4603 DUHAMEL P.
Les algorithmes de convolution rapide par transformées discrètes
Thèse de Doctorat d'Etat, Paris XI, 9 septembre 1986
- 4604 OUAMRI A.
Etude des performances des méthodes d'identification à haute résolution et application à l'identification des échos par une antenne linéaire
Thèse de Doctorat d'Etat, Paris XI, Orsay, 23 juin 1986
- 4605 SYLVAIN M.
Caractérisation d'un canal hertzien en période de trajets multiples
Thèse de Doctorat d'Etat, Paris XI, 6 février 1986

1987

- 4606 MOUPFOUMA F.
Etude des précipitations et de leurs effets sur les liaisons Hertziennes en visibilité et par satellite dans les régions tropicales
Thèse de Doctorat d'Etat, Université Paris XIII, 15 juin 1987

1988

- 4607 BERRADA-BABY H.
Effets de la troposphère sur les mesures de distance Terre-Satellite
Thèse de l'Université Paris 7, 4 juillet 1988
- 4608 HMIDA H.
Etude et comparaison d'algorithmes de transformée en cosinus discrète en vue de leur intégration en VLSI
Thèse de l'Université Paris-Sud, Orsay, 9 mai 1988

COMMUNICATIONS A DES CONGRES (n'ayant pas donné lieu à publication)

1985

- 4701 LAVERGNAT J., SYLVAIN M.
Faisceaux hertziens et trajets multiples : De la modélisation à la prévision
Journée SEE : Etat de l'Art des Techniques et Transmission Numérique par faisceaux Hertziens
Issy-Les-Moulineaux, 5 novembre 1985

1986

- 4702 DUHAMEL P.
Lien entre architecture et algorithmes -
Un exemple : La DCT
Journée SEE "Architecture et Processus de traitement de signal : L'effort français"
Gif-sur-Yvette, France, ESE, 22 octobre 1986

1987

- 4703 SYLVAIN M.
Experimental microwave channel probing [Exposé de synthèse sur invitation]
U.R.S.I. 22nd General Assembly [Section F3]
Tel-Aviv, Israël, 24 août - 04 septembre, 1987

1988

- 4704 CIARLETTI V.
Horizontal gradients of the refractive index and multipath propagation
U.R.S.I. 1988 Radio Science Meeting
Syracuse University, NY, U.S.A., juin 1988
- 4705 DUHAMEL P.
On the interaction between algorithms and architectures : Two examples of short cuts
Journée "DSP for Telecommunications"
Columbia University, New-York, U.S.A., 15 avril 1988

M O Y E N S I N F O R M A T I Q U E S

NOTES TECHNIQUES ET DOCUMENTS DE TRAVAIL

1985

- 5401 ROBERT P.
Projet de rénovation des moyens informatiques du CRPE
Document de Travail DT/CRPE/1133, mai 1985

1986

- 5402 ROBERT P.
Réflexions sur l'évolution des moyens de calcul au CNET
Point de vue de PAB
Note Technique CRPE/154, décembre 1986

1987

- 5403 ROBERT P.
Projet d'acquisition d'un ordinateur vectoriel au CNET
Nécessité et cahier des charges
Document de Travail DT/CRPE/1154, juillet 1987

1988

- 5404 LEBLANC A.
Analyse des données du ballon captif de la campagne PACEM 3 [1986]
Document de Travail DT/CRPE/1163, juillet 1988
- 5405 ROBERT P.
Usages immédiats et potentiels d'un ordinateur scientifique
vectoriel de grande puissance au CNET par la division RPE
Document de Travail DT/CRPE/1161, avril 1988
- 5406 ROBERT P.
Les moyens informatiques du CRPE
Etat actuel et politique d'équipement
Note Technique CRPE/170, octobre 1988

I N F O R M A T I Q U E

NOTES TECHNIQUES ET DOCUMENTS DE TRAVAIL

1985

- 5401 ROBERT P.
Projet de rénovation des moyens informatiques du CRPE
Document de Travail DT/CRPE/1133, mai 1985

1986

- 5402 ROBERT P.
Réflexions sur l'évolution des moyens de calcul au CNET
Point de vue de PAB
Note Technique CRPE/154, décembre 1986

1987

- 5403 ROBERT P.
Projet d'acquisition d'un calculateur vectoriel au CNET
Nécessité et cahier des charges
Document de Travail DT/CRPE/1154, juillet 1987

1988

- 5404 LEBLANC A.
Analyse des données du ballon captif de la campagne PACEM 3 [1986]
Document de Travail DT/CRPE/1163, juillet 1988
- 5405 ROBERT P.
Usages immédiats et potentiels d'un calculateur scientifique
vectoriel de grande puissance au CNET par la division RPE
Document de Travail DT/CRPE/1161, avril 1988
- 5406 ROBERT P.
Les moyens informatiques du CRPE
Etat actuel et politique d'équipement
Note Technique CRPE/170, octobre 1988

Figure du haut. Caractérisation d'un canal hertzien en présence de trajets multiples.

La figure représente la mesure, dans une bande de 1 GHz de largeur, de la fonction de transfert d'un canal hertzien, durant une période d'environ 30 secondes, choisie pendant un événement de trajets multiples très actif.

La partie gauche de la figure donne l'amplitude de la fonction de transfert et la partie droite la distorsion du temps de propagation de groupe (rappelons que le temps de propagation de groupe est défini comme la dérivée de la phase de la fonction de transfert par rapport à la fréquence angulaire). Dans les deux cas, la fréquence est en abscisse (allant de 10,7 à 11,7 GHz) et le temps (mesuré en nombre de fonctions de transfert mesurées) en ordonnée. Le code de couleur indique les valeurs des fonctions mesurées.

Sur la figure donnant l'amplitude, on observe un évanouissement sélectif très profond (atténuation dépassant 35 dB dans le rouge) et très rapide, se produisant au milieu d'une période prolongée de surchamp (le bleu foncé correspond à un surchamp supérieur de plus de 5 dB au niveau normal). Cet évanouissement sélectif s'accompagne d'une importante distorsion du temps de groupe (de l'ordre de 15 ms) avec inversion de signe au moment du maximum de l'affaiblissement.

(Département "Electromagnétisme, Théorie des communications et Propagation")

Figure du bas. Simulation numérique de l'action d'une onde de choc dans la magnétosphère.

Vue tridimensionnelle de la fonction de distribution des vitesses ioniques et de ses trois projections bidimensionnelles associées. Ce diagnostic est issu de la simulation numérique d'un choc non-collisionnel se propageant dans un magnétoplasma dans une direction perpendiculaire au champ magnétique ambiant ($B_0 = B_{0z}$). Les deux pics de la distribution représentent respectivement le plasma non perturbé en aval du choc (centré autour de $p = 0$) et le plasma perturbé en amont du choc formé d'ions directement transmis à travers le front (centré autour d'une dérive non nulle qui dépend de l'amplitude du choc). Une troisième structure apparaît sous la forme d'un début d'anneau constitué par la partie des ions "aval" réfléchis par le front de choc ; ces ions décrivent un large mouvement de gyration mis en évidence dans le plan (p_x, p_y) perpendiculaire à B . Cette fonction de distribution est obtenue après un temps $t = 240 \omega_p^{-1}$ où ω_p est la fréquence de plasma.

(Département "Ondes dans les Plasmas Naturels")

