

LERMA  
UMR 8112

RAPPORT  
D'ACTIVITÉ  
2002-2004



Figure de couverture: Simulations récentes de condensation thermique en régime turbulent (courtesy of R. Hennebelle & C. Audit)

**LABORATOIRE D'ÉTUDE DU  
RAYONNEMENT ET DE LA  
MATIÈRE EN ASTROPHYSIQUE**

**UMR 8112**

**RAPPORT D'ACTIVITÉ  
2002-2004**

# SOMMAIRE

1	INTRODUCTION .....	5
2	BILAN SOCIAL ET BUDGETAIRE .....	9
2.1	Bilan social	11
2.2	Bilan budgétaire	19
3	PHYSIQUE ET CHIMIE DES ATOMES ET DES MOLECULES .....	23
3.1	Atomes et molécules en Astrophysique	25
3.2	Réactivité chimique hétérogène	43
4	ÉTOILES, MILIEU INTERSTELLAIRE ET GALAXIES .....	55
4.1	Étoiles et environnement circumstellaire	57
4.2	Milieu Interstellaire	71
4.3	Formation et évolution des galaxies, cosmologie observationnelle	91
5	UNIVERS PRIMORDIAL ET GRAVITATION .....	107
5.1	Gravitation et Relativité	109
5.2	Physique de l'univers primordial	117
6	RADIOMETRIE HYPERFREQUENCE .....	123
6.1	Téledétection des atmosphères et surfaces planétaires	128
6.2	Instrumentation Hyperfréquence au « GEMO »	131
6.3	Principaux contrats et programmes	144
7	LOGICIELS POUR L'INSTRUMENTATION .....	147
7.1	Introduction	149
7.2	Alma	150
7.3	Participation au segment sol de Herschel-HIFI	151
8	LE LERMA ET L'ENSEIGNEMENT .....	155
8.1	Introduction	156
8.2	Les activités d'enseignement du LERMA	156
8.3	Perspectives	159
8.4	Remarques générales : évolution du métier d'enseignant-chercheur	161
9	LISTE DE PUBLICATIONS .....	165
9.1	Liste de publications	167



# ***1 INTRODUCTION***

Le *Laboratoire d'Étude du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique* est né le premier janvier 2002 de la réunion de deux départements de l'Observatoire de Paris : le DAMAp ("Département Atomes et Molécules en Astrophysique") et le DEMIRM ("Département d'Études de la matière interstellaire en infrarouge et millimétrique). Le LERMA, comme son intitulé l'indique, étudie la physique en astrophysique et pour l'astrophysique. Son champ d'études va de l'univers primordial aux objets les plus proches. Cependant, le milieu interstellaire, son interaction avec les étoiles, son évolution physique et chimique, les mécanismes de formation des étoiles, l'évolution des galaxies, sont au centre de ses intérêts astrophysiques. Il s'agit d'objets complexes dont même les caractéristiques majeures échappent fréquemment aux approches trop linéaires ou trop partielles. La nature pluridisciplinaire du LERMA est une réponse à leur complexité. Leur étude implique une diversité importante de méthodologies et de savoirs, de moyens instrumentaux et théoriques à utiliser, de liens à tisser avec des disciplines de la physique. Cela peut également s'appliquer à tous les objets de recherche du LERMA qui rassemble des équipes d'excellence dans ces domaines. La physique et la chimie des atomes et molécules, l'instrumentation hyperfréquence, la modélisation numérique sophistiquée des objets complexes, l'étude de la physique fondamentale et des grandes structures sont autant de champs qui se développent au LERMA avec leur logique propre, mais rassemblés par les objectifs communs et guidés dans leur développement par les projets structurants du laboratoire. Chaque groupe se doit d'être au meilleur niveau international dans son domaine tout en contribuant aux projets communs. C'est sur cette base que notre laboratoire vit sa pluridisciplinarité dans un esprit d'enrichissement mutuel. Le lecteur de ce rapport d'activité jugera du succès avec lequel chaque équipe aura tenu ce pari ambitieux et des atouts du laboratoire pour continuer à suivre cette stratégie.

Deux projets scientifiques majeurs, le grand interféromètre millimétrique ALMA et l'observatoire submillimétrique spatial Herschel, jouent un rôle structurant dans l'organisation des forces du laboratoire. Ils ont orienté les activités de chacune des équipes. Ils ont aussi servi à déterminer les priorités dans le redéploiement du potentiel technique qui a touché en moins de trois ans 30% ses ingénieurs, techniciens et administratifs. Le bilan social et financier placé en première partie de ce rapport aidera le lecteur à se faire une idée des importants changements que nous avons connus dernièrement sur ce plan. ALMA et Herschel, sans oublier Planck, ODIN et d'autres projets spatiaux auxquels nous contribuons, sont des projets majeurs de l'astrophysique mondiale. Le caractère international de notre

activité est confirmée par notre rôle dans trois réseaux d'excellence européens : JETSET, Molecular Universe et RADIONET. La priorité donnée aux grands projets n'a pas empêché les thèmes minoritaires de s'épanouir et de connaître de beaux succès. Il est à noter que les outils méthodologiques que nous développons trouvent naturellement des applications au-delà de nos projets fédérateurs. L'exemple le plus frappant est sans doute représenté par les succès dans le domaine de la télédétection terrestre, animé actuellement par un chercheur au sein du groupe hyperfréquences.

Toutes les composantes du LERMA partagent une orientation fondamentale : elles ont délibérément établi des relations étroites avec l'enseignement supérieur. La contrepartie de ce choix est une dispersion géographique qui pèse sur notre vie quotidienne. Mais avec une moyenne de 19 étudiants en thèse pour moins de 50 chercheurs, enseignants-chercheurs et astronomes, nous préparons l'avenir et nous assumons notre rôle de formation pour et par la recherche. Cela peut être étendu au-delà de l'enseignement supérieur, puisque notre laboratoire est porteur d'un projet ambitieux de motivation des collégiens et lycéens à la physique par l'astronomie : Hands On Universe, ou l'Univers à Portée de Main. La proportion équilibrée de chercheurs CNRS, d'enseignants-chercheurs et d'astronomes dans le laboratoire reflète largement cette orientation. Les universités et le CNAP ont en retour soutenu activement le laboratoire par des moyens spécifiques et des recrutements. Le lecteur notera combien cela contraste avec l'absence totale de recrutement de chercheurs CNRS pendant ces dix dernières années, LERMA, DAMAP et DEMIRM confondus, ce qui reste une énigme pour nous. Je ne saurais quitter le domaine de l'enseignement sans souligner la condition extraordinairement difficile faite aux enseignants-chercheurs dont la charge de travail d'enseignement et d'administration atteint des limites insupportables et difficilement compatibles avec leur mission de recherche.

Après trois années d'existence du LERMA, il est un peu tôt pour tirer un bilan approfondi. On ne peut pourtant pas éluder la question de la viabilité d'une structure évidemment complexe du point de vue scientifique aussi bien que géographique. Je constate que le contrat sur lequel le laboratoire a fondé son existence, respect mutuel des spécificités et coopération, a été consolidé par tous. La taille du laboratoire a permis de gérer des situations périlleuses sur le plan du potentiel technique ou scientifique. Les recrutements récents permettent de conserver à la pyramide des âges une allure raisonnable, à condition qu'ils se poursuivent au même rythme de façon à sauvegarder les activités et les projets du laboratoire. Les succès instrumentaux du groupe hyperfréquences sur ROSETTA, Odin et maintenant sur Herschel consolident son caractère spatial et sa position internationalement reconnue dans le domaine. Le renforcement récent de notre équipe de l'ENS, les perspectives ouvertes avec le projet Planck pour l'équipe univers primordial, la grande visibilité des travaux des différentes équipes viennent sanctionner une recherche de qualité. Avec les premiers résultats marquants de l'expérience FORMOLISM et la remise en marche du spectromètre de 10m sur un programme scientifique reconnu, on peut constater l'efficacité de la politique de redéploiement mise en oeuvre. Les différentes composantes du laboratoire ont vu leur activité s'épanouir ou se consolider avec de belles réussites et en tant que directeur du LERMA, je suis fier d'une production scientifique qui supporte toutes les comparaisons. Il apparaît donc que, grâce à la capacité d'initiative et la qualité du travail de ses membres, le LERMA a su tirer avantage de sa diversité. Je ne doute pas que l'avenir confirmera l'excellence de ces résultats.

Jean-Michel LAMARRE, Directeur

**LERMA**

*Laboratoire d'Étude du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique*

**BILAN SOCIAL**  
**et**  
**BUDGÉTAIRE**



## ***2 BILAN SOCIAL ET BUDGETAIRE***

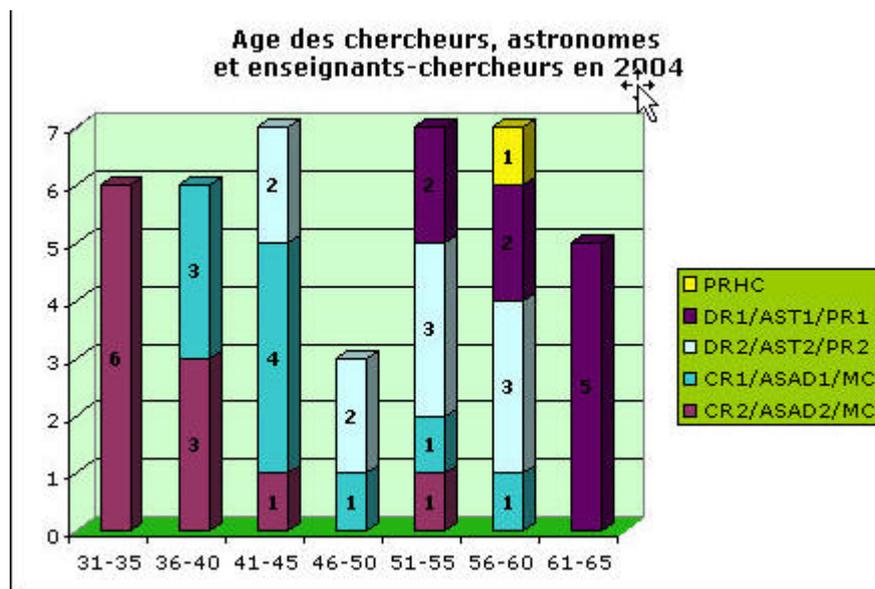


## 2.1 BILAN SOCIAL

Ce bilan est établi à la date de référence du **1er octobre 2004**. Il porte sur 41 chercheurs statutaires et 33 ITA statutaires (29 titulaires et 4 CDD) répartis sur les 5 sites. Il n'inclut pas, essentiellement pour des raisons pratiques, les 6 astronomes de l'IAP rattachés administrativement au LERMA et dont les liens avec le laboratoire sont souvent étroits.

### 2.1.1 Chercheurs et enseignants-chercheurs

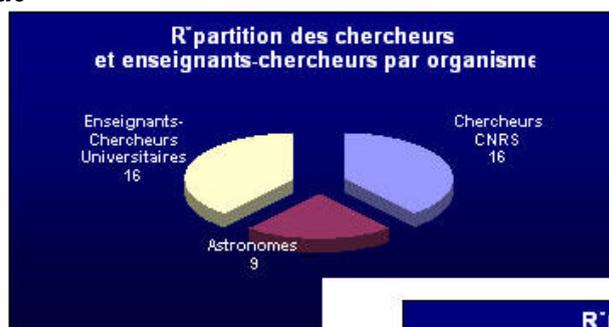
#### 2.1.1.1 Pyramide des âges



Cette pyramide des âges est assez équilibrée malgré un certain déficit dans la tranche d'âge 46-50 ans.

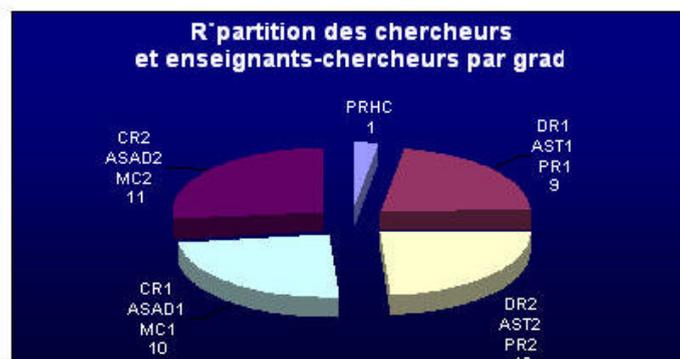
Répartition H/F:  
 - 16 femmes (40%)  
 - 25 hommes (60%)

#### 2.1.1.2 Répartition par établissement et par grade



La répartition par organisme est équilibrée et montre l'implication forte du LERMA dans les universités.

La proportion de DR1, AST1 et PR1 (22%) est significativement plus élevée que celle de l'ensemble du département SDU du CNRS (10%).



## *Bilan social et budgétaire*

### *2.1.1.3 Taux de recrutement*

Le LERMA a recruté **6** astronomes et enseignants-chercheurs sur la période 2001-2004 (hors mesures gouvernementales de 2004), ce qui lui donne un taux de recrutement de **3.8%** par an.

Un de ces astronomes-adjoints est depuis son recrutement mis à la disposition de l'IRAM à Grenoble.

Pendant la même période, le LERMA a vu le départ de **6** chercheurs et enseignants-chercheurs.

Sur la période 2005-2009, **6** chercheurs et enseignants-chercheurs atteindront l'âge de 65 ans (un en 2005 et 4 pendant le prochain quadriennal). Sur le quadriennal suivant, ce sont **6** chercheurs et enseignants-chercheurs qui auront plus de 65 ans. Ces chiffres sont un des éléments qui sous-tendent le plan de recrutement du laboratoire.

Il faut attirer l'attention sur le fait que ces 6 recrutements ont eu lieu soit au CNAP (3 postes), soit dans les universités (3 postes), mais aucun au CNRS, ce qui démontre le fort soutien du LERMA par les Universités mais ne reflète pas la répartition des chercheurs par organisme (cf. § 2.1.1.2). L'absence de recrutement au CNRS sur 4 ans est d'autant plus problématique qu'elle n'est que la prolongation d'une longue période sans recrutement CNRS au DAMAP et au DEMIRM, qui ont formé le LERMA et qui étaient également des UMR du CNRS.

### *2.1.1.4 Nombre de thèses soutenues et en cours de préparation au LERMA*

Le nombre de thèses dirigées et soutenues au LERMA est de 14 pour la période 2000-2003 (4 ans) (nous ne considérons pas l'année 2004 qui n'est pas terminée), soit une moyenne de **3.5 thèses soutenues par an**. 6 des 14 ex-thésitifs sont actuellement post-docs ou ATER. Les 8 autres ex-thésitifs ont soit quitté la recherche (3 pour le privé, 1 agrégation), soit ont déjà un poste (1 chercheur en Corée, 1 recruté CNAP, 1 IR CNRS, 1 enseignement supérieur ENST). Il faut noter que, parmi les six chercheurs recrutés ces dernières années, quatre ont été formés en interne.

Le nombre de thèses en cours au LERMA devant être (ou très récemment) soutenues pendant la période 2004-2007 (4 ans, dont l'année 2004 en cours) est actuellement de 19, soit **4.8 thèses par an en préparation**, dont 13 sont financées sur allocations MEN. Le nombre de thèses en préparation est donc en augmentation par rapport au nombre de thèses déjà soutenues.

Soit:

## Bilan social et budgétaire

Pour le laboratoire en 2004	par an
– nombre de thèses en préparation	4.8
– nombre de thèses déjà soutenues	3.5
– nombre de post-docs issus du laboratoire	2.0
– nombre de recrutements	1.5

Répartition H/F des 19 doctorants:

- 2 femmes (11%)
- 17 hommes (89%)

### 2.1.1.5 Associés-retraités, usagers-retraités et chercheurs émérites

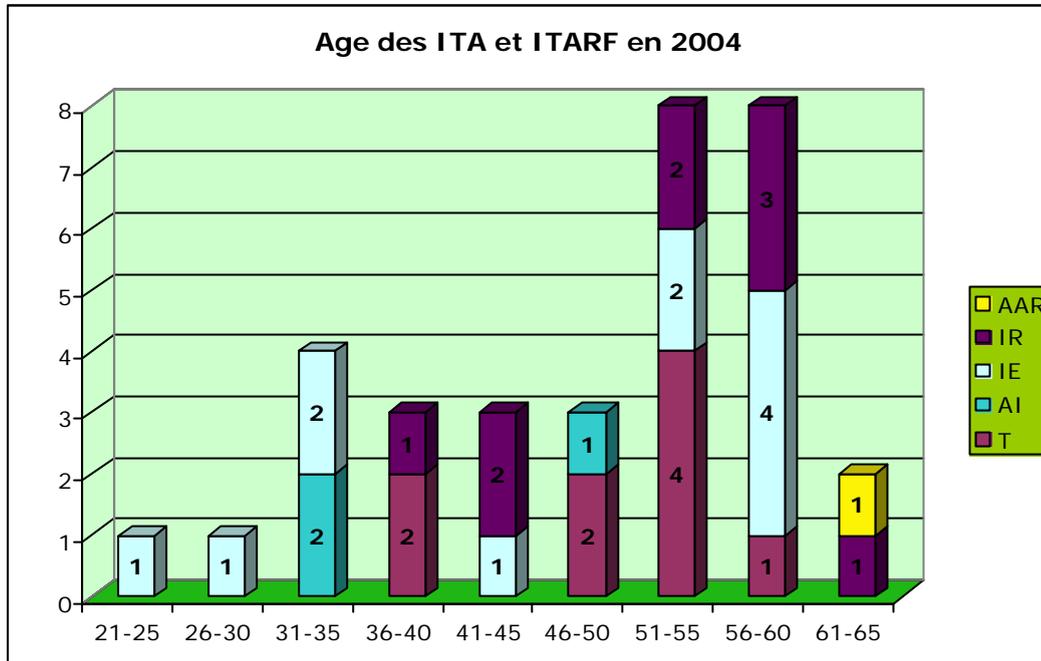
Le LERMA bénéficie de la collaboration en son sein de **3** chercheurs et enseignants-chercheurs émérites, et de **16** chercheurs ou ITA retraités qui ont le statut d'associé ou d'usagers de l'Observatoire de Paris. Emérites, associés et usagers contribuent de façon significative à l'activité scientifique et aux publications du laboratoire.

### 2.1.1.6 Postdocs

Il y a actuellement **6** postdocs en séjour au laboratoire (ils furent 12 en 4 ans)

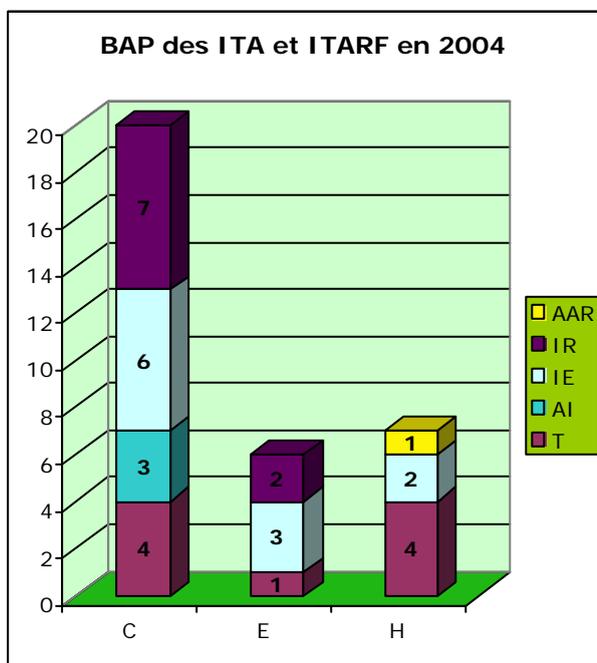
## 2.1.2 ITA et ITARF

### 2.1.2.1 Pyramide des âges



Répartition H/F:  
 – 12 femmes (36%)  
 – 21 hommes (64%)

### 2.1.2.2 Répartition par BAP



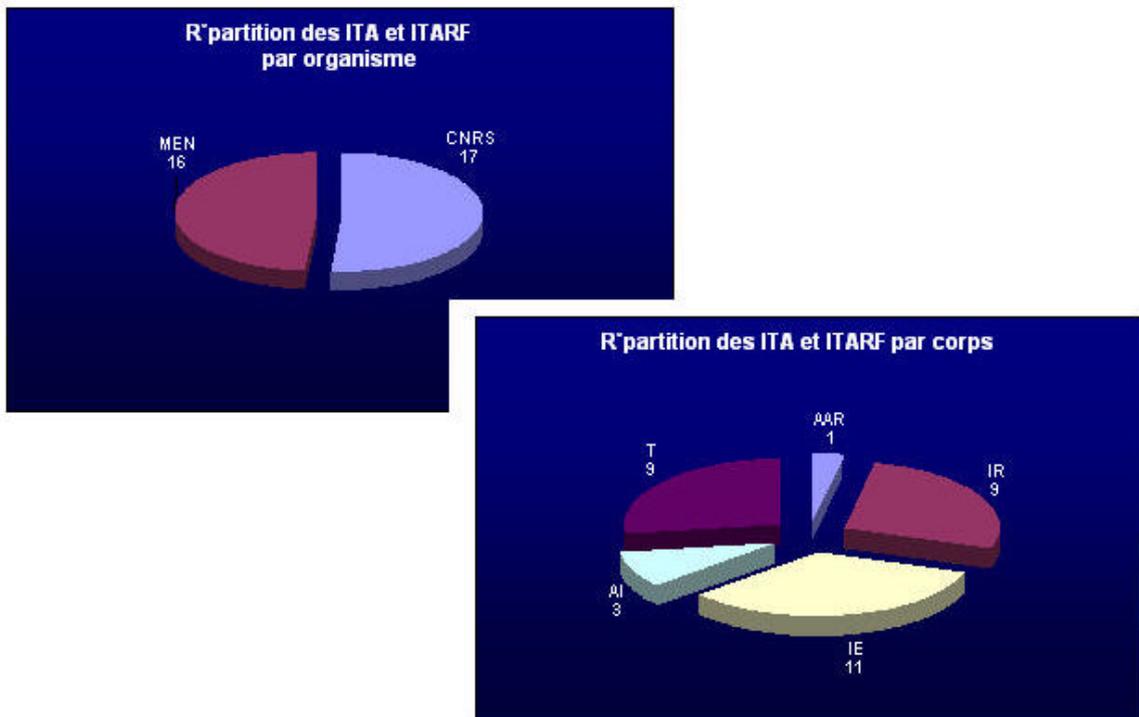
La pyramide des âges des personnels ITA et ITARF du LERMA fait apparaître que 30% de ces personnels ont 56 ans et plus. Parmi eux, on trouve 4 IR et 4 IE, qui pourraient donc partir à la retraite durant le prochain contrat quadriennal. Cette situation est préoccupante pour un laboratoire instrumental comme le LERMA. Le plan de recrutement proposé pour le prochain contrat intègre ces éléments avec la politique instrumentale du laboratoire.

rappel:  
 – BAP C: Science de l'ingénieur et instrumentation scientifique  
 – BAP E: Informatique et calcul scientifique  
 – BAP H: Gestion scientifique et technique

## *Bilan social et budgétaire*

Remarque: le nombre d'ITA et ITARF en BAP E (informatique) paraît faible au regard de la population totale du laboratoire. Cette situation est en train d'être corrigée.

2.1.2.3 Répartition par organisme et par corps

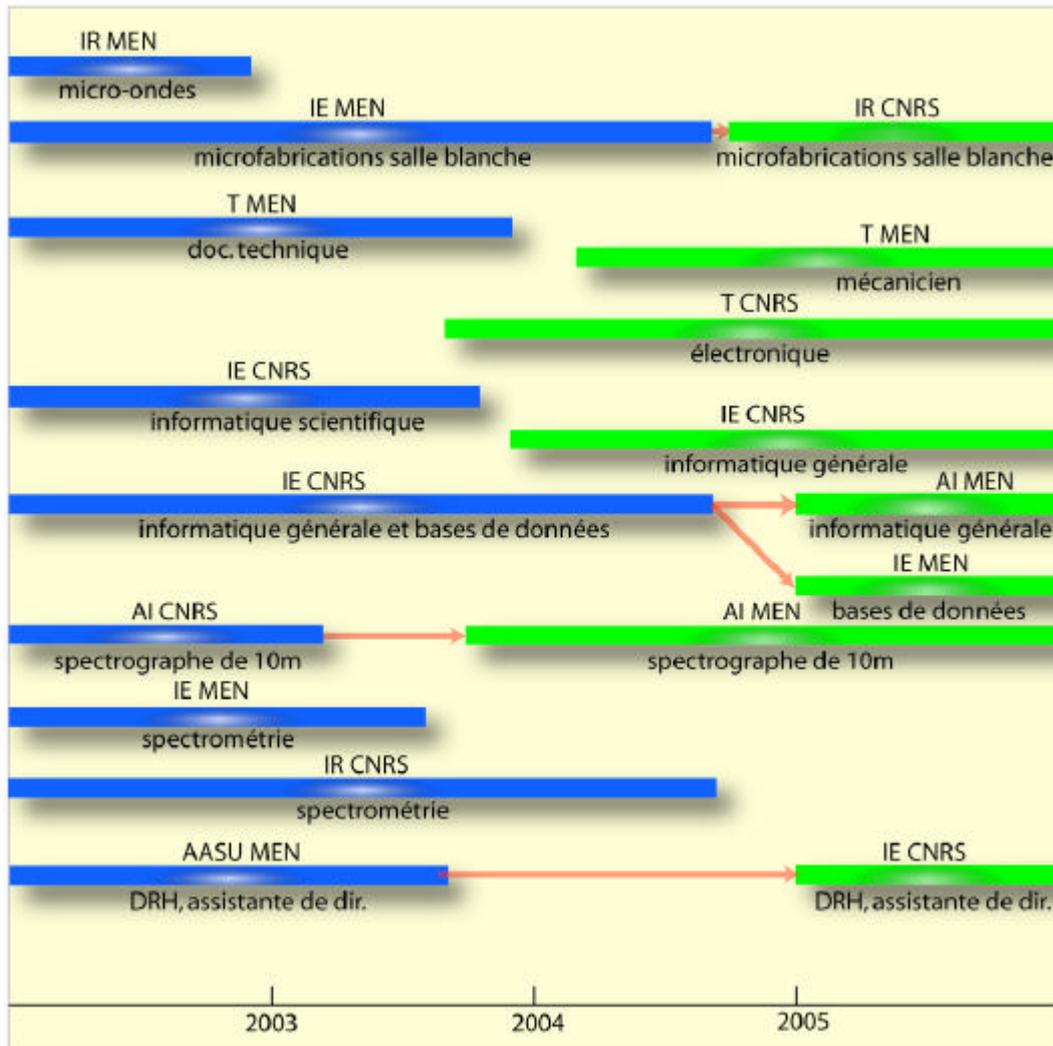


2.1.2.4 Redéploiement du personnel technique sur 2002-2004

La figure suivante présente les arrivées et départs (y compris les concours prévus en 2004/2005) des personnels ITA et ITARF entre décembre 2002 et décembre 2005. Lorsque la fonction est renouvelée (pas nécessairement au même niveau), un trait rouge indique la continuité. Lorsqu'il n'y a pas continuité, la fonction est nouvelle si elle démarre, ou bien n'a pas été renouvelée si elle se termine.

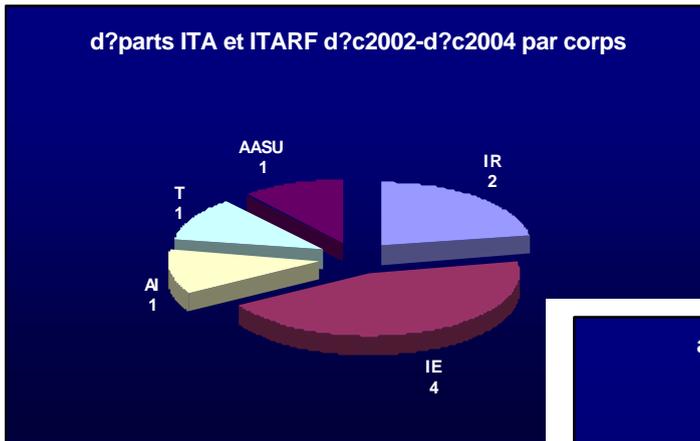
On peut constater sur cette figure que le taux de renouvellement a été voisin de 1: il y a 9 postes au départ et 8 postes à l'arrivée, dont 5 départs et 4 arrivées au MEN et 4 départs et 4 arrivées au CNRS. Le LERMA mène une politique active de redéploiement de son potentiel technique et près de la moitié des postes (4/9) correspondent à de nouvelles fonctions.

## Bilan social et budgétaire

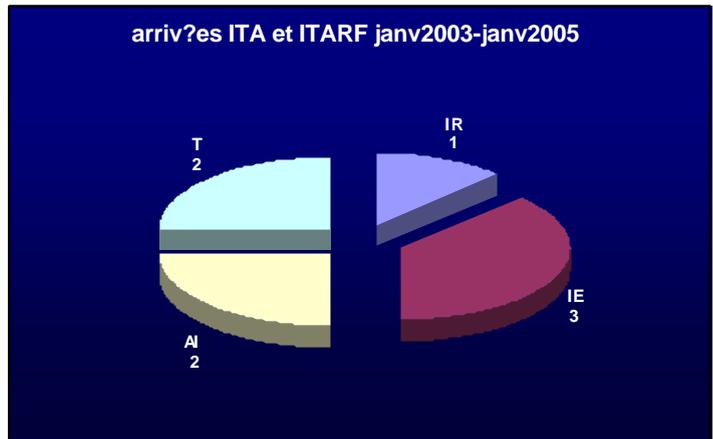


### Commentaires:

- le non-renouvellement de l'activité "spectrométrie" correspond au redéploiement de cette activité sur le site de Cergy-Pontoise, l'activité "spectrographe de 10m" se poursuivant à Meudon.
- La dynamique scientifique des groupes de Paris VI et Cergy a été soutenue par ces universités, ce qui se traduit par l'arrivée de 3 personnes : 2 sur le site de Jussieu-Ivry (informatique et mécanique) et 1 sur le site de Cergy (informatique). Ces arrivées, jointes aux nouveaux recrutements, permettront à terme à chaque site de bénéficier de la présence d'un informaticien en administration des systèmes.

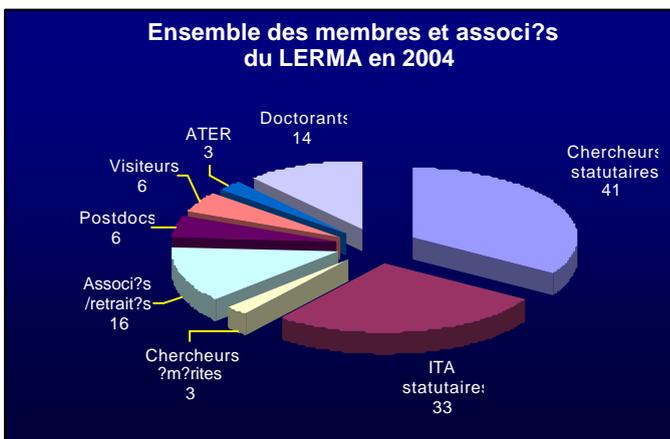


Le niveau en général correct des remplacements s'accompagne néanmoins d'une baisse du niveau des postes dans le renouvellement global, visible sur les répartitions des départs et arrivées par corps.



**Prospective 2006-2009:** sur ces 9 départs pour la période décembre 2002-décembre 2004, 6 sont des départs à la retraite. Compte tenu de l'incertitude sur l'âge de départ à la retraite (entre 60 et 65 ans), le nombre de départs à la retraite qui se produiront en 2005/2009 se situe entre 4 et 10. Parmi les 4 départs certains, 3 devront être impérativement remplacés au même niveau et dans la même fonction: AAR gestion site de Paris (décembre 2006), IR affecté au spectrographe de 10m (décembre 2005), IR GEMO responsable projet SAPHIR (décembre 2007).

### 2.1.3 Répartition de l'ensemble des membres et associés



Le nombre total de membres et associés du laboratoire (122 personnes, auxquelles il faut formellement rajouter les 6 astronomes de l'IAP) se répartit selon la figure ci-contre. Les associés sont des personnels soit retraités, soit extérieurs à l'Observatoire de Paris, qui mènent une activité de recherche au sein du LERMA reconnue par les conseils de l'Observatoire.

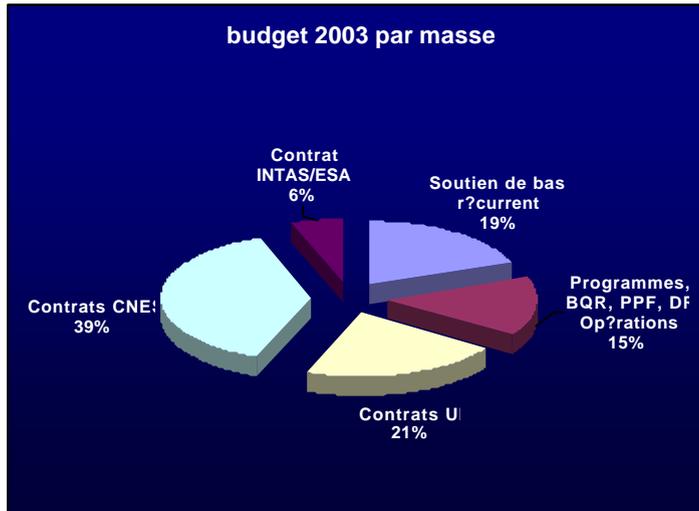
## 2.2 BILAN BUDGETAIRE

Le bilan budgétaire porte sur l'année **2003**, qui est l'année complète la plus récente à la date de rédaction de ce rapport. Pour cette année 2003, le budget global du LERMA est de

**1 422 779 €**

(Tous les chiffres donnés ici sont hors taxes).

### 2.2.1 Ressources par masses

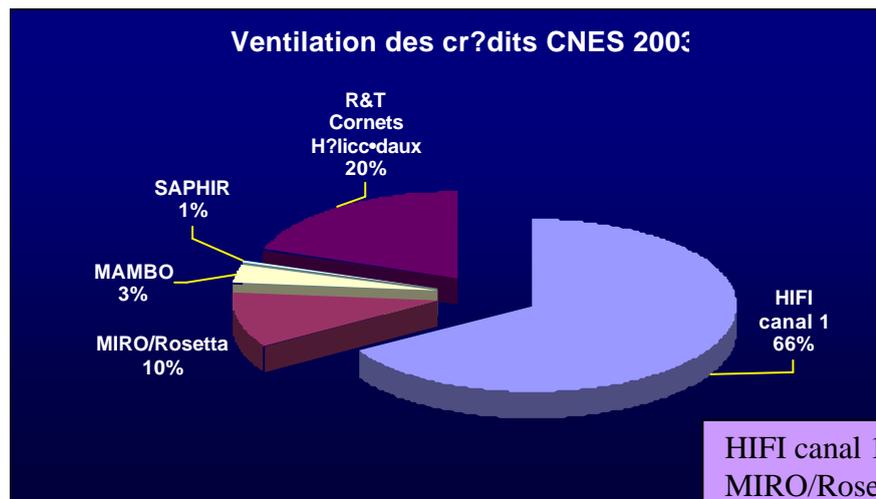


Les contrats sont pluriannuels, et le montant reporté ici est uniquement celui versé au cours de l'année 2003, qui est l'année de référence choisie.

Soutien de base réc.	221 079 €
Prog.BQR,PPF,etc...	204 590 €
Contrats UE	244 625 €
Contrats CNES	454 320 €
Contrat INTAS/ESA	65 000 €
<b>Total</b>	<b>1 422 779 €</b>

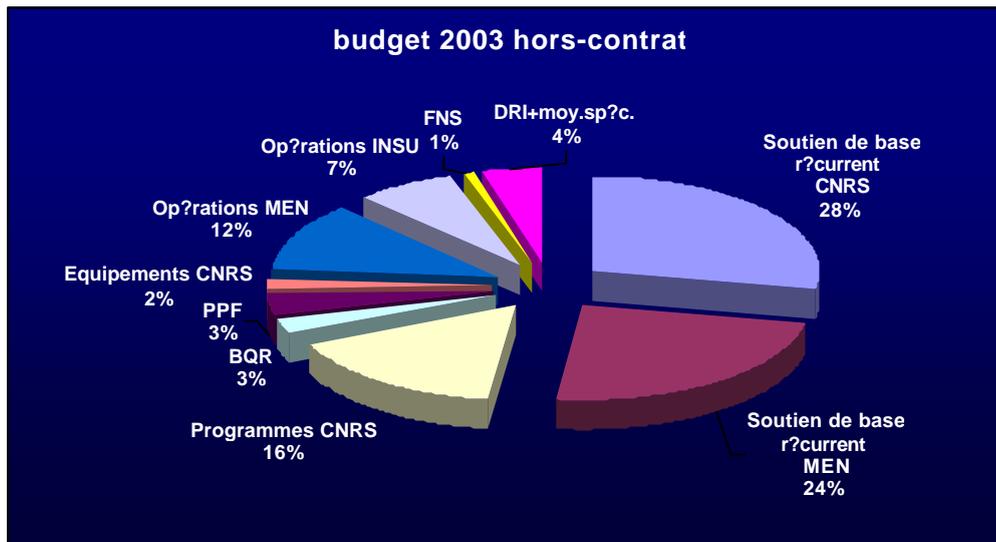
En 2002, le laboratoire a bénéficié en outre de crédits SÉSAME du Conseil Régional d'Ile de France, pour un montant de 120 435 € pour l'expérience FORMOLISM du LERMA-Cergy.

### 2.2.2 Ventilation des crédits de contrats CNES pour l'année 2003



HIFI canal 1	300 000 €
MIRO/Rosetta	47 520 €
MAMBO	14 440 €
SAPHIR	2 860 €
R&T Cornets Hélicoïdaux	89 500 €
<b>Total</b>	<b>454 320 €</b>

### 2.2.3 Ressources hors-contrats



Soutien de base CNRS	120 000 €
Soutien de base MEN	101 079 €
Programmes CNRS	69 250 €
BQR	11 518 €
PPF	14 632 €
Equipements CNRS	7 910 €
Opérations MEN	49 571 €
Opérations INSU	30 000 €
FNS	4 515 €
DRI+moy.spéc.	17 195 €
<b>Total</b>	<b>425 670 €</b>

Le budget hors-contrat 2003 se répartit de façon équilibrée entre crédits récurrents et crédits sur appel d'offres.

### 2.2.4 Niveau du soutien de base par personne au sein du laboratoire

La figure précédente fait apparaître que le budget hors-contrats se répartit de façon équilibrée entre fonctionnement récurrent et crédits auprès des tutelles après appel d'offres. En fait, un calcul simple montre que ces crédits sur appel d'offres participent du fonctionnement général du laboratoire, puisqu'on peut évaluer le montant du soutien de base disponible par personne à environ 1060€ par an, déduction faite des charges internes (téléphone, photocopies, fournitures de bureau, ticket modérateur informatique, etc.) . La nature de ces crédits sur appel d'offres ne permet cependant pas de faire face à des dépenses lourdes de fonctionnement comme le remplacement régulier des postes de travail informatique, point qui avait déjà été identifié dans notre demande financière pour le contrat en cours, et pour lequel nous renouvelons notre demande.

# **RAPPORT SCIENTIFIQUE**



### ***3 PHYSIQUE ET CHIMIE DES ATOMES ET DES MOLECULES***



### **3.1 ATOMES ET MOLECULES EN ASTROPHYSIQUE**

Le thème de recherche "Atomes et molécules en Astrophysique" comprend:

*12 personnels de recherche permanents (astronomes, chercheurs CNRS, enseignants-chercheurs):*

N. Allard  
C. Balança  
V. Bommier  
M.L. Dubernet  
F. Dulieu  
N. Feautrier (jusqu'en 2004)  
J.H. Fillion  
A. de Kertanguy  
J.L. Lemaire  
S. Sahal  
A. Spielfiedel  
L. Tchang-Brillet

*7 chercheurs et ingénieurs associés:*

M. Eidelsberg  
N. Feautrier  
Hoang Binh Dy  
S. Leach  
J.L. Chotin (depuis 2004)  
F. Rostas  
VokyLan

*ATER*

F. Dayou (depuis 2004)  
M. Derouich (depuis 2004)

*6 étudiants:*

B. Kerkeni (jusqu'en 2002)  
F. Dayou (jusqu'en 2003)  
F. Daniel  
M. Derouich (jusqu'en 2004)  
F. Lique  
M. Roudjane (depuis 2004)

*Ingénieurs et techniciens:*

M. Benharrous (jusqu'en 2003)  
C. Blaess  
M. Bruston (jusqu'en 2004)  
N. Champion (depuis 2004)  
J.L. Chotin (jusqu'en 2004)  
F. Launay

**Principales collaborations:**

F. Allard (ENS Lyon)  
P. Barklem (Uppsala)  
Z. Ben Lakhdar, D. Ben Abdallah, K. Hammami, N. Jaïdane (Université de Tunis)  
N. Ben Nessib, W. Mahmoudi, H. Elabidi, H. Ben Chaouacha (Université de Bizerte)  
N. Berrah (West Michigan University)  
J. Cernicharo, M.L. Senent (DAMIR, Madrid)  
M. Cornille, J. Dubau (LUTH)  
M. Dimitrijevic (Belgrade)  
A. Dubois (UPMC)  
A. Grosjean (Observatoire de Besançon)  
G. Hébrard, M. Gros, M. Gerbaldi A. Vidal Madjar, L. Ben-Jaffel (IAP)  
A. Hibbert (Université de Belfast)  
Jia Ming Li (Université de Pékin)  
J. Kielkopf (Université de Louisville)  
J. Kruck, J. Dupuis, P. Chayer (John Hopkins University)  
E. Landi Degl'Innocenti (Université de Florence)  
P. Lemaire (IAS)  
S.T. Manson, H.-L. Zhou (Georgia State University, Atlanta)  
G. Molodij, J. Rayrole, J.C. Hénoux (LESIA)  
M. Monnerville, J.M. Robbe (Université de Lille)  
M. Meuwly (Université de Bâle)  
A.O. Mitrushenkov (Université de Bologne)  
P. Palmieri (Université de Bologne)  
N. Raouafi (MPI, Lindau)  
E. Roueff (LUTH)  
A.N. Ryabtsev, S.S. Churilov (Troitsk, Russie)  
W. Ubachs (Amsterdam)  
P. Valiron (LAOG, Grenoble)  
F. Wullemier (LURE)  
J.F. Wyart (Laboratoire Aimé Cotton)

**Moyens utilisés**

THEMIS  
HST, FUSE, IRAM  
IDRIS, MPOPM  
LURE  
Spectrographe de 10m

**Programmes Nationaux**

PCMI  
PNPS  
PNST  
GdR Exobiologie

**Points forts de la période 2001-2004**

- Spectroscopie VUV d'ions multichargés
- Spectroscopie VUV auprès du synchrotron superACO de LURE, et projets pour SOLEIL
- Spectroscopie appliquée à l'exobiologie
- Profils de raie, raies satellites (application à l'atmosphère des naines blanches)
- Chimie quantique: calcul de surfaces de potentiel
- Chimie quantique: calculs de dynamique moléculaire (conditions du MIS)
- interprétation d'observations de polarisation dans le formalisme de la matrice densité
- Mise au point et alimentation de bases de données (MOLAT, BASECOL)

**Thèses soutenues pendant la période 2001-2004**

B. Kerkeni, 30 novembre 2001, *"Élargissement des raies et relaxation par collision avec l'hydrogène atomique. Diagnostics stellaire et solaire"*, Université Paris VI

F. Dayou, 4 juin 2002, *"Étude théorique de la collision réactive  $Si+O_2 \rightarrow SiO+O$  et de la photodissociation de la molécule SiO dans le milieu interstellaire"*, Université Paris VI

M. Derouich, 9 juin 2004, *"Étude des collisions dépolarisant les raies du "deuxième spectre" du Soleil. Développement et exploitation d'une nouvelle méthode théorique"*, Université Paris VII

### **3.1.1 Introduction**

L'activité du laboratoire dans ce domaine d'interface peut s'analyser de deux points de vue : d'une part selon les thèmes de physique étudiés et d'autre part selon les projets d'astrophysique auxquels ils s'appliquent. En physique, cette thématique contribue au développement de méthodes originales s'appuyant sur un dialogue constant avec les communautés des physiciens et des chimistes. Simultanément, certaines recherches comportent une implication dans de nombreux programmes de modélisation de différents objets astronomiques. Dans ce rapport, nous privilégions une lecture du point de vue de la physique, en ayant cependant constamment à l'esprit le contexte astrophysique.

Les investissements fondamentaux effectués ces dernières années au LERMA ont permis d'obtenir des résultats pionniers au niveau international. Parmi ceux-ci, on peut noter que la première carte du vecteur champ magnétique solaire à partir d'observations effectuées au télescope THEMIS a été obtenue. On note également que plusieurs thèses contribuant à l'interprétation de la polarisation des raies solaires ont été soutenues, ainsi qu'une thèse sur la réactivité des molécules silicées dans le milieu interstellaire. La modélisation des spectres UV des naines blanches DA a conduit à la prédiction de nouvelles structures "satellites", observées ensuite par HST, le même type de modélisation est maintenant appliqué aux spectres des naines brunes avec des perspectives en planétologie. D'importants projets dans le domaine de l'exobiologie sont en cours avec le soutien d'un programme spatial européen. Il faut noter la jouvence de l'installation autour du spectrographe de 10m dans l'ultraviolet du vide, permettant ainsi le démarrage de plusieurs projets importants de spectroscopie apportant des données fondamentales dans l'UV. Une base de données atomiques et moléculaires (données spectroscopiques et collisionnelles) a été mise en place, cette base doit s'étoffer dans les prochaines années dans la perspective des Observatoires Virtuels.

L'objectif prioritaire, affiché dans le précédent quadriennal, d'un investissement important dans la préparation des observations en mm et submm avec le satellite Herschel et l'interféromètre ALMA s'est concrétisé par le démarrage de deux thèses sur l'excitation collisionnelle des molécules présentes dans les milieux interstellaire et circumstellaire et une insertion dans des projets d'observation et de modélisation. Cette thématique a largement bénéficié du recrutement en 2003 de Marie Lise Dubernet. Les travaux dans le domaine du MIS ont permis un rapprochement avec les autres équipes du laboratoire, et à l'avenir, notre expertise en matière de polarisation du rayonnement devrait être mise à profit pour l'interprétation des observations ALMA.

Nos activités ont reçu le soutien des différents programmes de la discipline (PNST, PNPS, PCMI, exobiologie), et une équipe participe au nouveau réseau "Molecular Universe" du 6e programme cadre européen. Nous avons de nombreux projets détaillés ci-après, qui nécessiteront de continuer les développements théoriques ou expérimentaux nécessaires à notre activité pluridisciplinaire.

### **3.1.2 Processus radiatifs et collisionnels et réactivité en phase gazeuse**

Nous distinguons dans cette partie, d'une part les travaux fondamentaux théoriques et/ou expérimentaux en "spectroscopie, photodynamique et opacités" conduisant pour certains à des propositions d'observations et à leur modélisation, et d'autre part une activité "physique et chimie des molécules dans l'Univers" fortement motivée par une implication forte dans de très grands projets, notamment Herschel et ALMA en astrophysique, EXPOSE sur l'ISS en exobiologie. Bien évidemment ces deux aspects complémentaires de notre activité s'entrecroisent.

### **3.1.2.1 Spectroscopie, photodynamique, opacités**

Pour de nombreux objets de l'astrophysique, l'analyse des observations et la modélisation nécessitent une connaissance approfondie de la structure et des processus dynamiques relatifs aux atomes et aux molécules qui les composent. Une part importante de l'activité de l'équipe est consacrée à des études théoriques et expérimentales dans ce domaine. Beaucoup de ces résultats seront mis à disposition sur la base de données MOLAT.

*Les travaux expérimentaux* concernent la spectroscopie et la photodissociation de molécules et la spectroscopie d'ions atomiques multichargés dans l'Ultraviolet du Vide. Ils sont menés soit autour du spectrographe de 10 mètres de l'Observatoire soit au LURE sur le synchrotron SUPER-ACO. D'autres expériences sont réalisées à l'étranger (synchrotron BESSY, Centre Laser VUV) en collaboration internationale. L'interprétation des spectres expérimentaux s'appuie sur les études théoriques des structures atomiques et moléculaires et permet également d'obtenir des informations sur la dynamique des systèmes comme les relaxations ou les prédissoziations responsables de photodissociation indirecte des molécules.

*Les travaux théoriques* sur les petites molécules concernent la structure des états, les forces d'oscillateurs des transitions et la dynamique de formation et de destruction. La plupart de ces travaux sont fondés sur des calculs de chimie quantique effectués à l'aide des codes numériques actuellement les plus performants. Les taux de photodissociation de certains états excités sont également étudiés à l'aide de modèles semi-empiriques originaux. D'autres travaux théoriques concernent le photodétachement d'ions négatifs et la photoionisation d'atomes alcalins en couches internes par des photons très énergétiques. Les calculs d'élargissement des raies atomiques ainsi que le calcul des opacités dans les ailes de raies constituent aussi une de nos activités soutenue par le programme PNPS. Notons aussi un lien très étroit entre la théorie des profils collisionnels unifiés et la modélisation des spectres UV des naines blanches DA riches en hydrogène observés avec les satellites IUE, HST et FUSE.

#### **3.1.2.1.1 Spectroscopie VUV d'ions atomiques multichargés**

Les observations HST des étoiles chimiquement particulières ont révélé la présence d'éléments lourds neutres ou ionisés avec quelquefois des structures hyperfines. Nous avons obtenu et analysé les spectres de métaux de transition des groupes du fer (Mn II-V, Tchang-Brillet et Azarov, 2002, Fe V et VI, Azarov *et al.* 2001) et du platine (Pd II et Ag II, Kalus *et al.* 2001, Litzen *et al.* 2001). En particulier, nous avons réalisé une percée dans l'analyse de Ta III, dernier spectre III entièrement inconnu (Azarov *et al.* 2003). L'étude des lanthanides deux et trois fois ionisés a été entreprise et un article a été publié sur Yb IV (Wyart *et al.* 2001). Nous avons par ailleurs étendu l'étude des spectres isoélectroniques de Pd-I de Sb VI jusqu'à Ce XIII apportant ainsi une contribution à la modélisation de transitions laser dans l'XUV (Churilov *et al.* 2002). L'analyse des spectres expérimentaux et l'étude paramétrique des configurations atomiques fournissent les longueurs d'onde des raies, les énergies des niveaux impliqués, les probabilités de transition et les facteurs de Landé. Les projets immédiats concernent les ions deux fois chargés de lanthanides (Pr III, Eu III, Nd III) et les ions Pr XIV et Nd XV de la séquence de Pd.

#### **3.1.2.1.2 Spectroscopie et photodynamique des petites molécules**

##### **H<sub>2</sub>, HD**

Un projet soutenu par PCMI concerne l'étude à haute résolution du spectre VUV de la molécule HD qui sera produit par une source du type à décharge Penning et enregistré sur le spectrographe de 10 m. L'analyse du spectre implique l'étude théorique des couplages particuliers à cet isotopomère non symétrique. L'objectif de cette étude est d'apporter des données pour l'interprétation des observations obtenues par la mission FUSE. Une thèse débutera en octobre 2004 sur les effets isotopiques et la brisure de symétrie.

Par ailleurs, l'étude ab initio des propriétés des états électroniques de H<sub>2</sub> a été menée pour des états de plus en plus excités, jusqu'à la dissociation vers n=3 (et n=4 pour certains états). Un code récent a été développé (collaboration avec le groupe de P. Palmieri) qui permet le calcul très précis (qq cm<sup>-1</sup>) des états électroniques très excités de H<sub>2</sub> et de leurs propriétés: moments de transition (Spielfiedel *et al.* 2003), couplages non-adiabatiques, constantes de structure fine (spin-spin en particulier). La comparaison des constantes spin-spin avec les résultats expérimentaux disponibles montre un très bon accord (Spielfiedel *et al.* 2004). Les moments de transition et les couplages non-adiabatiques seront notamment utilisés pour l'interprétation de spectres pris à BESSY2 (collaboration M. Glass-Maujean).

## CO

Au cours de l'année 2003, nous avons obtenu sur la ligne à haute résolution SU5 de Super ACO d'excellents spectres d'absorption des bandes de CO et de ses isotopes <sup>13</sup>C<sup>16</sup>O et <sup>13</sup>C<sup>18</sup>O dans l'ultraviolet du vide entre 928 et 1078Å, région d'intérêt de FUSE. Ces spectres rotationnellement résolus nous permettent d'obtenir une série exhaustive des forces d'oscillateurs des bandes de CO. Ce travail a été mené en collaboration avec S.R. Federman et Y. Sheffer (Toledo, Ohio) qui ont déjà observé des spectres correspondants avec FUSE et HST. Des résultats concernant la région 967-972Å ont été publiés (Eidelsberg *et al.* 20004a). La détermination des forces d'oscillateur nécessite la connaissance des longueurs d'onde des bandes étudiées ainsi que des coefficients de mélange des bandes dont les états supérieurs interagissent fortement. Des spectres en jet obtenus à haute résolution au spectrographe de 10m de Meudon nous ont permis d'obtenir les données nécessaires (Eidelsberg *et al.* 2004b). Les coefficients de mélange de 5 bandes entre 935 et 938Å font l'objet de nouveaux calculs sans lesquels il est impossible de déterminer les forces d'oscillateur pour ces bandes.

## N<sub>2</sub>

Une modélisation des interactions Rydberg-valence a été réalisée pour N<sub>2</sub> et ses isotopomères pour interpréter des spectres de haute résolution obtenus au Centre Laser VUV d'Amsterdam et des mesures de durées de vie au Centre Laser de Lund (collaboration avec l'équipe de W. Ubachs) (Ubachs *et al.* 2001, Sprengers *et al.* 2003). Les interactions prédissociatives entre les états de Rydberg et des états de valence sont responsables de processus indirects de photodissociation ou de recombinaison dissociative, donc isotopiquement sélectifs. La destruction isotopiquement sélective de la molécule pourrait jouer un rôle dans l'interprétation des rapports isotopiques <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N très différents observés pour des atmosphères planétaires du système solaire, en particulier pour celle de Titan.

## CN

Un travail récent sur le radical CN a démontré que la détermination de la température du rayonnement de fond cosmologique, à partir du spectre d'absorption de CN interstellaire, pourrait être entachée d'une erreur. En effet des couplages intramoléculaires entre les niveaux rotationnels sont responsables de la non-validité des facteurs Hönl-London classiques utilisés dans cette détermination. La valeur ainsi obtenue de T<sub>g</sub> (CN) est légèrement plus grande que celle du standard cosmologique, 2.725 K, mesurée par le satellite COBE. Une estimation des corrections maximales est proposée (Leach 2004).

## H<sub>2</sub>O

Les couplages gouvernant l'instabilité des états excités de la molécule H<sub>2</sub>O constituent de véritables prototypes pour les mécanismes de prédissociation d'autres hydrures. Plusieurs expériences ont été réalisées au LURE et à BESSY (Berlin) sur H<sub>2</sub>O, D<sub>2</sub>O et leurs isotopomères. Les principaux résultats concernent: (i) la validation d'une surface de potentiel

permettant de comprendre la dissociation des états de Rydberg élevés (Fillion *et al.* 2001), (ii) le mécanisme très sélectif, impliquant des interactions entre états linéaires et pliés, qui conduit aux fragments  $O(^3P)+H+H$  ou  $O(^1D)+H_2$  (Fillion *et al.* 2004), (iii) l'existence d'effets spécifiques de deutération sur les processus compétitifs de prédissociation et d'autoionisation, tandis que l'ionisation directe est peu affectée. Ces résultats ont des implications en chimie des atmosphères des planètes Terre, Mars et Vénus, ainsi que dans la science cométaire (Fillion *et al.* 2003).

### *3.1.2.1.3 Fullerènes*

Des travaux de laboratoire sur la spectroscopie ou la photophysique des fullerènes, indispensables à l'interprétation des observations dans le milieu interstellaire, sont présentés dans six publications : (i) spectres d'absorption de dérivés pyrrolidiniques de  $C_{60}$  et les effets spectraux des mono- et bis-adduits pyrrolidiniques (Kordatos *et al.* 2003); (ii) propriétés de l'état triplet de ces composés (Da Ros *et al.* 2002); (iii) Spectres de fluorescence et de phosphorescence de  $C_{70}$  dans le toluène à 5 K, et effet de différents sites du soluté sur l'ordre des états excités électroniques de ce dernier (Rice *et al.* 2002); (iv) propriétés optiques de films  $C_{60}$ -polystyrène et leur utilisation possible comme limiteurs optiques (Venturini *et al.* 2002); (v) propriétés photophysiques de dérivés de  $C_{60}$  en forme de dendrimères (Quaranta *et al.* 2002); (vi) à partir d'un modèle de couche sphérique d'électrons, et par l'étude des effets d'un potentiel icosaédrique et des effets de perte successive d'électrons p et de modification de symétrie, on rationalise la persistance de bandes d'absorption de  $C_{60}$  dans les spectres de leurs dérivés contenant jusqu'à 6 adduits (Leach 2004a).

### *3.1.2.1.4 Photoionisation des couches internes des atomes et photodétachement d'ions négatifs*

Le développement des sources de rayonnement synchrotron a permis aux expérimentateurs de développer des expériences très précises de photoionisation et de photodétachement. L'analyse de ces expériences a nécessité des développements théoriques afin de mieux comprendre les corrélations électroniques et analyser les nombreuses résonances observées. Le code R-Matrix a été transformé de façon à introduire de façon équilibrée le très grand nombre de configurations nécessaires à l'étude de la photoionisation en couches internes par des photons de plus en plus énergétiques.

De très belles expériences sur le photodétachement des ions négatifs ont été menées à l'Université West Michigan par l'équipe de Nora Berrah, nos résultats sur  $He^-$  (Zhou *et al.* 2001a),  $Li^-$  (Zhou *et al.* 2001b),  $K^-$  (Berrah *et al.* 2001) et  $C^-$  (Zhou *et al.* 2004 sous presse) sont en excellent accord avec les résultats expérimentaux.

En ce qui concerne la photoionisation, une collaboration avec l'équipe F. Wuillemier s'est progressivement établie. Nous avons effectué le calcul de la photo ionisation du sodium aussi bien à partir de l'état fondamental ( $2p^63s\ ^2S$ ) que d'états excités ( $2p^63p\ ^2P^o$ ) (le spin orbite de Na été introduit pour la première fois dans ce type de calcul). Les résultats obtenus sont en excellent accord avec les expériences et ont permis d'interpréter celles-ci. En particulier, la position et la largeur des résonances coïncident remarquablement bien avec les courbes expérimentales.

### *3.1.2.1.5 Elargissement des raies spectrales d'atomes ou d'ions*

Les travaux sur l'*élargissement Stark* sont menés en collaboration avec une équipe de l'université de Bizerte (coopération CNRS-DGRST de Tunisie) et trois thèses sont en cours dans ce domaine. Les activités concernent: (i) l'élargissement des raies d'ions multichargés par des méthodes quantiques en couplage intermédiaire, en vue d'un développement de diagnostic pour les lasers X et les milieux astrophysiques non solaires (AGN, SNR). Le formalisme a été

publié (El Abidi et al. 2004), des calculs sont en cours, (ii) l'élargissement des raies des atomes neutres dans un plasma dense en tenant compte des écarts à l'idéalité lorsque les corrélations et les effets d'écran de plasma ne sont pas négligeables (Mahmoudi *et al.* 2004a, Ben Chaouacha *et al.* 2004). De nouveaux résultats sur l'élargissement et le déplacement Stark de raies de OII et NII (Mahmoudi *et al.* 2004b) ont été obtenus et l'exploitation à grande échelle des codes semiclassiques de collision permet d'obtenir un grand nombre de taux à mieux que 20 à 30% près pour les atomes ou ions d'intérêt astrophysique. Le code peut maintenant utiliser les données atomiques de qualité du projet Opacity via la base de données TOPBASE du CDS (collaboration M. Dimitrijevic).

D'autre part, les *taux d'élargissement* des raies de résonance de Na et des alcalino terreux par *collisions avec l'hydrogène atomique* ont été obtenus comme sous-produit du calcul quantique des taux de collisions dépolarisantes (Kerkeni et al. 2004).

#### *3.1.2.1.6 Opacité dans les ailes des raies de l'hydrogène*

Une étude entièrement quantique a été effectuée pour le calcul du coefficient d'absorption dans l'aile lointaine de la raie Ly $\alpha$  perturbée par collisions H-H, en particulier pour le satellite quasi-moléculaire observé à 1600 Å. Dans l'approche quasi moléculaire, on doit tenir compte des contributions des transitions du type libre-lié et du type libre-libre pour le calcul de l'absorption ou de l'émission du complexe collisionnel binaire. Nous avons comparé les résultats obtenus dans l'approche adiabatique à ceux obtenus en tenant compte du couplage rotationnel entre les états supérieurs B<sup>1</sup> $\Sigma_u^+$  et C<sup>1</sup> $\Pi_u$  et démontré que ce couplage n'a pas d'influence notable. Ceci permet d'obtenir le coefficient d'absorption total en sommant les contributions des différentes transitions électroniques. La comparaison avec les résultats de calcul semi-classique montre une différence à basses températures qui se réduit lorsque la température augmente (Lique *et al.* 2004).

Dans la même approche à un perturbateur, les profils d'ailes lointaines des raies Ly $\beta$ , Ly $\gamma$  et Ly $\delta$  perturbées par collisions électroniques ont été obtenus. Des calculs R-Matrix complèteront ce travail pour les ailes très lointaines, l'inclusion formelle des interactions à longue portée est en cours.

#### *3.1.2.1.7 Profils collisionnels unifiés et modélisations*

L'étude théorique des profils de raies atomiques perturbées par collisions a été étendue à la modélisation de spectres des naines blanches et des étoiles A pauvres en métaux. Des structures (raies satellites) présentes dans les spectres IUE, HST, FUSE des naines blanches DA, ont été identifiées comme étant dues aux absorptions de quasi-molécules formées par collisions H-H et H-H<sup>+</sup>. Le projet d'observation d'une naine blanche ZZ Ceti a été accepté lors du cycle 4 de FUSE et a permis la première observation de la structure à 1150 Å (Figure), due à H<sub>2</sub>, prédite théoriquement (Allard *et al.* 2000). G226-29 est la naine blanche la plus froide observée avec FUSE, un excellent spectre HST avait aussi été obtenu en 1995. La combinaison des observations dans ces deux domaines de longueur d'onde a permis d'obtenir la meilleure détermination possible des paramètres fondamentaux (température effective et gravité) de cette étoile qui définit le bord bleu de la bande d'instabilité des naines blanches variables ZZ Ceti (Allard *et al.* 2004).

Une nouvelle application concerne les naines brunes et les planètes géantes. Les observations photométriques et spectroscopiques de naines brunes montrent une différence entre modèles actuels et données observationnelles. Une des raisons de ce désaccord provient du traitement simplifié des raies des alcalins qui dominent le spectre optique de ces objets. Les profils d'absorption des raies du sodium et du potassium perturbés par l'hélium et par H<sub>2</sub> ont été calculés en utilisant des potentiels moléculaires. On a pu établir que les nouveaux

profils ne suffisent pas à combler l'opacité manquante dans les modèles de naines brunes froides, contrairement à l'attente exprimée par le groupe de A. Burrows (Arizona State Univ.). Il est à noter que c'est la première fois que de tels modèles de naines brunes ont été calculés (Allard *et al.* 2003)

Les perspectives de cette étude concernent l'étude des atmosphères d'objets substellaires, et en particulier des planètes extrasolaires de type jovien (planètes gazeuses) et tellurique.

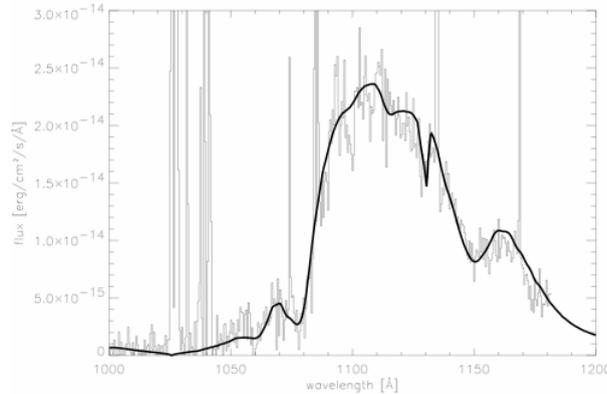


Figure: Comparaison du spectre FUSE de G226-29 avec le spectre synthétique obtenu pour  $T_{\text{eff}}= 12039$  K,  $\log(g)=7.93$ .

### **3.1.2.2 Physique et chimie des molécules dans l'Univers**

#### *3.1.2.2.1 Préparation à Herschel et ALMA: excitation ro-vibrationnelle, élargissement de raies moléculaires*

Les futures missions HERSCHEL et ALMA vont ouvrir de nouvelles fenêtres d'observation dans le domaine sub millimétrique avec de meilleures résolutions spectrale et spatiale. La préparation de ces missions et de leur exploitation scientifique nécessite l'utilisation de données moléculaires de grande précision dans les codes de transfert radiatif et dans les modélisations des milieux astrophysiques concernés. Pour qu'ils soient pertinents, nos travaux, qui ont le soutien du programme PCMI, s'effectuent dans un cadre de collaboration internationale entre physiciens, chimistes et astrophysiciens à travers l'appartenance au réseau européen FP6-RTN «Molecular Universe » (2006-2009) et grâce à un programme d'échange PICASSO entre notre équipe et l'équipe de J. Cernicharo. Ces collaborations associent physique moléculaire, transfert radiatif et observations.

Nos travaux concernent essentiellement la détermination de constantes de vitesse d'excitation rotationnelle ou ro-vibrationnelle de molécules par He et H<sub>2</sub>, pour des zones de température allant des nuages froids jusqu'aux milieux chauds des régions de photodissociation. Les données disponibles sont souvent anciennes et souvent extrapolées sans aucune justification physique. En parallèle, nous déterminons les élargissements de raies par He ou H<sub>2</sub> pour des molécules ayant un intérêt pour les atmosphères planétaires.

L'obtention des constantes d'excitation (ou d'élargissement des raies) comprend deux volets :

- une première partie de « chimie quantique »: calcul des surfaces d'énergie potentielle
- une deuxième partie de « dynamique » (collisions). Pour tous les systèmes étudiés, cette partie est traitée ou dirigée par notre équipe.

Nos travaux, présentés ci-dessous, ont porté essentiellement sur H<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>H<sup>+</sup>-He et SO-He. Notons de plus des résultats obtenus sur les systèmes CH+He (Ben Abdallah *et al.* 2003) et HOCO<sup>+</sup>+He (Hammami *et al.* 2004) dans le cadre d'une collaboration avec

l'université de Tunis.

### **Système H<sub>2</sub>O+H<sub>2</sub>**

L'excitation rotationnelle ou rovibrationnelle de la molécule d'eau est le thème central de notre projet car cette molécule se retrouve dans tous les milieux de l'espace (cométaire, interstellaire, planétaire) et fait l'objet de projets observationnels satellitaires, dont la mission HERSCHEL (HIFI). Les calculs de taux effectués par Phillips *et al.* (1996, ApJS, 107, 467) couvraient les premiers niveaux rotationnels ( $j=0,1,2$ ) de H<sub>2</sub>O pour des températures de 20K à 140K. En utilisant les mêmes méthodes, nous avons étendu les calculs entre 5K et 20K et avons établi une carte précise de l'évolution des sections efficaces d'excitation rotationnelle de para-H<sub>2</sub>O entre quelques cm<sup>-1</sup> et 400 cm<sup>-1</sup>, ce qui nous a permis de mettre en évidence la présence de nombreuses résonances et de trouver des taux différents de ceux déjà publiés à 20K pour certaines transitions (Dubernet et Grosjean 2002). Pour l'ortho H<sub>2</sub>O, nous avons également obtenu les résultats complets de sections efficaces avec une base augmentée par rapport à la base utilisée par Phillips *et al.* Des différences apparaissent au niveau des taux d'excitation pour certaines transitions à 20K (Dubernet et al. 2003).

### **Système N<sub>2</sub>H<sup>+</sup> + He**

Ce travail est motivé par l'observation d'anomalies d'excitation des raies hyperfines de N<sub>2</sub>H<sup>+</sup> dans des nuages froids. Nous avons calculé les excitations selectives hyperfines de N<sub>2</sub>H<sup>+</sup> par He, en utilisant une surface de potentiel déterminée par M. Meuwly (collaboration Basel). La contribution des 2 spins nucléaires de l'azote au spectre de N<sub>2</sub>H<sup>+</sup> est résolue observationnellement, aussi nous incluons les 2 spins dans le calcul des constantes de vitesse d'excitation, ce qui est rarement pris en compte. Ceci a impliqué la dérivation des expressions appropriées pour les sections efficaces de collision et la réalisation des codes correspondants. Nous avons montré que certaines règles de propensité varient en fonction de la température entre 5K et 50K (Daniel *et al.* 2004).

### **Système SO + He**

La molécule SO est un traceur moléculaire des chocs dans les régions de formation d'étoiles. La difficulté du travail provient de la haute température qui implique de très nombreux états excités, et de la prise en compte de la structure fine de SO. Nous avons calculé une nouvelle surface d'énergie potentielle 2D de SO + He et effectué des calculs close-coupling complets d'excitation entre 5K et 25K. A basse température nous avons montré que les méthodes simplificatrices de recouplage n'étaient pas adéquates. Les résultats vont contribuer à la modélisation de nuages froids (collaboration L. Pagani et J. Cernicharo).

#### *3.1.2.2 Réactivité en phase gazeuse*

Nous avons abordé l'étude théorique des molécules silicées présentes dans le milieu interstellaire. Il s'agit d'étudier d'une part la destruction de la molécule SiO par la photodissociation et d'autre part la formation de la molécule par une collision réactive entre Si et O<sub>2</sub> (ou OH). Ceci nécessite la connaissance des potentiels diatomiques de SiO et d'une surface de potentiel SiO<sub>2</sub> (ou SiOH) et l'étude de la dynamique de la collision. La photodissociation est indirecte et se produit à travers un état lié couplé à un continuum. Une étude des différentes approches en théorie de collisions a été menée comparant la méthode indépendante du temps des équations couplées et la méthode des paquets d'ondes dépendant du temps. Pour la collision réactive, une surface réactive ab initio a été calculée puis représentée analytiquement (Dayou et Spielfiedel 2003) afin de rendre possible l'étude de la dynamique sur la surface. Les sections efficaces de réaction ont été calculées par la méthode de trajectoire classique et par la méthode quantique des paquets d'ondes. Les constantes de

vitesse qui s'en déduisent présentent une variation comparable aux résultats expérimentaux pour le domaine de température compris entre 15K et 300K.

### 3.1.2.2.3 Exobiologie

#### 3.1.2.2.3.1 Molécules prébiotiques

##### Acide formique

L'étude porte sur la spectroscopie dans l'ultraviolet lointain de l'acide formique (S. Leach *et al.* 2002), sur la fragmentation, la fluorescence et l'ionisation de l'acide formique excité par des photons entre 6 et 23 eV (M. Schwell *et al.* 2002), et sur la spectroscopie photoélectronique de quatre isotopologues de l'acide formique (S. Leach *et al.* 2003).

##### Acides aminés

La photophysique dans l'UV lointain a été étudiée pour cinq acides aminés d'intérêt exobiologique et météoritique : glycine,  $\alpha$ -alanine,  $\beta$ -alanine, acide  $\alpha$ -aminoisobutyrique et  $\alpha$ -valine. L'excitation photonique dans le domaine 6-22 eV a donné des renseignements nouveaux sur les énergies d'ionisation de ces espèces et sur la nature et les énergies d'apparition de leurs produits d'ionisation dissociative. On a également montré l'existence de voies de dissociation par formation de paires d'ions de charges opposées. Aucune conversion isomérique entre les formes  $\alpha$ - et  $\beta$ - alanine n'a été observée, au moins jusqu'à 20 eV d'excitation. Nos résultats permettent de prévoir les régions propices pour l'observation éventuelle d'acides aminés dans le milieu interstellaire, et portent sur les problèmes de la formation et la survie d'acides aminés dans des météorites (Jochims *et al.* 2004).

##### Photodissociation de l'ammoniac

Des études des spectres de fluorescence ont été effectuées au LURE. Les résultats de ce travail ont permis : (i) de clarifier la nature des porteurs de la fluorescence, (ii) d'analyser les spectres d'excitation à la fluorescence de  $\text{NH}_2$  et d'attribuer des bandes observées à des membres de quatre séries de Rydberg de  $\text{NH}_3$ , (iii) d'obtenir des renseignements nouveaux sur la photodissociation de  $\text{NH}_3$  conduisant à la formation de  $\text{NH}_2$  excité électroniquement, ainsi que sur les processus de formation du radical  $\text{NH}$  dans divers états excités, (iv) d'effectuer une nouvelle détermination, très précise, de la chaleur de formation du radical  $\text{NH}$ , radical important dans divers processus cosmochimiques.

#### 3.1.2.2.3.2 Projet EXPOSE (ESA-NASA)

L'objectif scientifique de ce projet, mené en collaboration avec l'équipe de D.Tepfer à l'INRA de Versailles, est de tester la possibilité de transfert de la vie entre des planètes et satellites planétaires dans le système solaire. Nous travaillons sur deux aspects principaux : la résistance de la matière vivante encapsulée dans un objet biologique modèle – graine de plante – et le mécanisme par lequel la vie basée sur l'ADN pourrait entrer dans une biosphère telle que celle de la Terre (B. Barbier *et al.* 2003). Par des expériences effectuées en laboratoire, nous avons démontré que les graines végétales représentent des très bons modèles terrestres pour la protection de la vie dans des conditions spatiales. Ces graines ont pour fonction biologique de conserver le génome aussi intact que possible pour des périodes assez longues (> 1000 ans) pour un trajet entre Mars et la Terre. La résistance aux rayonnements UV C de trois espèces a été démontrée, en particulier pour des graines d'*Arabidopsis thaliana*. Ces graines sont suffisamment petites pour nous permettre d'effectuer des expériences en orbite dans le cadre du projet EXPOSE sur la Station Spatiale Internationale

où nos échantillons seront exposés de façon quasi-continue aux UV de  $\lambda = 125$  nm pendant une période de 18 à 36 mois. Une partie de l'année 2003 a été consacrée à la définition, en collaboration avec les équipes d'ingénieurs du projet, des cellules et des porte-échantillons qui seront montés sur la plateforme EXPOSE.

### **3.1.3 Polarisation du rayonnement et milieux anisotropes**

#### ***3.1.3.1 Introduction: la polarisation atomique et moléculaire***

L'interaction d'un atome ou d'une molécule avec un milieu anisotrope (rayonnement anisotrope, faisceaux de particules), crée une anisotropie ("alignement") de son moment cinétique, qui se traduit par une population inégale des différents sous-niveaux Zeeman, et l'apparition éventuelle de cohérences. Cette polarisation peut être modifiée par un champ magnétique faible (c'est l'effet Hanle), mais aussi par le champ de vitesse de la matière rayonnante, qui déplace le profil d'absorption en fréquence et modifie ainsi l'anisotropie vue par le diffuseur. Lorsque le photon est réémis, cet "alignement" éventuellement modifié lui est transféré: ainsi le rayonnement émis par cet atome ou cette molécule est lui aussi polarisé, et l'analyse de cette polarisation et la modélisation de la formation de la raie permettent d'effectuer le diagnostic des grandeurs auxquelles la polarisation est sensible: champ magnétique, champ de vitesse, densités (via l'effet dépolarisant des collisions). Ainsi, la polarisation est un outil du diagnostic des grandeurs vectorielles et/ou anisotropes.

Durant ces deux dernières années, notre effort s'est porté plus particulièrement sur le calcul semi-classique et quantique de taux de collisions dépolarisantes, et sur leur utilisation dans l'interprétation d'observations menées également par notre équipe, pour la détermination du champ magnétique solaire des régions calmes. Deux thèses ont été soutenues dans ce domaine. Notre équipe s'est également spécialisée dans l'analyse d'observations polarimétriques: ainsi, la première carte de champ vectoriel observé par le télescope THEMIS a été obtenue, avec une des meilleures résolutions spatiales au monde pour le champ transverse, qui est encore très mal connu. Les travaux sur l'interprétation de la polarisation coronale mesurée par rotation du satellite SOHO, qui avaient conduit en 2000 à l'estimation du champ magnétique et du champ de vitesse d'ensemble, ont été complétés pour affiner le diagnostic. De nouvelles raies ont été traitées (Na I D2) pour le calcul de la polarisation par impact en vue de l'interprétation des observations polarimétriques des éruptions. Enfin, un objectif non-solaire a été abordé: Jupiter, où la géométrie est de rétrodiffusion.

#### ***3.1.3.2 Collisions dépolarisantes : théories quantique et semi classique, calcul des taux, interprétation d'observations du "second spectre"***

Le "second spectre solaire" ou spectre de la polarisation est produit par diffusion partiellement anisotrope des atomes ou molécules, puis dépolarisé par collisions isotropes avec les particules du milieu et par le champ magnétique. Le diagnostic final obtenu à partir des observations nécessite un bilan global donc la connaissance de tous ces processus. Parmi ceux-ci, la dépolarisation collisionnelle par les atomes d'hydrogène est le processus le plus mal connu car son calcul nécessite de connaître les potentiels d'interaction électrostatique mis en jeu lors de la collision.

Les calculs ab initio de chimie quantique et les calculs quantiques des taux de collisions dépolarisantes et de transfert de polarisation ont concerné les raies de résonance du sodium (Kerkeni 2002) et des alcalino-terreux (neutres et ions, Kerkeni et al 2003). Dans le cas particulier du sodium, la structure hyperfine a été introduite suivant la méthode décrite par Kerkeni et al. 2000. En comparant les taux obtenus aux taux d'absorption et d'émission spontanée, il a été montré que la dépolarisation du fondamental intervenait dès que la densité

des atomes d'hydrogène était supérieure à  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$ , alors que les états excités ne sont dépolarisés que pour des densités supérieures à  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . Ce résultat, confirmé par un bilan global incluant l'effet Hanle (Kerkeni, Bommier 2002), pose le problème de la hauteur de formation des raies du sodium observées au bord solaire ( Kerkeni, thèse 2002).

Le calcul de taux de collisions dépolarisantes et de transfert de polarisation, par collisions avec les atomes neutres, a été effectué en généralisant au cas de la dépolarisation la méthode semi-classique développée pour l'élargissement des raies par Anstee & O'Mara (1991, 1995). La méthode a été validée par comparaison avec les résultats quantiques et un accord meilleur que 20% a été trouvé dans tous les cas sauf un encore en cours d'investigation. L'intérêt de cette méthode est qu'elle est généralisable aux atomes lourds ou complexes très présents dans l'atmosphère solaire par exemple. Les cas des états  $p$ ,  $d$  et  $f$  et aussi des ions ont été traités, des tables ont été fournies pour tous les atomes simples (Derouich et al., 2003a, 2003b, 2004a, 2004b, Derouich thèse 2004).

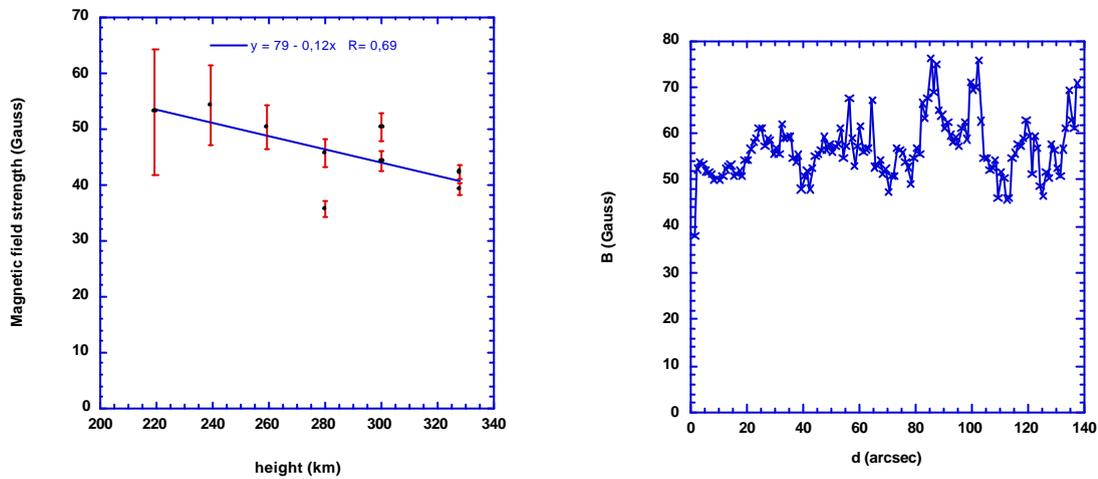


Figure: Intensité du champ magnétique turbulent déterminé par interprétation de l'effet Hanle qui, en compétition avec les collisions dépolarisantes, dépolarise les raies formées par diffusion au bord du disque solaire. A gauche: données de THEMIS, en fonction de la profondeur dans l'atmosphère (hauteur au-dessus du niveau  $\tau_{5000} = 1$ ). A droite: données du Pic-du-Midi, en fonction de la distance au bord qui correspond à peu près aux mêmes profondeurs que celles de la figure de gauche. Le champ magnétique est dit "turbulent" (i.e. de direction non résolue) car on n'observe pas de rotation du plan de polarisation.

Ces taux ont été introduits dans un code de transfert de rayonnement polarisé (développé selon la méthode décrite dans Landi Degl'Innocenti et al., 1990), les profils théoriques ont été comparés aux profils observés avec THEMIS par V. Bommier et G. Molodij en décembre 2002. La technique d'observations et le traitement des données sont décrits dans Bommier & Molodij (2002). De nouvelles données, mieux résolues spatialement, ont été obtenues en octobre 2003 au spectro-tourelle du Pic-du-Midi par J.M. Malherbe, leur interprétation est en cours.

### ***3.1.3.3 Polarisation par impact : diagnostic de faisceaux de protons présents dans la chromosphère solaire lors des éruptions***

Les caractéristiques des particules non-thermiques – électrons et protons – accélérées lors des éruptions solaires et bombardant la chromosphère solaire sont encore mal connues. Ces particules produisent par collision avec les atomes de la chromosphère l'émission de raies linéairement polarisées. L'orientation de cette polarisation linéaire ainsi

que le degré de polarisation dépend des distributions angulaires des particules, de leur énergie et de leur flux.

Les protons ont au niveau de la chromosphère une énergie de l'ordre de 1 à quelques 100 keV. Dans ce domaine d'énergie, l'excitation avec échange de charge doit être considérée. Des calculs effectués sur la raie H $\alpha$  de l'hydrogène ont montré que le double échange de charge modifie de 20% la polarisation théorique. Nous avons également montré que la polarisation à 90° de la raie D2 du sodium (collaboration avec A. Dubois) change de signe à des énergies de l'ordre de 5 keV alors que ce changement de signe intervient vers 100 keV pour la raie H $\alpha$  (voir figure). La comparaison du signe de la polarisation observée dans ces deux raies (observations THEMIS, collaboration J.C. Hénoux) doit fournir des informations sur la distribution en énergie des faisceaux de protons. Les travaux en cours concernent la raie H $\beta$ , également observée par THEMIS. L'analyse de la forme des raies élargies par échange de charge devrait aussi donner des indications sur l'énergie des protons.

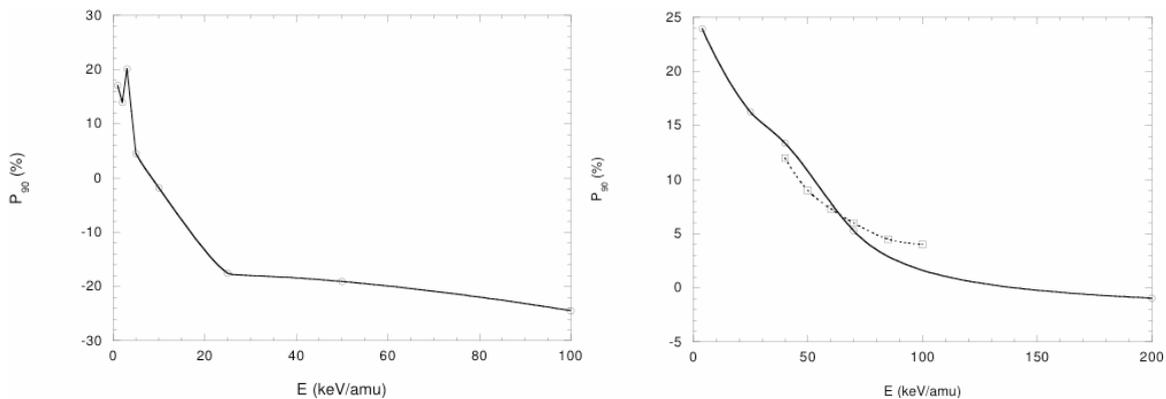


Figure : A gauche, polarisation théorique de Na D<sub>2</sub> (Balança et Dubois, ASP Conf Ser., 236, 2001) et à droite, polarisation théorique (trait plein) et expérimentale (trait pointillé Werner & Schartner 1996) de H $\alpha$  en fonction de l'énergie des protons incidents.

### **3.1.3.4 Première carte de champ magnétique vectoriel obtenue avec THEMIS**

Les techniques de polarimétrie et de traitement des données décrites dans Bommier & Rayrole (2002), et Bommier & Molodij (2002) ont été appliquées aux cartes de champ magnétique, ce qui a permis le tracé de la première carte de champ vectoriel avec THEMIS le 7 décembre 2003. L'objectif de cette carte était l'étude vectorielle des lignes neutres (sous les filaments) et de leur voisinage, et la fourniture de données vectorielles pour l'extrapolation des champs magnétiques dans la couronne solaire et dans les protubérances.

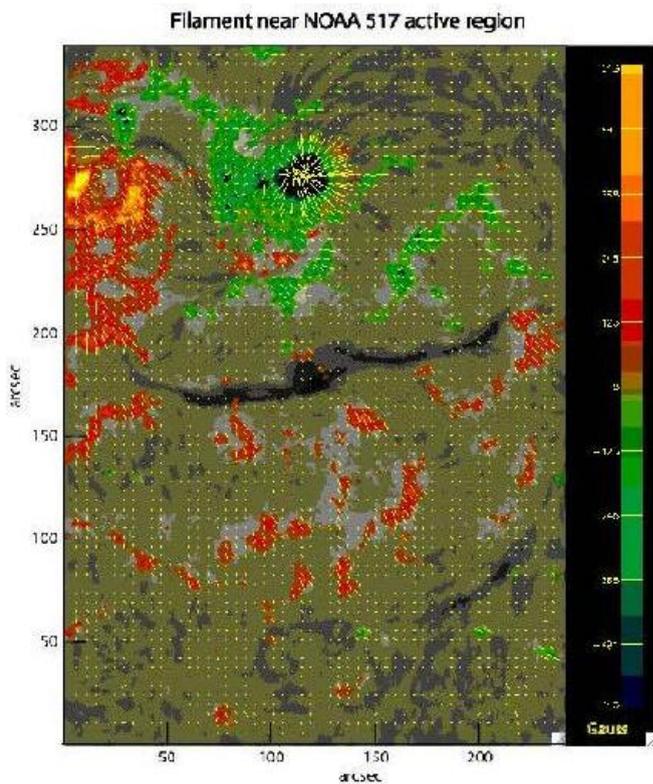


Figure: Première carte de champ magnétique vectoriel obtenue avec THEMIS, en analysant l'effet Zeeman de la raie photosphérique Fe I 6302.5 Å. Cette carte, qui comprend une tache en haut, décrit le champ de part et d'autre du filament visible dans l'image H $\alpha$  (fond de la carte). Deux résultats apparaissent: 1) la forte corrélation entre le champ longitudinal, ou vertical (couleur), et le champ transverse, ou horizontal (tirets), ce qui a pour conséquence que le vecteur champ est incliné; 2) l'homogénéité des directions du champ transverse dans la région du filament.

### 3.1.3.5 Vecteurs champ magnétique et champ de vitesse dans la Couronne Solaire

La rotation du satellite SOHO le 19 mars 1996 a permis de mesurer la polarisation linéaire de la raie O VI 1032 Å visible dans la Couronne solaire. Cette polarisation est formée par diffusion, et l'interprétation du Doppler dimming généralisé à la polarisation, et de l'effet Hanle, a permis à Nour-Eddine Raouafi de déterminer un ordre de grandeur du champ magnétique dans la couronne, et du champ de vitesse d'ensemble (Raouafi et al., 2002a)). Ce travail s'est poursuivi en collaboration avec N.E. Raouafi (postdoc auprès de S. Solanki, MPI, Lindau). Le rapport d'intensité des deux raies du doublet a été introduit comme contrainte supplémentaire du diagnostic (Raouafi et al, 2002b). Nous étudions actuellement les conditions de validité de la méthode en dehors des trous coronaux.

### 3.1.3.6 Effet Hanle de la raie Ly $\alpha$ de l'hydrogène diffusée par l'atmosphère de Jupiter

Le stage de Jean Jossang, en codirection avec L. Ben-Jaffel a porté sur l'effet Hanle de la raie Ly $\alpha$  de l'hydrogène retrodiffusée par l'atmosphère de Jupiter. Dans une telle géométrie de rétrodiffusion, l'effet du champ magnétique est polarisant et non plus dépolarisant comme dans la diffusion à 90°. Il s'agissait d'une évaluation théorique du taux de polarisation linéaire attendu, en préparation de l'expérience CNES/NASA de fusée-sonde INSPIRE embarquant un polarimètre. Le taux de polarisation calculé dans l'hypothèse optiquement mince (1-2%) a été trouvé supérieur à la sensibilité du polarimètre, après intégration sur un modèle de champ magnétique, ce qui permet d'envisager positivement sa mesure sur cette expérience.

### **3.1.4 Bases de données atomiques et moléculaires**

MOLAT ( <http://molat.obspm.fr/> ) est un projet commun à plusieurs départements de l'Observatoire de Paris, soutenu par le Conseil Scientifique de l'Observatoire. Son objectif est de rendre accessibles des données atomiques et moléculaires. Les données expérimentales consistent principalement en des données spectroscopiques dans l'ultraviolet du vide obtenues par les groupes de Meudon et Cergy. Les données théoriques contiennent des résultats de calculs de différents groupes de l'Observatoire. Les compilations bibliographiques sont maintenues par des membres de l'Observatoire. La base inclut également une sélection de liens utiles vers d'autres bases de données atomiques et moléculaires et sert ainsi de portail entre les astrophysiciens et les physiciens du domaine atomique et moléculaire.

Sont déjà disponibles sur le site :

- *des spectres VUV de petites molécules* (sections efficaces, longueur d'onde, énergies des niveaux): atlas du spectre d'émission VUV de H<sub>2</sub>, probabilités en émission des raies de H<sub>2</sub> et D<sub>2</sub> (B-X, C-X, B'-X, D-X bands), spectre d'absorption de CO et ses isotopomères, l'atlas des transitions intersystèmes de CO, tables des systèmes de bandes VUV de N<sub>2</sub>
- *des données collisionnelles*: données radiatives et collisionnelles des ions Ne-like, les tables de paramètres STARK (tables de GRIEM)
- *des compilations et données bibliographiques*: compilation de références moléculaires (Crovisier), une bibliographie sur les paramètres Stark des raies atomiques.

BASECOL ( <http://basecol.obs-besancon.fr> et <http://boum.obspm.fr/basecol> ) est une base bibliographique et numérique (installée à Besançon mais dont Marie-Lise Dubernet est le P.I.) focalisée sur les systèmes d'intérêt astrophysique. Elle contient les constantes de vitesse d'excitation ro-vibrationnelle et rotationnelle de molécules par des atomes, ions, molécules et électrons, les fits de ces données, la chaîne des erreurs sur toutes les données et des recommandations sur la qualité des données. Elle fait partie d'un effort européen pour la préparation scientifique de Herschel et ALMA. Un groupe international de producteurs et d'utilisateurs de données a été constitué afin d'assurer la qualité et la continuité de la base.

Un projet en cours concerne *l'intégration des bases de données atomiques et moléculaires aux projets d'Observatoires virtuels*. Notre projet est double : créer un point d'entrée ou portail, faisant partie d'un réseau français sur les bases de Physique Atomique et Moléculaire et mettre nos bases de physique aux standards VO. Actuellement nous avons commencé à travailler sur les mots clés standardisés qui permettront d'accéder aux données (UCD), et nous projetons de réunir au niveau français les initiatives similaires.

### **3.1.5 Prospective 2006-2009**

Notre expertise va de la théorie, à l'aide des logiciels de calcul formel, à l'expérience, avec le spectrographe VUV de 10m qui conserve une fenêtre d'intérêt unique dans le VUV, en passant par le calcul de surfaces de potentiel, l'étude de la dynamique collisionnelle, la modélisation de la formation des raies, et le traitement de données d'observations. Notre implication dans des projets d'observations devrait s'accroître, notamment dans le cadre de coopérations pluridisciplinaires prévues dans le projet "Molecular Universe" (FP6). Notre prospective porte donc sur tous ces points, avec l'objectif d'appliquer, et de développer, s'il y a lieu, la physique atomique et moléculaire pour les conditions physiques, parfois extrêmes et souvent hors-équilibre, présentes dans l'univers, ce qui reste toujours un des horizons de notre travail.

Un des axes important de notre prospective concerne la préparation des projets Herschel et ALMA et notre engagement dans de nombreux "milestones" du projet européen

Molecular Universe qui doit s'achever en 2008. Les molécules choisies sont des traceurs de température et/ou densité des régions froides (nuages denses froids) ou chaudes (zones de chocs, enveloppes circumstellaires). Pour tous les systèmes déjà étudiés ( $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2\text{H}^+-\text{He}$ ,  $\text{SO}-\text{He}$ ) notre objectif est d'étendre aux hautes températures (environ 1000 K) les études de dynamique qui concernent actuellement les basses températures. Ceci va représenter un défi car il faudra introduire, en plus de la rotation, la vibration des espèces en présence. En ce qui concerne le système  $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2$  nous utiliserons la surface 9D complète calculée par Valiron *et al.* En parallèle, nous calculerons les coefficients d'élargissement et de déplacement de raies de  $\text{H}_2\text{O}$  par collision avec  $\text{H}_2$  entre 80K et 1000K, en vue d'application à l'étude des atmosphères planétaires. Pour le système  $\text{SO}-\text{He}$ , une nouvelle surface 3D sera calculée et utilisée pour les calculs d'excitation ro-vibrationnelle. Nous avons également le projet d'étudier d'autres systèmes tels que  $\text{SO}+\text{H}_2$ ,  $\text{SiO}+\text{He}$ ,  $\text{SO}_2+\text{He}/\text{H}_2$ . À toutes ces études de physique moléculaire seront associées, dans le cadre de collaborations et d'une thèse en cotutelle avec J. Cernicharo, des études de transfert de rayonnement en liaison avec des observations menées à l'IRAM.

L'étude de la réactivité des molécules constitue un autre axe fort parmi nos projets. Il s'agit tout d'abord de la réactivité en phase gazeuse pour laquelle des développements de méthodes théoriques sont nécessaires, tant sur l'optimisation du calcul des surfaces de potentiel que sur la représentation analytique de ces surfaces et la prise en compte des effets de structure fine des réactants ou des produits et des éventuels couplages non-adiabatiques. Il s'agit d'un vaste projet, très difficile à mettre en oeuvre et à la pointe des recherches actuelles dans le domaine. Dans une perspective un peu plus lointaine, nous souhaitons aussi mener des modélisations théoriques du processus de formation de molécules sur des surfaces solides d'intérêt astrophysique. Ces études seront développées en appui de l'expérience FORMOLISM en cours de réalisation au LERMA (Cergy).

À côté des études de chimie quantique, et validées par comparaison avec celles-ci, se développent des méthodes semi-classiques plus légères permettant d'atteindre une variété d'objectifs comme les atomes complexes mentionnés plus haut. Un objectif encore très prospectif est de développer ce type de méthodes, qui n'ont été appliquées qu'aux atomes, en physique moléculaire. Par exemple, il ne sera possible d'interpréter les raies moléculaires du "second spectre" solaire que si les taux de collisions dépolarisantes sont connus, en particulier dans les états excités, ce qui est loin d'être le cas. Les méthodes de chimie quantique abordent également ce sujet: le travail qui démarre actuellement concerne la dépolarisation de la molécule  $\text{MgH}$  par collision avec des atomes d'hydrogène. D'autre part, un développement de la théorie et du code semi-classique de collisions électroniques dans un milieu non maxwellien (donc hors équilibre), avec comme première application les ions du vent solaire, est envisagée.

Nous poursuivons également l'étude de la dynamique collisionnelle en présence de rayonnement, avec une expertise en théorie, observations et modélisation de la formation des raies quasi moléculaires observées par IUE, HST et FUSE. Après une extension récente aux naines brunes et aux planètes géantes, les perspectives de cette étude concernent l'investigation des atmosphères d'objets substellaires (planètes extrasolaires de type jovien et tellurique).

Quant aux études expérimentales qui sont aussi un des pôles d'activité de notre laboratoire, l'intérêt astrophysique du spectrographe de 10m apparaît clairement lorsque l'on sait que cet équipement est le seul qui permette de couvrir expérimentalement le domaine de longueur d'onde 500-3000 Å et de produire les spectres d'émission VUV d'ions plus d'une fois ionisés, via les sources pulsées. Les écrans au phosphore à réponse linéaire en intensité susceptibles de remplacer les plaques photographiques menacées de disparition offrent des nouvelles perspectives non seulement pour l'enregistrement des spectres mais également pour

la mesure d'intensité des raies. L'étude des ions plusieurs fois chargés du groupe du fer et du platine, dont la présence a été détectée dans des étoiles chimiquement particulières par HST, est un lien (pour le fer) avec les projets théoriques internationaux OPACITY et IRON de calcul de sections efficaces de photoionisation et d'excitation collisionnelle. Nous commençons également l'étude expérimentale des lanthanides deux et trois fois ionisés dont les spectres sont encore très mal connus (Nd III, Eu III, Tm III). Toujours pour les ions multichargés, après avoir développé le formalisme d'élargissement et de déplacement des raies d'ions multichargés par collisions électroniques, nous développons les codes quantiques associés.

L'étude de l'hydrogène et de ses dérivés mobilise également les travaux expérimentaux: après le spectre de H<sub>2</sub>, nous nous tournons vers les isotopes deutérés HD et D<sub>2</sub> présents dans le milieu interstellaire. D'autre part, un travail commencé au LURE sur la spectroscopie d'absorption de CO et de ses isotopes, sera repris et étendu avec la nouvelle source de rayonnement synchrotron SOLEIL, en liaison avec les nouveaux besoins liés aux observations FUSE. D'autre part, dans le prolongement de notre projet EXPOSE, nous allons étudier la possibilité de simuler les effets de rayons cosmiques sur nos échantillons, en utilisant des faisceaux de protons, à Aarhus notamment.

Nous allons poursuivre nos travaux sur la spectroscopie et la photophysique des fullerènes et de leurs dérivés, dans le cadre du réseau Européen «WONDERFULL» (2002-2006), avec en perspective de possibles applications à la biologie (thérapie photodynamique) et à l'astrophysique (recherche de fullerènes dans divers milieux astrophysiques).

Le rayonnement synchrotron nous permet également d'étudier les spectres d'absorption, de fluorescence, d'excitation de la fluorescence ainsi que le rendement d'ionisation des molécules prébiotiques. Les résultats permettent de déterminer les sites astrophysiques pour l'observation de molécules prébiotiques, des acides aminés et des nucléobases et d'évaluer le rôle potentiel, dans la chimie de l'origine de la vie terrestre, de molécules présentes en milieu interstellaire, cométaire et météoritique. De façon complémentaire, nous avons le projet d'étudier les états de Rydberg de l'acide formique et de ses isotopologues (molécule prébiotique), avec le spectrographe VUV de 10m.

Les études liées à la polarimétrie et au diagnostic des grandeurs vectorielles comme le champ magnétique ou la vitesse d'ensemble sont maintenant développées au laboratoire sur le plan théorique, modélisation (transfert de rayonnement), observations et traitement des données. Ces études vont se poursuivre sur la caractérisation de l'activité solaire, avec THEMIS et le Pic-du-Midi: cartes de champ vectoriel pour l'extrapolation des champs magnétiques, protubérances, éruptions (avec l'observation THEMIS de nouvelles raies, les raies D du sodium et l'extension des calculs d'excitation collisionnelle incluant l'échange de charge, nécessaires à l'interprétation d'observations de la polarisation de raies atomiques émises lors des éruptions solaires), "second spectre" solaire (avec l'effet Hanle différentiel, en particulier dans les raies moléculaires, pour la mesure des champs magnétiques faibles), dans la perspective de la préparation à ALMA qui mesurera également la polarisation dans les raies.

Enfin, nous développerons notre base de données MOLAT (<http://molat.obspm.fr>) en collaboration avec d'autres départements de l'Observatoire de Paris, avec l'objectif d'y intégrer le standard VO.

Certains des projets présentés ci-dessus sont très ambitieux et leur durée dépassera certainement la période 2006-2009. Ils nécessiteront un investissement humain important, et ne pourront se réaliser sans nouveaux recrutements, compte tenu de plusieurs départs à la retraite de chercheurs de l'équipe.

### **3.2 REACTIVITE CHIMIQUE HETEROGENE**

Le thème de recherche "Réactivité chimique hétérogène" comprend:

**4 personnels de recherche permanents (astronomes, chercheurs CNRS, enseignants-chercheurs):**

J.L. Lemaire  
J.H. Fillion (Délégation CNRS 2001-2004)  
F. Dulieu (CRCT 2004)  
H. Momeni (depuis 2004)

**2 ATER**

F. Le Petit (2002)  
H. Momeni (2002, 2003)

**4 Étudiants:**

L. Vannier (thèse soutenue en 2001)  
S. Baouche (soutenance de thèse en octobre 2004)  
L. Amiaud  
G. Callejo (soutenance de thèse en décembre 2004)

**Ingénieurs et techniciens:**

E. Somson (depuis 2002)  
S. Diana (depuis 2003)  
T. Amori (depuis 2004)

**Principales collaborations:**

Université d'Odense (Dk): Pr. Luntz, Pr A. Baurichter, Pr V. Petrunov, Dr L. Hornekaer  
Université d'Aarhus (Dk): Pr. D. Field  
Université de Catania (I): Pr V. Pirronello & Syracuse University (E-U): Pr G. Vidali  
Université de Cergy-Pontoise: Pr. K. Hricovini, Dr O. Heckman  
Université de Dalian (Chine): Pr Xue Feng Yang, Pr Jia Liang Zhang  
CSIC Madrid (Espagne): Marta Castillejo  
Université de Malaga (Espagne): Pr Javier Ruiz  
University of Toledo and NASA contract (E-U): Steve Federman, Yaron Sheffer  
Freie Universität Berlin: Pr R Baumgärtel, HW Jochims  
Université de Créteil: M Schwell  
CfA Harvard (E-U): Tyler Bourke

**Moyens utilisés**

Expérience FORMOLISM  
Instrumentation Laser VUV  
Synchrotron LURE  
VLT, CFHT

**Programmes Nationaux**

PCMI

**PPF**

Milieu Interstellaire

**Points forts de la période 2001-2004**

\* Formation d'hydrogène moléculaire et de petites molécules sur des surfaces d'intérêt astrophysique à très basse température (FORMOLISM).

Les objectifs que nous nous étions fixés dans le contrat quadriennal précédent apparaissent parfaitement remplis. L'expérience semi-lourde FORMOLISM, proposée dans le cadre d'un projet SESAME (Conseil Régional d'Ile de France) et soutenue par l'Observatoire de Paris, l'Université de Cergy-Pontoise et le CNRS (via le programme PCMI) a été construite ex nihilo au cours de ces 4 dernières années. Elle est maintenant complètement opérationnelle et la majeure partie de ses nombreuses composantes a été installée et testée. Elle a produit en 2004 ses premiers résultats scientifiques.

Un effet de ségrégation isotopique de la molécule d'hydrogène a été observé sur une surface de glace d'eau amorphe. Cet effet pourrait avoir des conséquences extrêmement importantes sur la physico-chimie du milieu interstellaire en général et des nuages denses en particulier.

Les champs d'investigation ouverts par cette expérience sur les différents analogues de grains interstellaires (matériau sec ou recouvert d'un manteau de glaces) sont extrêmement vastes.

**Thèses soutenues pendant la période 2001-2004**

Laurence Vannier (Février 2001)  
Saoud Baouche (Octobre 2004)  
Gonzague Callejo (Décembre 2004)

**HDR soutenue pendant la période 2001-2004**

Jean-Hugues Fillion (Décembre 2004)

### **3.2.1 Contexte astrophysique**

La molécule d'hydrogène, de par son abondance, est la molécule clé de toute la physico-chimie interstellaire.  $H_2$  intervient dans tous les réseaux complexes de réactions chimiques entre éléments. C'est donc le précurseur de la formation de toutes les autres molécules. Le taux de formation de  $H_2$  dans le milieu interstellaire ne peut être expliqué par les seules réactions en phase gazeuse. L'un des processus fondamentaux, maintenant couramment admis (Black & Dalgarno 1976, Duley & Williams 1984), d'une part pour expliquer l'émission IR de l'hydrogène moléculaire par le MIS et d'autre part pour modéliser correctement son bilan énergétique, est sa formation dans un état excité du fondamental par différents mécanismes de chimie hétérogène conduisant à la recombinaison d'atomes d'hydrogène à la surface des grains (ou de la poussière) interstellaires qui agissent comme catalyseur de la réaction  $H+H$  (Gould & al 1963). Les processus de formation de  $H_2$  par recombinaison d'atomes H sur des surfaces à très basse température ainsi que leur bilan énergétique détaillé sont encore très mal connus, tant par l'expérience que par l'observation ou par la théorie et la simulation, dans la grande variété de conditions physiques (T, p et flux UV) qui existent dans les différents types de milieux interstellaires (nuages diffus, nuages sombres, nuages moléculaires, enveloppes circumstellaires, régions HII compactes). Pourtant les données physico-chimiques concernant ces processus de formation sont indispensables à l'élaboration de modèles du milieu interstellaire réalistes, qu'il s'agisse de la formation moléculaire uniquement ou de modèles plus complexes comme les PDR – région de photodissociation – ou de divers modèles de chocs – C ou J – pour lesquels les taux relatifs de formation et de destruction sont de première importance. Leur fiabilité, notamment en ce qui concerne le bilan énergétique du MIS en général et des régions de formation stellaire en particulier, en est étroitement dépendante. Les mécanismes de formation moléculaire ne sont actuellement pris en compte dans les modèles que de façon purement phénoménologique. Les paramètres physiques qui gouvernent les mécanismes de formation par catalyse hétérogène exothermique à la surface des grains interstellaires (poussières solides ou couvertes de glaces) souffrent en effet d'un manque crucial de données expérimentales. Ce programme d'astrophysique de laboratoire est reconnu d'un très grand intérêt par la communauté astrophysique puisqu'il permettra, concernant  $H_2$  le principal composant du milieu interstellaire et HD, de préciser et d'améliorer la connaissance du bilan énergétique du milieu interstellaire.

### **3.2.2 Situation générale du programme**

L'expérience FORMOLISM de formation de molécules à la surface des grains interstellaires représente une évolution prioritaire des moyens expérimentaux du LERMA en physique atomique et moléculaire.

Ce programme a été lancé fin 2000 grâce à la collecte d'un important financement (notamment d'un contrat d'équipement SESAME soutenu par le Conseil Général d'Ile de France) nécessité par l'alliance indispensable des techniques de la physique des surfaces et de la physique moléculaire. Nous l'avons abordé dès le début dans le cadre de coopérations internationales étroite (Odense Dk) ou proches (Catania It., Syracuse USA ainsi que Londres GB) d'une part afin d'introduire les membres de l'équipe aux techniques de la physique des surfaces qui ne nous étaient pas familières et d'autre part afin de participer de façon réciproque à des projets complémentaires.

Il ouvre également des perspectives pour l'étude de la formation d'autres molécules légères (prébiotiques notamment) sur des surfaces couvertes de glaces et soumises à une irradiation VUV. De telles molécules sont également observées dans le milieu interstellaire.

Il s'agit d'un programme de physique fondamentale à l'interface entre la Physique et l'Astrophysique. L'expérience s'intéresse, dans un premier temps, à la formation d'hydrogène moléculaire (par recombinaison d'atomes H et/ou D) ainsi que, ultérieurement, à la synthèse de petites molécules sur différents matériaux, amorphes ou cristallins, d'intérêt astrophysique, à très basse température. Ce projet est tout à fait fondamental pour la connaissance de la physico-chimie dans les milieux interstellaire et circumstellaire puisqu'il permettra une meilleure compréhension des processus de réactivité chimique hétérogène impliquant les nano-particules solides ou les glaces. Un tel programme est également d'intérêt pour des études de physico-chimie de l'environnement terrestre puisqu'il s'inscrit dans le contexte plus général de la chimie par catalyse hétérogène

Le principal résultat attendu de l'ensemble du dispositif expérimental est la mesure, avec résolution rovibrationnelle, de l'état d'énergie interne des molécules formées au fondamental, désorbées du substrat dans la phase gazeuse ainsi que celle de leur énergie translationnelle. Ce type d'expérience, avec résolution rovibrationnelle et translationnelle n'a, à notre connaissance, jamais encore été réellement réalisé malgré des tentatives prometteuses (Perry & Price 2003).

Le processus de formation de  $H_2$  est étudié dans des conditions aussi proches que possible de celles du milieu interstellaire notamment les conditions de température et d'ultra-vide. On s'intéresse plus particulièrement à l'influence des différents types de substrats, amorphes ou micro-cristallins, considérés comme analogues des grains ou de la poussière interstellaire et au rôle de nombreux paramètres structurels (porosité, présence de dislocations), physicochimiques (notamment selon la nature de la liaison avec la surface catalytique soit par physisorption ou interaction par forces de Van der Waals avec des énergies de liaison  $E \sim 10^2$  K ou soit par chimisorption c'est-à-dire par interaction des nuages électroniques, faible  $E \sim 10^3$  K ou forte  $E \sim 10^4$  K), chimiques (activité ou passivité chimique du matériau) et physiques (notamment la mobilité en volume ou surface des atomes adsorbés).

De nombreux substrats sont candidats à l'étude, tels les Silicates (dont l'Olivine  $Mg_xFe_{2-x}SiO_4$ ), les Graphites ( $r < 20$  nm, l'élément le plus actif pour former  $H_2$ ), les PAHs (dont une partie de l'équipe est spécialiste), le Carbone amorphe (catalyseur actif avec de nombreuses liaisons C pendantes), les grains à manteau glacé (tels qu'ils peuvent être formés en milieu protégé du rayonnement UV, avec accréation notamment de CO,  $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$  ou  $N_2$ ), les grains à manteau organique réfractaire (résultant de l'action de l'UV sur les grains précédents et qui sont destructibles seulement par les chocs) ou enfin SiC ou MgS.

### **3.2.3 Développements instrumentaux**

#### **3.2.3.1 Contexte international**

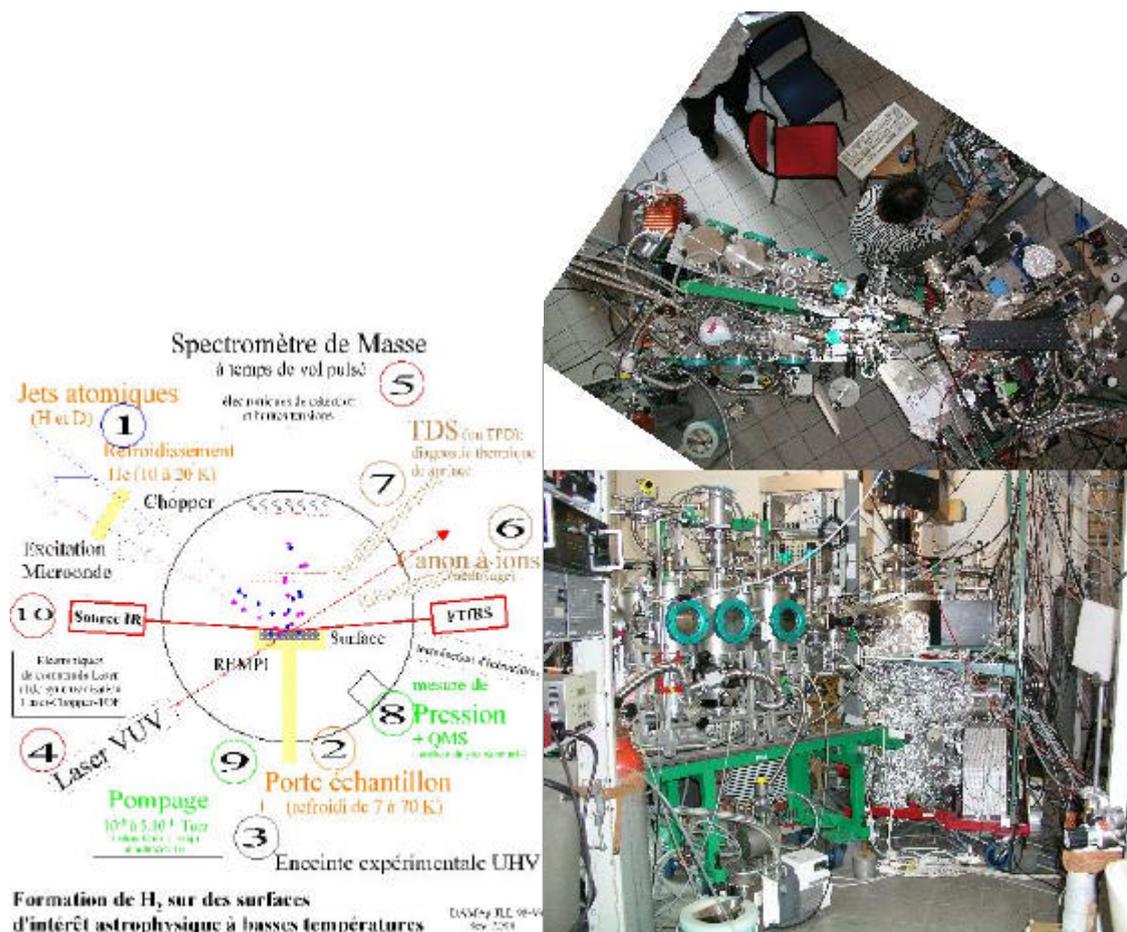
Si un certain nombre d'études de physique du solide, de chimie de la catalyse ou de l'interface gaz-surface ont porté dans le passé sur des surfaces bien définies et bien caractérisées, très peu d'expériences encore sont consacrées à une étude exhaustive de la formation de molécules sur les solides "sales" de l'astrophysique, la nature et les caractéristiques des grains (structure, activité chimique) étant toujours sujettes à caution. La synthèse en laboratoire d'hydrogène moléculaire sur des surfaces d'intérêt astrophysique est illustrée par des résultats expérimentaux partiels obtenus principalement par 3 équipes: Rendulic & Winkler à Graz (Rendulic 1992) et Pironnello, Vidali et al. à Syracuse (USA) (Vidali et al 1998, 2001 qui incluent d'autres références) ainsi que Gough et al (1996). Les résultats de Pironnello, orientés vers les problèmes de l'astrophysique, concernent l'efficacité globale de recombinaison (produit du coefficient de collage par le taux de recombinaison) de 2 jets atomiques de H et D pour former HD. Une quatrième équipe (UCL Londres sous la direction de D.E. Williams et D.A. Williams) s'intéresse depuis deux ans au problème, et a

présenté récemment des résultats encourageants mais très préliminaires sur la formation de  $H_2$  sur du Graphite HOP (Perry & Price 2003). Des résultats partiels récents, toujours obtenus par la méthode TPD, de l'équipe Pironnello, Vidali (Roser et al. 2002, 2003) ont porté sur la formation de molécules sur la glace amorphe. L'équipe danoise d'Odense a également récemment produit des résultats sur différents types de glace d'eau (Hornaeker et al. 2003). Une confirmation de l'intérêt porté aux glaces (McCoustra à Nottingham et Fraser à Leiden) est donnée par le programme du workshop international "Solid State Chemistry in Star Forming Regions" qui a eu lieu en Avril 2003 à Leiden, et auquel notre équipe a été invitée à qualité à présenter ses travaux.

### 3.2.3.2 Développements instrumentaux et tests de qualification:

Le dispositif expérimental destiné à cette étude a été construit durant le plan quadriennal 2001-2005. Le dernier et principal élément, la chaîne de lasers destinée à fournir le rayonnement UV nécessaire au diagnostic REMPI des molécules formées, n'est pas encore totalement opérationnel en Juillet 2004 malgré les nombreuses et longues interventions du constructeur Quantel. Les premiers résultats de détection d'états ro-vibrationnels de  $H_2$  et  $D_2$  doivent être confirmés.

Il est à noter qu'il s'agit certes d'une expérience ambitieuse, quant à son coût notamment, qui résulte en fait de l'assemblage d'un certain nombre de techniques, parfois délicates, mais qui ont toutes été déjà réalisées dans des expériences plus simples.



Le schéma synoptique de l'expérience montre les différentes composantes. Il s'agit d'étudier la réaction de recombinaison d'un atome H (ou D) émis par un jet de gaz refroidi à 10-20K avec un atome H (ou D) adsorbé sur une surface froide (6 à 50 K) en fonction de différents paramètres des réactants et de la surface (ou substrat). On pourra jouer plus

particulièrement sur les paramètres suivants : - énergie cinétique des réactants, - couverture de la surface et densité des réactants, - préparation de la surface, - paramètres physico-chimiques de la surface. L'expérience fait appel au laser UV pour effectuer le diagnostic REMPI de la distribution d'énergie ro-vibrationnelle du produit H<sub>2</sub> (ou D<sub>2</sub> ou HD) formé dans un état excité du fondamental et au TPD ou TDS (Thermally Programmed Desorption ou Thermal Desorption Spectroscopy) mesuré grâce à un QMS (Quadrupole Mass Spectrometer).

Le plan de recherche et le calendrier initialement fixés ont été tenus puisque nous avons abordé courant 2004, comme annoncé, les expériences scientifiques proprement dites. Elles ont été précédées courant 2001-2004 par différentes phases d'assemblage et de tests finaux des différents éléments de l'expérience détaillés ci-après. Quelques modifications et évolutions ont été apportées au montage initial en fonction des besoins.

**a-** Assemblage de l'expérience et maîtrise de l'ultravide : l'étape d'assemblage nous a occupés jusqu'au début de 2002 et des tests partiels sur des éléments de l'ensemble ont été menés à bien pendant toute l'année 2002. Une première période de tests a concerné les dispositifs de pompage (pompage turbomoléculaire, ionique et à sublimation de titane) de l'enceinte ultravide, ainsi que des dispositifs logiciels de mesure et de régulation associés à l'étuvage contrôlé de celle-ci. Aujourd'hui nous maîtrisons les techniques de l'ultravide et l'enceinte est maintenue couramment à une pression de l'ordre de  $10^{-10}$  Torr, vide suffisamment "propre" et convenable pour nos expériences. La mesure et l'analyse des gaz résiduels est effectuée avec le QMS. Le couplage de la partie jet atomique à l'enceinte principale est assuré par un système de pompage différentiel à 3 étages qui fonctionne correctement assurant le passage de 0.5 Torr au niveau de la source à décharge micro-ondes jusqu'à environ  $2 \cdot 10^{-10}$  Torr dans l'enceinte d'expérience.

**b-** Les sources de H et D atomiques : elles sont inspirées principalement du travail de Walraven et al (Rev Sci Instr **53** 1167, 1982) qui ont étudié de façon extensive ce type de sources et l'ont comparé à des réalisations antérieures. Ce dispositif permet en principe d'atteindre une dissociation d'environ 90%. Un jet atomique de deutérium est opérationnel au laboratoire depuis juillet 2002 avec un taux de dissociation d'environ 85%. Il n'atteint que 65% pour l'hydrogène mais nous cherchons à améliorer ce résultat en jouant sur les différents paramètres (pression et débit massique). Dans ce but nous avons fait appel depuis le début de 2003 aux compétences du groupe Leprince et Rousseau du LPGP (Orsay) qui nous conseillent. Il est à noter que la mesure du taux de dissociation de l'hydrogène moléculaire est moins précise, en raison du taux d'impureté intrinsèque de ce gaz dans la chambre ultravide.

**c-** Le porte-échantillon refroidi : il est installé à l'extrémité d'un cryostat à circulation d'Hélium (ARS), lui-même monté sur un translateur z et mouvement x,y. Suite à une panne grave sur le système cryogénérateur qui a nécessité le retour de l'appareil aux EU et son immobilisation pour environ une année, nous en avons profité pour l'améliorer en y incluant la version 4.2K (au lieu de 6K minimum précédemment) ainsi qu'une interface 800K qui permet d'isoler le cryogénérateur (pour ne pas endommager son mécanisme interne) du porte-échantillon lorsqu'on souhaite chauffer ce dernier jusqu'à 800K. Nous disposons d'un ensemble de mesures locales de températures par thermocouples (de divers types), ou résistances de Pt ou diode Si, soit basses pour l'échantillon refroidi et la tête du cryogénérateur soit hautes pour l'échantillon chauffé et l'interface 800K, auxquelles il est nécessaire d'ajouter des mesures de compensation (notamment dues au connecteur de passage sous vide) de façon à effectuer les mesures les plus précises possibles. Cette étape qui a exigé un certain doigté expérimental a été maîtrisée vers fin 2003. Une partie des capteurs est également utilisée pour les régulations thermiques nécessaires au bon fonctionnement des mesures TPD à très basses températures, en relation avec un régulateur-thermomètre Lakeshore 340D.

**d-** Le QMS. Son rôle est triple : outre le test des gaz résiduels, il est utilisé soit pour la mesure du taux de dissociation des jets H et D (en le tournant dans l'axe des jets), soit pour les

mesures TPD de la surface. Ces fonctionnalités sont acquises en plaçant le QMS sur une plate-forme rotative sous ultravide ainsi qu'en modifiant sa tête d'ionisation pour qu'il puisse être traversé par les jets. Le montage du QMS sur une translation z permet de passer très rapidement du diagnostic TPD au diagnostic REMPI-TOF. Ces modifications, incluant son allongement et l'installation d'une électronique en mode comptage de photons en supplément du détecteur analogique Faraday, ont été réalisées avec succès courant 2003. Sa calibration pour obtenir des pressions partielles fiables est une étape qui exige beaucoup de soin. La faisabilité du diagnostic TPD a été démontrée précédemment dans les travaux de Pirronello, Vidali et al. Notons que ce diagnostic spectroscopique ne permet pas de distinguer les états quantiques ( $v', J'$ ).

**e-** Le dispositif de diagnostic des états quantiques de  $H_2$  (HD) rovibrationnellement excité au fondamental est constitué par un ensemble de lasers permettant de travailler dans l'UV autour de 200 nm par REMPI 2+1. Les ions formés par REMPI sont détectés par un spectromètre de masse à temps de vol (pulsé pour éviter l'impulsion de la lumière parasite du laser sur les galettes de micro-canaux). Un tel diagnostic a été mis en œuvre de longue date dans notre laboratoire (Thèse de D Malmasson 1994) et nous avons prouvé à l'époque la faisabilité d'un tel diagnostic effectué sur une simple source à H atomique obtenu par dissociation thermique de  $H_2$  sur un filament chauffé, ainsi que les seuils de sensibilité de la méthode.

La chaîne de lasers manque encore de fiabilité en Juillet 2004. Ce problème est vraisemblablement dû à des questions de refroidissement et de stabilité thermique du laser de pompe Nd et qui induit une défocalisation et un désalignement du faisceau de pompe dans les lasers à colorants. Après remontage des dispositifs d'UV tracking et de Pellin-Broca tracking, la chaîne a été testée en réalisant fin 2003 un premier diagnostic REMPI sur  $H_2$  et  $D_2$  à température ambiante et dans la gamme de longueurs d'onde à laquelle nous détecterons HD. Le spectromètre TOF qui détecte les ions a été achevé en 2003 par l'atelier de la SERT/GEPI à Meudon ; le précédent, construit il y a une dizaine d'années au laboratoire, était fait en matériaux trop "sales" pour une utilisation sous UHV. Des travaux annexes sont en cours pour l'améliorer en lui adjoignant une détection par imagerie ionique (financée grâce à une ACI "Jeunes Chercheurs" obtenue fin 2000) qui permettra, outre la mesure de l'énergie interne des molécules désorbées, la détermination de leur énergie translationnelle. L'optique électronique et la simulation des signaux d'imagerie ionique ont été étudiées grâce au logiciel SIMION. La réalisation, par l'atelier de la SERT/GEPI, vient d'être achevée et les premiers tests commenceront fin 2004 sur un montage annexe.

Notons que le diagnostic REMPI-TOF des molécules peut être effectué en même temps que l'arrosage de la surface par les jets atomiques pulsés, permettant ainsi la mesure de mécanismes de réaction rapides sur la surface, ce que ne permet pas le diagnostic TPD-QMS.

**f-** Dans le but d'étudier la formation sur des glaces ( $H_2O$  et CO principalement) nous avons acquis un Spectromètre Infrarouge à Transformée de Fourier rapide (10000-400  $cm^{-1}$ ) afin de caractériser et de contrôler par la technique RAIRS (spectroscopie infrarouge d'absorption par réflexion sous incidence rasante), en complément indispensable de la technique TPD, les dépôts de glace et leur évolution. Cette technique permet l'identification des molécules présentes dans l'adsorbat ( $CH_3OH$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $NH_3$  ...) par la présence de leurs fréquences vibrationnelles caractéristiques. Cet appareil compact est d'utilisation courante dans les laboratoires de chimie. Le système est complet, incluant un dessiccateur à air et un système de traitement des données comportant un logiciel spécifique. Le spectromètre IRTF a été installé au laboratoire et testé en mode autonome par le fabricant en juin 2004. Dans notre cas, l'analyse in situ d'échantillons placés sous ultra-vide nécessite deux adaptations optiques: un premier boîtier pour refocaliser le faisceau IR sur l'échantillon et un second pour reprendre le faisceau réfléchi sur le détecteur déporté, chacun de ces boîtiers devant être soit purgé d'air

soit sous vide. Il est prévu de financer et de réaliser ces adaptations dès le début du prochain quadriennal.

**g-** Il avait été prévu d'utiliser pour l'électronique associée au spectromètre de masse à temps de vol, élément au cœur de l'expérience, notre ancien (~15 ans d'âge) système d'intégrateur à trois portes (Boxcar de marque SRS) afin de détecter les signaux de H<sub>2</sub>, D<sub>2</sub> et HD. L'ensemble des 3 voies de ce système a subi récemment une avarie grave due à sa vétusté (ce qui a également entraîné la destruction partielle du boîtier NIM d'alimentation électrique) et son coût de réparation est prohibitif. Notre chaîne d'instrumentation complète comporte également un système d'acquisition analogique numérique et une série de logiciels maison. Nous avons obtenu le financement en juillet 2004 pour remplacer cet appareillage par un oscilloscope numérique rapide (combinaison d'oscilloscope et d'ordinateur en fait) qui inclut la totalité de la chaîne fonctionnelle qui nous est nécessaire: a) électronique d'acquisition rapide (permettant un fonctionnement en mode analogique comme en mode de comptage de photons) adaptée à l'acquisition de signaux créés par les pulses laser de 6 ns à la cadence de 20 Hz, b) fonctionnalités logicielles permettant, entre autres, l'enregistrement en temps réel de signaux de 1 Mpoints/canaux, l'obtention en temps réel de 4 voies Boxcar et le traitement en temps réel ou différé des signaux enregistrés grâce aux nombreuses fonctions numériques disponibles. Nous disposons ainsi très rapidement d'un outil plus fiable en nous affranchissant de la longue suite de logiciels élaborés au cours des ans et dont la portabilité sur les nouveaux ordinateurs (Xwindows et Carte Vidéo) devenait de plus en plus problématique.

### **3.2.3.3 Collaborations avec des laboratoires extérieurs**

Nous avons établi depuis 2001 des échanges scientifiques avec l'équipe de l'Université d'Odense (Pr Luntz et Baurichter), auprès de laquelle des membres de notre équipe ont effectué des séjours en 2002 et 2003, d'une part dans le cadre des programmes DRI du CNRS (pour les chercheurs sur poste) et d'autre part sur nos fonds propres pour les doctorants qui ne sont pas pris en charge par ces programmes. Il est à noter que par responsabilité vis-à-vis du doctorant (S Baouche) engagé sur notre expérience au montage de laquelle il a consacré une grande partie de son temps, il a été prévu pour lui plusieurs séjours d'une durée de 6 mois cumulée sur une expérience complémentaire de la nôtre où il est en bonne voie pour la participation à 2 publications.

Par ailleurs nous avons bénéficié, sur invitation pour un mois de l'Université de Cergy-Pontoise, de la visite de V Pirronello et de G Vidali. Bien que ces visites aient été un peu prématurées en 2001 par rapport à l'avancement de nos travaux, elles nous ont permis de faire un point complet sur notre expérience, à la lumière des développements récents dans le laboratoire de G Vidali. Nous avons également invité en 2002 le Dr Baurichter dans le cadre de nos relations bilatérales.

Enfin nous disposons dans notre laboratoire d'une grande expérience du laser VUV et des méthodes de production de ce rayonnement par les techniques de l'optique non linéaire, ainsi que des techniques de détection associées à l'excitation laser: LIF (Laser Induced Fluorescence), REMPI (Resonantly Enhanced Multi-Photon Ionization) et surtout de la spectroscopie de masse à temps de vol TOF-MS (Time Of Flight Mass Spectrometry).

### **3.2.4 Développements théoriques**

Notons que ces travaux expérimentaux ont suscité l'émergence de nombreux travaux de simulation théorique sur différents modèles : Masuda et al *Adv Spce Res* 19, 1019, 1997; Biham et al 1998; Parneix et al *A&A* 334, 363, 1998, Takahashi et al *MNRAS* 306, 22, 1999.

N'ayant actuellement ni les forces ni les compétences pour aborder ces problèmes sur un plan théorique, nous tentons de le faire dans le cadre de collaborations. Bien que notre

laboratoire ait été retenu en 2004, parmi 5 autres, pour un recrutement CR du CNRS sur un poste fléché de la section 17 (chimie) pour un profil pluridisciplinaire chimie+astrophysique, la candidate que nous soutenions, B Kerkeni, n'a pas été sélectionnée malgré l'excellence de son dossier. De par sa collaboration post-doc actuelle (depuis 2 ans) avec D. Clary à Oxford qui s'est déjà intéressé au sujet par le passé, elle dispose de tous les outils théoriques nécessaires au traitement d'un grand nombre de situations conduisant à la formation moléculaire par interaction d'atomes avec différents types de surface. Il est hautement souhaitable que nous puissions obtenir les moyens de commencer une collaboration avec B Kerkeni avant une nouvelle candidature CNRS.

### **3.2.5 Premiers résultats scientifiques**

Compte tenu de la grande diversité des formes amorphes et cristallines de la glace d'eau et de leur intérêt actuel, il nous a semblé intéressant de commencer notre programme scientifique dans cette voie. De plus, les mesures effectuées sur des surfaces couvertes d'un manteau de glaces ( $H_2O$ ,  $CO...$ ) sont en principe relativement plus simples à interpréter que celles menées sur des surfaces sèches. En effet, la couverture d'un solide par une glace est homogène et dès que quelques monocouches ont été déposées, le substrat et ses défauts de surface ne jouent plus aucun rôle.

Il s'agissait au départ de calibrer les résultats de notre expérience par rapport aux résultats obtenus récemment par Roser et al (ApJ 2002 et 2003) et Hornekaer et al (Nature 2003) en les confirmant et en les complétant grâce à notre appareillage qui possède des diagnostics plus complets (TPD + REMPI/TOF). Ces auteurs, qui utilisent uniquement un QMS pour la détection des molécules formées, ont effectué sur de la glace d'eau amorphe la mesure des taux et rendement de désorption en fonction de la température ainsi que du taux de désorption et de l'efficacité de recombinaison en fonction du temps et des séquences d'exposition aux jets atomiques. Leurs résultats nous donnent une base de comparaison ou de discussion. Si la majorité de nos premiers résultats concordent, quelques autres jettent des doutes sur certaines des mesures déjà publiées tandis que d'autres les complètent sur des aspects négligés ou non observés auparavant.

Jenniskens (1995) a montré que, dans le milieu interstellaire, les manteaux de glace d'eau observés sur les grains sont probablement le plus souvent amorphes et poreux. C'est le cas par exemple lorsque la glace est déposée depuis la phase vapeur, à basse pression et à une température inférieure à 80K. Maîtrisant maintenant nous-mêmes les processus thermiques de fabrication de glaces cristallisées comme celui des glaces poreuses de basse ou haute densité (ces dernières étant obtenues par cycle de recuit) nous avons abordé une première étape avec le diagnostic TDS de spectroscopie de désorption. Cette étape préliminaire a consisté à déposer des molécules  $H_2$ ,  $D_2$  ou HD sur des glaces de différentes morphologies et porosités afin de caractériser leur cinétique de désorption. Nos premiers résultats indiquent que les coefficients de collage et les énergies de liaison de ces molécules sur des glaces poreuses dépendent directement du taux de remplissage de celles-ci et indirectement de leur épaisseur. Les différences observées entre  $H_2$ ,  $D_2$  et HD sont par ailleurs suffisamment importantes pour nous permettre d'interpréter correctement les courbes de TPD obtenues lorsque la surface est maintenant exposée aux atomes H et/ou D. Ces mesures permettent de distinguer deux types de mécanismes qui régissent la recombinaison des atomes et qui dépendent fortement de la porosité de la glace. Les expériences de spectroscopie optique qui permettent d'accéder à l'énergie interne des molécules désorbées, viennent préciser l'existence et le détail de ces mécanismes (Amiaud et al, 2004a)

Grâce à une meilleure connaissance des phénomènes mis en jeu, notamment en ce qui concerne la fabrication de différents types de glace d'eau amorphe, nous avons observé entre 12 et 35K des effets isotopiques dans l'adsorption et la désorption de l'hydrogène, très

importants, qui n'avaient pas été remarqués précédemment. Ils mettent en évidence un processus de ségrégation isotopique efficace à la surface des grains recouverts de glace d'eau poreuse. Ce mécanisme pourrait jouer un rôle important pour expliquer l'enrichissement notable en espèces deutérées dans le milieu interstellaire (Amiaud et al, 2004b, Dulieu et al., soumis à *Science*)

Durant plus de 6 mois de séjour au Danemark, S. Baouche, doctorant, a pu participer partiellement au travail publié par Hornekaer et al 2003 ainsi qu'à un nouveau projet (collaboration germano-franco-danoise) devant conduire à deux publications sur la dynamique de la désorption associative d'atomes D chauds (2200K) chimisorbés sur du graphite (0001) HOPG (highly oriented pyrolytic graphite), à l'aide de la technique LAAD (Laser Assisted Associative Desorption). L'énergie cinétique (hyperthermique 1-2 eV), la distribution angulaire des molécules obtenues par cette technique et les effets isotopiques sont comparées à des calculs récents ab initio. L'interaction des molécules et atomes d'hydrogène avec des surfaces à base de carbone est d'un très grand intérêt, non seulement pour l'astrochimie ou l'astrobiologie mais aussi dans la recherche, pour des utilisations futures, d'un matériau léger de stockage de l'hydrogène (Baouche et al., 2004)

Saoud BAUCHE soutiendra sa thèse en Octobre 2004 sous le titre : "*Formation d'hydrogène moléculaire sur des surfaces d'intérêt astrophysique à basse température: premiers résultats sur des glaces d'eau à très basses température et le graphite à haute température*".

### **3.2.6 Prospective scientifique 2006-2009**

Les objectifs que nous nous étions fixés dans le contrat quadriennal précédent sont remplis, puisque l'expérience semi-lourde FORMOLISM proposée dans le cadre d'un projet SESAME et soutenue par l'Observatoire de Paris et l'Université de Cergy-Pontoise a été construite ex nihilo au cours de ces 4 dernières années. Elle est maintenant complètement opérationnelle, ses différentes et nombreuses composantes ont été testées et ses premiers résultats scientifiques ont été produits en 2004.

Les champs d'investigation ouverts par cette expérience sur les différents analogues de grains interstellaires (matériau sec ou recouvert d'un manteau de glaces) sont extrêmement vastes. Nos objectifs incluent la cinétique de la réactivité chimique hétérogène à très basse température et la détermination des états quantiques des produits de la réaction.

Nous nous intéresserons également à la formation des glaces d'eau elles-mêmes (observées dans de nombreux environnements astronomiques : comètes, nuages interstellaires denses, disques circumstellaires et régions de formation stellaire ...) qui sont vraisemblablement associées à des réactions de chimie hétérogène de H, O et OH à la surface des grains interstellaires. La compréhension des morphologies et structures des glaces d'eau en surface et dans la masse apparaît d'une importance capitale et encore mal connue. Sur d'autres glaces, on étudiera par exemple les réactions de H avec CO pour former  $\text{H}_2\text{CO}$  et  $\text{CH}_3\text{OH}$  ainsi que de H et N avec CO pour produire  $\text{HNCO}$ ,  $\text{NH}_2\text{CO}$  et  $\text{NH}_2\text{CHO}$ , molécules précurseurs possibles de molécules organiques prébiotiques (acides aminés).

Ce travail sur la formation de  $\text{H}_2$  est fait en relation étroite avec des programmes d'observations, dans des régions de formation stellaire du milieu interstellaire, de nombreux objets à divers stades de leur évolution, ainsi qu'à l'interprétation de ces observations à l'aide de modèles théoriques. Il s'agit de mettre en évidence et de distinguer, via l'émission IR de  $\text{H}_2$ , les caractéristiques propres des divers processus d'excitation de  $\text{H}_2$  (formation, chocs et UV). Ces programmes, qui nécessitent l'accès à la haute résolution angulaire comme à la haute résolution spectrale; sont réalisés sur les grands instruments internationaux (ESO VLT-ISAAC et CFHT-PUEO). Le travail de laboratoire est indispensable pour l'interprétation et l'analyse de ces données.

### **3.2.6.1 Evolutions techniques**

#### **3.2.6.1.1 Caractérisation RAIRS**

Montage de l'adaptation du spectromètre FTIR permettant l'analyse in-situ des échantillons couverts de glaces (Cf. C-g). Outre le diagnostic d'espèces nouvelles formées dans des réactions à basses températures, le RAIRS est un diagnostic des multiples états physiques des glaces d'eau dans les bandes à  $3\mu\text{m}$  (Jenniskens 1995).

#### **3.2.6.1.2 Préparation et caractérisation d'échantillons**

Pour l'instant les surfaces-échantillons ne sont pas préparées in situ, cependant un sas est prévu pour installer un dispositif de transfert à partir d'une chambre de préparation et de caractérisation. Ce développement, indispensable pour des surfaces ne devant pas être polluées ou modifiées par un séjour dans l'air, sera réalisé au cours du prochain quadriennal. Il est également prévu d'installer, pour les échantillons microcristallins, des diagnostics classiques de physique du solide (LEED, Auger, ...).

#### **3.2.6.1.3 Cinétique des réactions:**

Il est nécessaire de pulser chacun des deux jets atomiques de façon à pouvoir : 1) effectuer une mesure de la température des jets atomiques, 2) synchroniser l'arrosage de la surface par les jets atomiques avec le laser pour le diagnostic REMPI-TOF, afin de pouvoir mesurer des mécanismes de réaction rapides sur la surface, ce que les mesures TPD-QMS ne permettent pas.

### **3.2.6.2 Remarque: Spectroscopie et Photodynamique de molécules d'intérêt astrophysique**

Nous avons poursuivi au cours du quadriennal 2001-2005 notre activité antérieure de spectroscopie et de photodynamique sur des molécules aussi simples que CO et H<sub>2</sub>O (Cf. "Atomes et molécules en astrophysique : Processus radiatifs et collisionnels et réactivité en phase gazeuse". Pour CO, les études sont liées principalement à l'interprétation des observations satellitaires dans l'ultraviolet (FUSE...) qui, grâce à l'augmentation de sensibilité des nouveaux instruments, requièrent des données physiques de base sur les transitions observées. Pour H<sub>2</sub>O, elles sont en relation avec des observations cométaires. Ces études ont été réalisées sur deux lignes de lumière basse énergie (SA63 et SU5 à très haute résolution) du synchrotron Super-ACO (LURE, Orsay) jusqu'à son arrêt en décembre 2003.

Bien que la priorité de l'équipe LERMA/Cergy soit l'expérience FORMOLISM, nous souhaitons poursuivre ce type d'études, d'une part pour leur intérêt intrinsèque et d'autre part afin de conserver les compétences précédemment acquises dans l'utilisation du rayonnement VUV issu d'un synchrotron, en particulier en participant de façon active à l'élaboration des projets de Physique Atomique et Moléculaire autour du nouvel instrument "SOLEIL".



## ***4 ÉTOILES, MILIEU INTERSTELLAIRE ET GALAXIES***



## **4.1 ÉTOILES ET ENVIRONNEMENT CIRCUMSTELLAIRE**

Le thème de recherche « Étoiles et environnement circumstellaire » comprend :

**4 personnels de recherche permanents**

*(astronomes, chercheurs CNRS, enseignants-chercheurs) :*

Sylvie Cabrit (CNAP)

**Mohammad Heydari-Malayeri (CNAP responsable)**

Thibaut Le Bertre (CNRS)

Jean-François Lestrade (CNRS)

**2 chercheurs associés :**

Françoise Praderie

Rieu Nguyen-Quang

**1 chercheur invité:**

Juan-Maria Marcaide

**Post-doctorants :**

**1 étudiant :**

Frédéric Meynadier

**Principales Collaborations Internationales :**

J-F Augereau (Leiden)

Vassilis Charmandaris (Cornell, USA)

Turlough Downes (Dublin, Irlande)

David Flower (Durham, UK)

Paulo Garcia (Université de Porto, Portugal)

Christiane Helling, Erwin Sedlmayr, Peter Woitke (TU Berlin)

Kyung Sook Jeong (Seoul National University)

Jack MacConnell, Nolan Walborn (Space Telescope Institute, Baltimore)

Hiroshi Murakami, Masahiro Tanaka, Issei Yamamura (ISAS/ JAXA, Japon)

Lars-Ake Nyman (ESO/ OSO)

Alejandro Raga (UNAM, Mexico)

Michael M. Rosa (Space Telescope European Coordinating Facility, ESA, ESO)

Daniel Schaerer (Observatoire de Genève, Observatoire de Midi-Pyrénées)

Hans Zinnecker (Potsdam, Allemagne)

**Principales Collaborations en France :**

Philippe André (CEA Saclay)

Lise Deharveng (Observatoire de Marseille)

Catherine Dougados, Jonathan Ferreira (Observatoire de Grenoble)

Nicolas Epchtein (LUAN/ UNSA)

Eric Gérard (GEPI, Observatoire de Paris)

Jacques Le Bourlot (LUTH, Observatoire de Paris)

Bruno Lopez (Observatoire de la Côte d'Azur)

Roberto Neri, Jérôme Pety, Jan-Martin Winters (IRAM, Grenoble)

Guillaume Pineau des Forêts (IAS, Orsay)

**Moyens utilisés :** Optique : HST, VLT, NTT, CFHT Infrarouge : IRTS, ISO Radio: IRAM (30-m + PdBI), JCMT, NRT, SEST Ultraviolet : HST

**Programmes nationaux :** PNPS, PNG, PCMI, ASHRA, ASA

**PPF :** ISM, ALMA

***Points forts principaux de la période 2001-2004***

- Nous avons effectué les premières comparaisons détaillées entre observations de jets d'étoiles T Tauri et prédictions théoriques de vents MHD issus de disques d'accrétion. Nous avons ainsi montré que les modèles incluant un fort chauffage à la surface du disque reproduisent la plupart des caractéristiques observées, alors que les vents MHD issus de disques froids sont définitivement exclus. Par ailleurs, nous avons montré que les raies rotationnelles pures de H<sub>2</sub> détectées par le satellite ISO vers les jets protostellaires sont en bon accord avec des modèles de chocs MHD à l'interface jet/nuage, et qu'il est ainsi possible de contraindre l'intensité du champ magnétique dans le milieu interstellaire.
- Nous avons utilisé le télescope spatial Hubble équipé de la caméra WFPIC2 ainsi que du spectrographe STIS (en UV lointain) afin de résoudre, pour la 1<sup>ère</sup> fois, plusieurs régions de formation d'étoiles massives, dites "blobs" excités, des Nuages de Magellan. Nous avons étudié les propriétés physiques de ces objets et avons découvert une classe d'étoiles massives très jeunes qui viennent d'arriver sur la séquence principale. Une caractéristique très surprenante de ces étoiles est leur taux de perte de masse très faible par rapport aux étoiles massives "normales" des Nuages ( $10^{-8}$ - $10^{-9} M_{\odot}/\text{an}$ ). Ces résultats ont fait l'objet de 4 communiqués de presse NASA/HST/ESA.
- Grâce au télescope spatial japonais IRTS, nous avons également étudié les caractéristiques de la perte de masse des AGBs galactiques. Nous avons ainsi mis en évidence qu'à l'intérieur du cercle solaire la contribution des AGBs au remplissage du milieu interstellaire est dominée par celles qui sont de type M (i.e. avec un rapport d'abondance C/O < 1), alors qu'à l'extérieur du cercle solaire c'est la contribution des AGB de type C (C/O > 1) qui domine.

***Thèses (co)encadrées pendant la période 2001-2004:***

- Fabrice Martins (Toulouse) 2001-2004
- Frédéric Meynadier (LERMA) 2001-2004
- Pierre Lesaffre (CEA Saclay) 1999-2002
- Nicolas Pesenti (LAOG, Grenoble) 2002-2005

### **4.1.1 Introduction générale**

Le groupe "Étoiles et environnement circumstellaire" travaille sur 4 thématiques principales : (1) la perte de masse dans divers types d'étoiles : étoiles jeunes, étoiles massives du Nuage de Magellan, étoiles évoluées de type AGB, (2) l'interaction de l'étoile avec le milieu interstellaire, par le biais de son vent (chocs, enrichissement chimique) ou de son rayonnement (Régions H II), (3) le mode de formation des étoiles massives, (4) les disques de planétésimaux. Les rapports d'activités individuels de chaque composante du groupe sont présentés ci-après, par ordre alphabétique des chercheurs principaux.

### **4.1.2 Les jets protostellaires et leur interaction avec le milieu moléculaire**

**Sylvie Cabrit**

#### **4.1.2.1 Jets protostellaires**

Lors des premiers millions d'années de leur évolution, les étoiles jeunes passent par une phase de perte de masse anormale, très collimatée («jets protostellaires») et dont l'intensité semble corrélée à l'accrétion de matière sur l'étoile. L'identification du mécanisme de perte de masse, ainsi que son influence sur la structure des disques protoplanétaires et sur la turbulence du MIS, figurent parmi les énigmes principales de la formation stellaire et planétaire. La réponse à ces questions passe par une étude poussée de la structure des jets et de leur impact sur le nuage ambiant, et par la comparaison à des modèles physiques détaillés, semi-analytiques ou numériques.

#### **4.1.2.2 Origine des jets d'étoiles T Tauri**

Un premier volet de mon activité de recherche porte sur l'étude des jets atomiques issus d'étoiles de type T Tauri. Ces étoiles sont encore entourées d'un disque d'accrétion mais elles se sont dégagées de leur cocon natal, nous donnant ainsi accès à la zone interne de formation du jet. Les observations de jets d'étoiles T Tauri ont fait un énorme bond en avant au cours des années 1997-2000, en particulier grâce aux techniques d'optique adaptative (PUEO au CFHT) qui ont permis d'atteindre une résolution de 0.2"-0.5". J'ai ainsi participé à plusieurs campagnes qui ont fourni de nouvelles contraintes sur la collimation, la vitesse asymptotique, et la loi de densité du jet.

Pendant la période 2001-2004, je me suis tournée vers le calcul de prédictions détaillées pour les modèles de vents MHD issus de disques d'accrétion développés par Jonathan Ferreira (Grenoble), afin d'en tirer des contraintes fortes sur le mécanisme de perte de masse via la comparaison avec nos observations.

Une première étape, effectuée avec Paulo Garcia pendant sa thèse à l'Observatoire de Lyon, a consisté à calculer de façon cohérente le chauffage et l'ionisation du jet MHD résultant de la diffusion ion-neutre. Nous avons montré que la température atteignait 10.000 K mais que les fractions d'ionisation étaient beaucoup plus faibles que celles observées, ce qui suggère que les jets sont plutôt ionisés par des chocs (Garcia et al. 2001a). Nous avons également calculé les cartes d'émission et les spectres longue-fente prédits et les avons comparé aux observations (Garcia et al. 2001b). Nous avons ainsi pu reproduire la collimation observée des jets, et le comportement général des profils. Une deuxième étape, effectuée avec Nicolas Pesenti pendant sa thèse à l'Observatoire de Grenoble, a consisté à étendre ces prédictions aux signatures de rotation récemment détectées par l'équipe de Bacciotti et al. dans le jet de DG Tau avec STIS/HST. Nous avons montré que ces signatures excluaient définitivement les vents MHD issus de disques froids, mais étaient par contre en excellent

accord avec des solutions de vents MHD incluant un fort chauffage à la surface du disque (Pesenti et al. 2004).

En plus de ce travail sur les vents de disque MHD, j'ai participé étroitement à deux études sur l'origine des nœuds d'émission dans les jets d'étoiles T Tauri. Dans la première, effectuée en collaboration avec Alex Raga (Mexico) lors d'un séjour au LERMA en tant que chercheur invité, nous avons cherché à modéliser les nœuds du jet de DG Tau avec une combinaison de précession du jet et de variabilité sinusoidale de la vitesse d'éjection, en utilisant un code hydrodynamique 3D. La morphologie est bien reproduite mais pas les gradients de vitesse, ce qui implique une variabilité plus complexe qu'une simple sinusoïde (Raga et al. 2001). La deuxième étude, effectuée avec Luis Lopez-Martin pendant son séjour post-doctoral d'un an au LERMA en 2001, a porté sur les mouvements propres des nœuds dans le jet bipolaire de RW Aur. Les échelles de temps déduites suggèrent deux modes de variabilité : un mode « rapide » (quelques années) et non synchrone entre les deux lobes, peut-être dû à des épisodes asymétriques de reconnexion magnétique, et un mode « lent » (environ 20 ans) et apparemment synchrone, peut-être dû à un renversement global de la topologie magnétique lors d'un cycle magnétique stellaire (Lopez-Martin et al. 2003).

#### **4.1.2.3 Chocs avec le milieu moléculaire**

Un deuxième volet de mon activité de recherche porte sur l'interaction des jets protostellaires avec le milieu ambiant moléculaire. En effet, dans les sources plus jeunes et plus enfouies que les étoiles T Tauri, le jet lui-même est souvent trop obscurci pour être détectable dans l'optique, et le matériau ambiant choqué et accéléré devient le diagnostic principal de la perte de masse.

Pendant la période 2001-2004, je me suis surtout investie dans l'étude théorique des chocs moléculaires, pour interpréter les observations de raies rotationnelles pures de  $H_2$  détectées par ISOCAM vers les sources protostellaires. Ce travail est basé sur le code de choc MHD moléculaire stationnaire développé par G. Pineau des Forêts (IAS) et D. Flower (Durham). Il est effectué en collaboration étroite avec eux ainsi qu'avec Jacques Le Bourlot (LUTH).

Dans le milieu moléculaire dense, où la fraction d'ionisation est faible et le champ magnétique relativement fort, une des questions principales qui se pose est de savoir si le gaz est freiné brutalement dans un front visqueux (choc de type J, pour « jump »), ou bien décéléré progressivement par friction ion-neutre dans une zone étendue où les ions et les neutres sont découplés (chocs de type C, pour « continu »). Le seuil en vitesse au-dessus duquel le choc passe de C à J dépend crucialement de la dissociation de  $H_2$ , et nous avons montré qu'un traitement hors-équilibre et niveau par niveau de la dissociation augmentait considérablement ce seuil, de 30 km/s à 70 km/s-100 km/s pour des densités de 1000 – 10.000  $cm^{-3}$  (Le Bourlot et al. 2002). Nous avons aussi montré que les deux types de chocs, J et C, pouvaient reproduire les observations de raies ro-vibrationnelles de  $H_2$  obtenues au sol dans l'infrarouge proche, mais que les énergies de choc déduites étaient très différentes dans les deux cas. Il est donc crucial de discriminer entre les deux possibilités pour contraindre l'énergie de la perte de masse dans les sources enfouies (Flower et al. 2003). Les raies rotationnelles pures de  $H_2$  se sont justement avérées un excellent moyen de discrimination entre chocs J et C : une comparaison détaillée de nos modèles de chocs aux observations ISO de la zone de choc HH2 a été menée en collaboration avec B. Lefloch (Grenoble), et elle a clairement montré la présence indispensable de chocs C (Lefloch et al. 2003). Cette modélisation donne aussi une estimation de l'intensité du champ magnétique pré-choc, compatible avec les valeurs déduites de l'effet Zeeman dans les nuages moléculaires denses.

Une limitation de ces modèles reste l'hypothèse de stationnarité. L'évolution temporelle de la structure des chocs moléculaires magnétisés a été étudiée en détail par Pierre

Lesaffre au cours de sa thèse (1999-2002) sous la direction principale de JP Chièze, avec un code MHI'1D implicite et à très haute résolution (grille adaptative). Nous avons mis en évidence plusieurs régimes d'oscillations, et montré que le critère utilisé jusqu'ici pour déterminer si un front J subsiste à l'état stationnaire (point sonique dans le précurseur C) n'est pas valide (Lesaffre et al. 2004a). Nous avons par contre validé la construction semi-analytique de chocs d'âge intermédiaire à partir de modèles stationnaires tronqués (Lesaffre et al. 2003b).

Par ailleurs, j'ai collaboré avec Turlough Downes (Dublin) sur la simulation hydrodynamique 2D de l'accélération du gaz moléculaire ambiant dans le choc d'étrave à la tête du jet. Nous avons montré que la forme observée des profils de raies de CO était bien reproduite par ce modèle, malgré sa relative simplification (Downes et Cabrit 2003).

### **4.1.3 Formation et évolution des étoiles massives des Nuages de Magellan**

**M. Heydari-Malayeri, F. Meynadier (étudiant)**

**4.1.3.1** Nos recherches ont été consacrées à l'étude de la formation et de l'évolution des étoiles massives des Nuages de Magellan ainsi qu'à leur interaction avec le milieu interstellaire proche (les régions H II et leurs nuages moléculaires associés). La formation des étoiles massives est encore un des problèmes non résolus de l'astrophysique malgré de récents efforts théoriques et observationnels. Les échelles de temps d'évolution des étoiles massives étant très courtes, ces étoiles atteignent la séquence principale alors que l'effondrement n'est pas encore achevé, et lorsqu'elles se dégagent de leur matière moléculaire prénatale, elles sont déjà relativement évoluées. Les phénomènes de formation et d'évolution des étoiles massives sont donc étroitement liés, et afin de comprendre la formation de ces étoiles il faut trouver les étoiles massives les plus jeunes enfouies dans les nuages de gaz et de poussière et étudier leurs paramètres physiques.

**4.1.3.2** M. H.-M. a été le P.I. de plusieurs projets de recherche dans une collaboration internationale utilisant le *HST* et les télescopes de l'ESO (VLT et NTT) pour étudier une classe particulière des régions H II compactes dites HEBs (High Excitation Blobs) que nous-mêmes avons découverte auparavant. Nos résultats ont paru dans plusieurs articles A&A et ont aussi été relayés par 4 communiqués de presse NASA/HST/ESA.

Très brièvement, l'imagerie et la photométrie à haute résolution avec la caméra WFPC2 du *HST* nous a permis de résoudre pour la 1<sup>ère</sup> fois les HEBs LMC N83B, N11A et N160A et de découvrir les étoiles cachées qui les animent (Heydari-Malayeri et al. 2001a, 2001b, 2002b). Les images *HST* mettent aussi en évidence des structures nébulaires spectaculaires (chocs, fronts d'ionisations, vents stellaires, cavités, bulles,...) marquées des motifs de poussière, le tout indiquant des environnements turbulents propres aux sites de formation d'étoiles massives. Nos observations révèlent également que les HEBs sont engendrés par des amas d'étoiles massives les plus jeunes des associations OB auxquelles elles appartiennent. Dans le cas de N11A, il y a 5 étoiles concentrées sur moins de 2" (0.5 pc) dans le ciel, l'étoile la plus lumineuse étant une étoile O de sous-type intermédiaire. En ce qui concerne N83B, la flambée de formation stellaire a créé une vingtaine d'étoiles réparties sur ~ 30" (7.5 pc) dans le ciel. N83B possède une ligne de faite impressionnante et une cavité sculptée dans le gaz ionisé par les vents puissants des étoiles massives, l'âge de la cavité étant estimé à seulement 30,000 ans. Les observations montrent aussi la présence de deux régions H II compactes jusqu'ici inconnues. L'une d'elles, qui contient l'étoile la plus chaude de la flambée, a une taille de ~2".8 (0.7 pc) et elle est affectée par une extinction de  $A_v = 2.5$  mag. Ces régions H II se trouvent dans une zone bordée par le nuage moléculaire associé. Elles sont probablement dues à une formation séquentielle générée par le front d'ionisation de la région H II avançant dans le nuage moléculaire. Nous présentons aussi un scénario conforme avec

la formation hiérarchique des étoiles dans l'association LH5. Par ailleurs, en utilisant le *HST* nous étudions divers aspects de LMC N160A et résolvons pour la première fois ses deux HEB N160A1 et N160A2 (Heydari-Malayeri et al. 2002b).

Dans un autre travail de recherche, nous avons étudié les caractéristiques physiques des étoiles excitatrices de SMC N81 découvertes auparavant par nous-même au cours d'un projet *HST* en utilisant le spectrographe STIS (Heydari-Malayeri 2002a). Les spectres UV nous ont permis de classer ces étoiles comme O6-O8. Or elles sont moins lumineuses (jusqu'à 2 mag en absolu) que les étoiles "normales", galactiques et magellaniques, de même type spectral. Chose très surprenante, le vent stellaire de ces étoiles est extrêmement faible par rapport à celui des étoiles O naines. Notre étude préliminaire nous a conduit à la conclusion que ces étoiles doivent représenter une classe d'étoiles massives très jeunes tout juste arrivées sur la séquence principale. Afin d'approfondir cette étude, nous avons, en collaboration avec Martins et Schaerer, étudié les propriétés du vent de ces étoiles au moyen des modèles d'atmosphère hors-ETL qui tiennent compte de l'effet blanketing (Martins et al. 2004). Par conséquent, nous confirmons que les étoiles de SMC N81 sont très jeunes (0-4 Myrs). Leur taux de perte de masse est de  $10^{-8}$ - $10^{-9} M_{\odot}/\text{an}$ , c'est à dire nettement plus faible que ceux des étoiles O typiques des Nuages de Magellan. En outre, les moments angulaires modifiés du vent sont d'un ou deux ordres de grandeur plus petits que ceux prévus par les modèles hydrodynamiques les plus récents. Même si nous sous-estimons la perte de masse d'un facteur 10 ce qui est fort improbable nos conclusions restent valables quantitativement. On peut envisager quelques explications pour cette anomalie des étoiles O. Par exemple, la brisure de la relation moment angulaire-luminosité pour les faibles luminosités ( $\log L/L_{\odot} < 5.5$ ). On peut aussi considérer que la pente de la relation vent-luminosité soit plus forte que ce qu'on croit. Cependant les simulations hydrodynamiques actuelles ne montrent aucun changement de pente pour la métallicité de SMC, d'autant plus que selon certains indices il y a des étoiles galactiques avec des propriétés de vent similaires à celles nos étoiles SMC N81. On peut évoquer d'autres causes, mais l'origine du vent très faible des étoiles de N81 reste inconnue. Nous proposons que ce phénomène est dû au jeune âge de ces étoiles: le vent n'est pas encore bien établi dans ces étoiles massives nouvellement formées

Nous avons également étudié l'environnement stellaire de SMC N81 dans le domaine IR proche en utilisant la caméra ISAAC sur le VLT (Heydari-Malayeri et al. 2003b). Nous montrons la présence de trois populations stellaires inconnues dans la direction de N81. La population principale peut être simulée par des modèles d'évolution des étoiles de 2  $M_{\odot}$  âgées de 1 Gyr. Selon nos arguments, ces populations ne sont pas associées avec la région H II N81 et résultent de plusieurs événements de formation d'étoiles de faible masse le long de la profondeur du SMC au sud de l'aile de Shapley.

Nous avons consacré une autre étude aux amas d'étoiles massives LMC R127 et R128 en utilisant l'imagerie et la spectroscopie obtenues avec le télescope NTT de l'ESO. R127 est l'étoile massive évoluée (LBV) la plus spectaculaire du LMC. Une technique avancée d'analyse d'images nous a permis de résoudre ces amas en 14 et 33 composantes respectivement et d'obtenir leur photométrie. Plus particulièrement, nous montrons que R127 est composée d'au moins quatre étoiles et identifions la composante LBV. La composante la plus proche du LBV (étoile #8) se trouve à 1.5" de celle-ci. De même, en utilisant la spectroscopie nous donnons la classification spectrale de 19 étoiles et présentons tout particulièrement le premier spectre de la 2<sup>ème</sup> composante la plus brillante de R127 (étoile #3) située à 3.3" de la LBV. La comparaison avec les modèles d'évolution nous indique que les étoiles les plus vieilles de l'amas sont âgées de ~ 6-8 Myr, alors que l'étoile la plus massive de

## *Étoiles, milieu interstellaire, galaxies*

la région (#7), formée il y a  $\sim 3$  Myr avec une masse de  $80 M_{\odot}$ , a évolué en LBV (Heydari-Malayeri et al. 2003a).

Les CoIs de ces projets : V. Charmandaris (Cornell), L. Deharveng (Marseille), Th. Le Bertre (LERMA), F. Meynadier (LERMA), G. Rauw (Liège), M.R. Rosa (ESA/ESO), D. Schaerer (Genève), N. Walborn (Space telescope), H. Zinnecker (Potsdam)

Thèses : Durant cette période M. H.-M. a dirigé les travaux de thèse de Frédéric Meynadier (LERMA) et j'ai été co-directeur de la thèse de Fabrice Martins (Toulouse, Genève).



L'image composite de la région H II N160A du Grand Nuage de Magellan obtenue avec la caméra WFPC2 de Hubble. Elle résout pour la première fois les deux sites de formation d'étoiles massives la plus récente de N160A (les yeux du monstre) et met en évidence les structures nébulaires et d'extinction spectaculaires. La taille de l'image est de  $67 \times 67$  secondes d'arc, correspondant à  $17 \times 17$  pc à la distance du Nuage (Heydari-Malayeri et al. 2002a). Ce résultat a fait l'objet de deux communiqués de presse ESA et NASA les 18 Octobre et 19 Décembre 2001 respectivement.

## **Communiqués de presse**

[A rose blooming in space](#), ESA Press Release, 12 September 2002

[Hubble Sends Season's Greetings from the Cosmos to Earth](#), NASA/HST Press Release, 19 December 2001

[Halloween and the Ghost Head Nebula](#), Astronomy Picture of the Day, 31 October 2001

[Painting with oxygen and hydrogen](#), ESA Press Release, 18 October 2001

[Massive infant stars rock their cradle](#), NASA/HST Press Release, 28 March 2001

[Massive infant stars rock their cradle](#), ESA Press Release, 28 March 2001

[New Stars Destroying NGC 1748](#), Astronomy Picture of the Day, 3 April 2001

### **4.1.4 Milieux interstellaire et circumstellaires, et les liens qui les unissent**

**Thibaut Le Bertre**

**4.1.4.1** Ce thème de recherche concerne l'étude des enveloppes circumstellaires formées autour des géantes rouges et du milieu interstellaire (MIS) environnant ces étoiles. Les recherches menées récemment ont conduit à la découverte de relations entre certains indices de couleur infrarouge (e.g. J-K, K-L', K-12 $\mu$ m) et  $\dot{M}$ , le taux de perte de masse, pour les géantes rouges de type M (Le Bertre & Winters 1998). Cette étude complète un travail similaire qui avait été réalisé précédemment sur les étoiles carbonées (Le Bertre 1997). Ce type de relation est extrêmement important, car il permet de déterminer  $\dot{M}$ , à un facteur 2 près, sans faire intervenir la distance.

**4.1.4.2** Grâce à l'expérience japonaise IRTS (InfraRed Telescope in Space) et aux liens que j'ai établis avec nos collègues de l'ISAS à Tokyo, nous avons pu appliquer ces relations à un échantillon d'étoiles de la Branche Asymptotique des Géantes (AGB, ci-après) en phase de perte de masse (Le Bertre et al. 2001, 2003). Nous avons ainsi montré que les objets qui ont un taux de perte de masse dans la fourchette  $10^{-6}$ - $10^{-5} M_{\odot}/\text{an}$  dominant le remplissage du milieu interstellaire dans le voisinage solaire. Nous avons aussi mis en évidence que la contribution des étoiles carbonées relativement à celle des étoiles de type M dépend de la distance au centre galactique.

Sur le plan théorique, nous avons procédé à une analyse systématique des caractéristiques des vents produits par les étoiles AGB en utilisant le modèle de vent circumstellaire développé à la Technische Universität de Berlin. Plus de 150 cas échantillonnant un vaste domaine de conditions physiques ont été calculés. Nous avons principalement étudié le cas des étoiles carbonées ( $C/O > 1$ ). Ces modèles permettent de retrouver les relations entre taux de perte de masse et indices de couleur infrarouge.

Un résultat majeur a été la découverte que les vents d'étoiles AGB se divisent en 2 classes (Winters et al. 2000). Dans la première (régime A), on a des vents dominés par le champ de

rayonnement. Cette situation se développe lorsque suffisamment de poussière peut se condenser dans des couches proches de l'étoile, en deçà du point sonique. Pour ces vents le taux de perte de masse est toujours supérieur à une certaine valeur critique que nous évaluons à  $\sim 3.10^{-7} M_{\odot}/\text{an}$ . L'accélération par la pression de radiation est relativement efficace et conduit à des vitesses d'expansion supérieures à 5 km/s. Dans le second cas (régime B), l'accélération due au champ de rayonnement ne domine pas le vent. Celui-ci se développe principalement sous l'effet des pulsations de l'étoile. Ce mécanisme engendre des vents dont le taux de perte de masse est toujours inférieur à  $3.10^{-7} M_{\odot}/\text{an}$ . Les poussières se forment relativement loin de l'étoile centrale et la vitesse atteinte par le vent reste inférieure à 5 km/s, car la pression de radiation n'est pas très efficace dans cette situation (effet en  $1/r^2$ ).

Ces propriétés très différentes permettent de séparer clairement les 2 types de vents dans des diagrammes où le taux de perte de masse (ou bien la vitesse d'expansion) est représenté en fonction de l'accélération radiative. Nous avons aussi découvert quelques modèles avec un comportement intermédiaire (régime AB) dont nous n'avons pas encore complètement exploré les propriétés. Il apparaît clairement que la formation des poussières dépend de façon critique des conditions physiques dans les couches supérieures des étoiles AGB. Par ailleurs, de la formation des poussières dépend le mécanisme qui activera le développement du vent. Enfin, ce dernier réagit sur la structure atmosphérique.

La formation des poussières dans les environnements riches en oxygène ( $C/O < 1$ ) est beaucoup plus difficile à traiter, à cause d'une chimie plus complexe et des processus de formation hétérogène des grains qui doivent être considérés. C'est seulement depuis peu que des modèles auto-cohérents de vents circumstellaires issus d'étoiles riches en oxygène et satisfaisant les contraintes observationnelles ont pu être obtenus (Jeong et al. 2003).

Nous avons entrepris l'étude observationnelle des vents peu massifs avec le SEST et l'IRAM. Cette étude a conduit à la découverte de vents qui ont des caractéristiques similaires à celles prédites par nos modèles pour les vents de type B (Winters et al. 2002, 2003). Des observations menées indépendamment de nous, en infrarouge avec le télescope Keck, confirment notre interprétation. Ces résultats nouveaux apportent un soutien à la capacité de nos modèles à représenter correctement la physique des vents issus des étoiles froides.

L'essentiel de la masse éjectée par les étoiles AGB l'est sous forme d'hydrogène. On s'attend à ce que, selon les conditions physiques prévalant dans les enveloppes circumstellaires, une fraction importante de cet hydrogène se présente sous forme atomique. Avec Eric Gérard, nous avons donc entrepris la recherche de la raie à 21 cm dans la direction de quelques étoiles proches. La détection est difficile à cause de l'émission produite par le milieu interstellaire sur la ligne de visée. Le premier résultat marquant de ce travail a été la découverte de H I dans l'enveloppe de l'étoile carbonée IRC+10216 en absorption sur un fond dû au rayonnement cosmique à 3 K et à l'émission H I interstellaire (Le Bertre & Gérard 2001). Cette observation montre l'existence d'une enveloppe de gaz extrêmement froid ( $< 4$  K). Puis nous avons découvert H I en émission dans plusieurs objets, dont l'étoile RS Cnc. Le profil particulier de la raie émanant de cette source nous a permis de déduire des contraintes importantes sur la production d'hydrogène atomique dans les atmosphères et dans les enveloppes d'étoiles géantes rouges (Gérard & Le Bertre 2003). D'autres objets ont été détectés. Les profils H I mettent aussi en évidence l'interaction entre le flot circumstellaire et le MIS (Le Bertre & Gérard 2004).

Le domaine spectral de 100  $\mu\text{m}$  à 1 mm constitue une fenêtre très importante non seulement pour l'étude des milieux circumstellaires, mais aussi pour l'étude de l'interface entre ces milieux et le MIS. Dans ce contexte nous avons exploité des données fournies par ISO qui permettent d'étudier la structure du MIS proche d'étoiles AGB à une échelle de l'ordre de 0.2 pc (Le Bertre et al. 1998). La complémentarité entre les observations dans le domaine submillimétrique, telles que celles-ci, et en HI à 21 cm mérite d'être particulièrement notée.

#### **4.1.5 Disques de débris autour des naines rouges**

**Jean-François Lestrade**

Un disque de débris autour d'une étoile de la séquence principale constitue la trace fossilisée de la formation d'un système planétaire associé. Ce disque d'un rayon  $> 50$  UA est constitué de planétésimaux qui, par collisions, produisent de la poussière dont les plus petits grains ont une taille de quelques microns. Cette poussière est parfois appelée de seconde génération par opposition à la poussière primordiale du disque protoplanétaire avant la séquence principale. Le disque de débris associé au système solaire est la Ceinture de Kuiper qui contient 0.001 masse lunaire de poussière. En dehors de ce cas, le premier disque a été détecté autour de Véga à partir d'un excès IR inattendu dans sa distribution d'énergie (SED) observé par le satellite IRAS. La poussière du disque de débris chauffée par l'étoile centrale est détectable en continuum. Actuellement, 43 disques ont été détectés de cette manière. Comme l'émission de la poussière est optiquement mince aux longueurs d'ondes submillimétriques, la densité de flux dans ce domaine permet d'en mesurer directement la masse. Des observations ont permis de mesurer entre 0.5 et 150 masses lunaires de poussière dans 23 disques. Cette masse semble dépendre de l'âge de l'étoile selon une loi encore incertaine. Six disques ont été angulairement résolus par la caméra submillimétrique SCUBA du JCMT montrant une structure annulaire projetés sur le ciel avec des "grumeaux". Ces derniers seraient créés par le piégeage de la poussière par des résonances induites par les planètes circulant dans la cavité centrale. Jusqu'à présent, tous les disques ont été détectés autour d'étoiles de types spectraux allant de A à K, l'étude a donc été biaisée vers les disques dits chauds (80K ou plus) détectables en IR. Nous avons suggéré que les étoiles de type spectral M, qui sont moins lumineuses ( $0.1-0.001 L_{\text{sol}}$ ), aient des disques de poussière froide (20 K) détectable non pas en IR mais aux longueurs d'ondes submillimétriques (Lestrade, 2004a). Les naines rouges auraient ainsi été manquées par les surveys d'IRAS et d'ISO, or ce sont les étoiles les plus nombreuses dans le voisinage solaire (70 %). Leur étude est donc importante et fait partie de la nouvelle thématique des planètes extrasolaires.

##### **4.1.5.1 Programmes d'observations**

###### *4.1.5.1.1 Télescopes submm et mm au sol*

La détection d'un disque de débris est une preuve indirecte de l'existence d'un système exoplanétaire. Un survey submillimétrique des naines rouges proches permet donc d'établir une estimation de la fréquence des systèmes exoplanétaires dans le voisinage solaire. Nous engageons plusieurs surveys avec le JCMT, l'IRAM et bientôt APEX des naines rouges à  $< 20$  parsecs et appartenant à des associations stellaires ou à des Moving Groups. Cette appartenance permet d'avoir une bonne estimation de l'âge de l'étoile, un paramètre déterminant pour l'interprétation des résultats. Ce programme a commencé avec la première proposition d'observation au JCMT de 20 naines rouges appartenant à l'Association Locale et au Moving Group de Ursa Maj. La proposition a été acceptée et les observations sont programmées au début du mois d'Octobre 2004.

Une collaboration a été établie avec Bill Dent et Mark Wyatt (UK Center for Technology, Royal Observatory of Edinburgh) pour ces observations sur le JCMT.

### *4.1.5.1.2 Le satellite Herschel à 170 et 250 microns*

L'observation dans l'IR lointain (170-250 microns) avec Herschel accroît en principe la sensibilité à la masse de poussière compte tenu de la loi de Rayleigh-Jeans pour un corps à 20K. Cependant, le niveau de confusion due au fond de galaxies lointaines s'accroît notablement dans ce domaine de longueurs d'ondes. Nous avons commencé à étudier une méthode par cross-correlation entre l'image de la caméra PACS sur Herschel (32 x 64 pixels) et un modèle du disque. Nous avons déjà montré par une simulation qu'il est possible de détecter une brillance de 0.3 mJy/beam, 10 fois moins que le niveau de confusion, soit l'équivalent d'une masse totale de poussière de ~0.1 masse lunaire pour les disques autour des naines rouges à < 10 pc (Lestrade, 2004b). Par ailleurs, nous pensons que cette méthode par cross-correlation pourra s'appliquer à la caméra SCUBA2 (~10<sup>4</sup> pixels) sur le JCMT pour descendre en dessous de la confusion à 850 microns et être sensible à ~ 0.01 masse lunaire de poussière.

Collaboration avec Philippe André (CEA), J-F Augereau (Leiden).

### *4.1.5.1.3 Etudes théoriques*

Nous comptons étudier les signatures spectrales des constituants plausibles de la poussière des disques de débris pour engager de nouvelles observations de type spectroscopique afin de mieux comprendre sa composition physico-chimique. En plus, nous comptons poursuivre une étude sur la stabilité de l'atmosphère d'une planète dans la zone d'habitabilité autour d'une naine rouge. Cette zone est située entre 0.2 et 0.5 AU pour une étoile de type M0 dont le flux en X et Extrême UV est typiquement 100 fois plus fort que celui du Soleil. Cette étude peut être considérée comme une partie d'astrobiologie dans notre activité. Elle a été commencée lors du stage d'A. Beaussier, étudiant de l'ENSTA, qui pourrait continuer à collaborer sur ce sujet.

## **4.1.6 Prospective pour 2006-2009**

L'infrarouge proche (entre 1 et 5  $\mu\text{m}$ ) offre des perspectives très riches pour l'étude de la perte de masse des étoiles (LBV, WR, RSG, AGB, etc.) ainsi que pour la détection des étoiles jeunes enfouies dans les nuages de gaz et de poussières. Les performances de l'optique adaptative NAOS au VLT et l'arrivée du spectrographe SINFONI vont compléter idéalement le travail effectué jusqu'ici dans le domaine optique avec le HST et PUEO au CFHT, avec une sensibilité accrue. De même, la réalisation du JWST aura un impact inestimable sur l'étude des processus de formation d'étoiles. Nous participons aussi à la préparation scientifique du spectro-imageur optique grand-champ MUSE (instrument de 2ème génération sur le VLT), qui va permettre de cartographier le champ de vitesse et les conditions d'excitation dans les jets protostellaires et les régions H II sur un champ d'1 minute d'arc.

A plus grande longueur d'onde, l'étude des environnements circumstellaires des étoiles (enveloppes en expansion, cocons protostellaires, chocs) bénéficiera considérablement des observatoires ALMA (haute résolution spatiale et spectrale en CO, SiO, etc.) et Herschel (imagerie ou haute résolution spectrale en infrarouge lointain et submm), ainsi que, à plus long terme, du projet SKA (haute résolution spatiale et spectrale en H I). Nous participons en particulier à la définition de plusieurs programmes clefs en formation stellaire sur Herschel (étude de l'eau, et astrochimie).

## *Étoiles, milieu interstellaire, galaxies*

De même, ALMA sera un outil important pour l'étude des disques de débris autour des naines rouges. Dans ce domaine, nous préparons l'avènement d'ALMA en développant une technique de mosaicing adaptée à ce genre de disque avec le but d'atteindre une détectabilité de 0.001 masse lunaire de poussière répartie sur une surface équivalente à celle de la ceinture de Kuiper (rayon 50 UA) placée autour de Proxima Centauri.

Du point de vue de la modélisation, nous allons de 2005 à 2008 participer au réseau européen JETSET, qui vise à renforcer les collaborations entre observateurs, théoriciens, numériciens, et expérimentateurs travaillant sur les jets MHD issus des étoiles jeunes, à former de nouvelles générations de chercheurs à ces techniques, à coordonner les observations au niveau européen, et à mettre au point une plate-forme d'outils numériques communs pour les simulations MHD et les prédictions dans divers diagnostics spectraux. Le réseau comprend 11 instituts dans 7 pays (Irlande, France, Italie, Allemagne, Portugal, Grèce, Angleterre) et nous en assurerons une partie de la coordination scientifique.



## **4.2 MILIEU INTERSTELLAIRE**

Le thème de recherche « *Milieu interstellaire* » a compris entre 2001 et 2004 :

**11 personnels de recherche permanents**

**(astronomes, chercheurs CNRS, enseignants-chercheurs):**

Steven Balbus (prof. ENS depuis octobre 2004)

Patrick Boissé (jusqu'en janvier 2004)

Christophe Dupraz

Edith Falgarone

Maryvonne Gerin

Patrick Hennebelle (astronome adjoint oct. 2004-)

Jean-Louis Lemaire

Laurent Pagani

Jean-François Panis

Michel Pérault

Jérôme Pety (mis à disposition IRAM 2002-)

**1 chercheur associé :**

Steven Balbus (prof. ENS associé 2003-2004, permanent depuis)

**4 post-doctorants :**

Arnaud Belloche (ATER ENS: 2002-2003)

Patrick Hennebelle (2002-2004, permanent depuis)

Franck Le Petit (ATER Cergy: 2002-2003)

Marc-Antoine Miville-Deschênes (2000-2002)

**7 étudiants :**

Estelle Bayet ( monitrice, 2002-)

Gonzague Callejo (moniteur, 2001-2004)

Pierre Hily-Blant (2001-2004)

David Fossé (thèse soutenue en 2002)

François Lévrier (2000-2004, agrégé préparateur)

David Teyssier (thèse soutenue en 2002)

Laurence Vannier (thèse soutenue en 2001)

**Principales Collaborations :**

Philippe André (SAP, Saclay)  
Edouard Audit (SAP, Saclay)  
Aurore Bacmann (L3AB, Bordeaux)  
François Boulanger (IAS, Orsay)  
Tyler Bourke (Harvard MA)  
Paola Caselli (Arcetri, I)  
Jose Cernicharo (Madrid E)  
Alessandra Contursi (Garching D)  
*David Field (Aarhus DK)*  
Sébastien Fromang (Londres, UK)  
John Hawley (Charlottesville VA)  
Carsten Kramer (Cologne, D)  
Jacques Le Bourlot (Luth, Meudon)  
Pierre Lesaffre (Cambridge UK)  
Darek Lis (Pasadena, CA)  
Tom Phillips (Pasadena, CA)  
Guillaume Pineau des Forêts (IAS, Orsay)  
Isabelle Ristorcelli (CESR, Toulouse)  
Daniel Rouan (Lesia, Meudon)  
Evelyne Roueff (Luth, Meudon)  
James Stone (Princeton NY)  
Caroline Terquem (IAP, Paris)  
Gérard Testor (LUTH, Meudon)  
Laurent Verstraete (IAS, Orsay)  
Anthony Whitworth (Cardiff UK)

**Moyens utilisés :**

IRAM (30m et interféromètre), Caltech Submillimeter Observatory (CSO, 10m),  
JCMT(10m), NRAO (12m), ODIN (coI: Falgarone, Gerin, Pagani)  
ESO en particulier VLT (NAOS, CONICA, ...), CFHT (PUEO)  
HST, ISO, SST  
MPOPM, centre de calcul du CEA

**Programmes nationaux :** PCMI, PNPS, PNG

**PPF :** « Milieu interstellaire » et « ALMA » de l'Observatoire de Paris

**Programmes interationaux:**

Réseau européen « The formation and evolution of young stellar clusters » (Hennebelle)  
Réseau d'excellence « Molecular universe » (Gerin, Falgarone)  
Projet HSO/HIFI (coI: Gerin, Pérault, Salez)

**Points forts de la période 2001-2004**

Investissement massif sur la préparation de grands projets observationnels, campagnes d'observations, analyse fine des processus physiques, montée en force de la modélisation.

**Thèses soutenues pendant la période 2001-2004**

Laurence Vannier (2001)  
David Teyssier (2002)  
David Fossé (2003)  
Pierre Hily-Blant (2004)  
François Levrier (2004)  
Gonzague Callejo (2004)

## **4.2.1 Introduction**

A différentes périodes de l'histoire de l'Univers, à différentes échelles, de grandes fractions du matériel cosmique se sont refroidies et condensées en diverses sortes de structures : réseaux de filaments, amas d'objets denses, disques en rotation, groupes de systèmes en interaction... Ces structures reflètent les processus dynamiques qui ont coopéré à leur création, et influencent l'évolution ultérieure des systèmes considérés.

Le gaz diffus dans les galaxies est un fluide dilué magnétisé, très compressible et turbulent. Les observations ont révélé que les processus physiques à l'œuvre concourent à la coexistence de plusieurs phases. Mais en dépit des paysages magnifiques qu'il nous offre sur une large palette du spectre électromagnétique, en dépit de son intérêt comme champ d'application en physique fondamentale (écoulements MHD fortement compressibles, fluides multiphasiques, physique non-linéaire, physique des agrégats), le milieu interstellaire est rarement prisé comme objet d'étude indépendant. Intéressant, mais éphémère, on lui préfère souvent son devenir (formation d'étoiles), ou on s'intéressera à lui par exemple comme témoin de l'évolution galactique (bilan radiatif, enrichissement chimique, ...). Obstacle à l'observation distante, on cherchera à mieux le connaître pour s'en affranchir. Le parti cependant est pris, dans ce chapitre, de présenter le milieu interstellaire pour ce qu'il est, sans pour autant oublier que les motivations de ces études sont diverses.

Un deuxième thème arrive en force dans cette rubrique avec le recrutement par l'ENS de S. Balbus : la physique des disques d'accrétion. En partie liés à la physique du milieu instellaire, dont ils sont issus, ils représentent des écoulements particuliers (flots képlériens), aux applications astrophysiques diversifiées.

La vision dynamique des milieux étudiés s'est progressivement renforcée: s'appuyant sur une description physico-chimique affinée, la modélisation s'efforce de rendre compte de l'apparente complexité révélée par des observations de plus en plus détaillées. La conjonction de l'accès à des moyens d'observation de classe mondiale, de la proximité d'expertise précise en physico-chimie, et de la montée en puissance de la modélisation numérique est un fort atout de notre activité. La capacité d'une circulation rapide entre modèles et observations est la condition du progrès. Le compte rendu ci-dessous tente de montrer comment cette capacité a été utilisée, et décrit quelques résultats qui nous semblent significatifs de ce point de vue.

## **4.2.2 Sondage destructif du milieu abritant la formation d'étoiles**

Il est banal de dire que, directement ou indirectement, l'énergie produite dans les étoiles influence l'évolution ultérieure du milieu interstellaire. Dans certains cas elle le détruit. Si l'étude de type expérimental qui en dérive permet rarement une interprétation sans ambiguïté, au moins permet-elle d'observer dans de bonnes conditions la réponse du milieu à de fortes perturbations, tels des chocs et l'irradiation par un flux lumineux puissant.

### ***4.2.2.1 Emission de l'hydrogène moléculaire dans les régions de formation d'étoiles***

L'équipe de Cergy s'est consacrée à l'observation dans l'infrarouge proche à haute résolution spatiale (spectro-imagerie et spectroscopie longue fente en optique adaptative sur les télescopes du CFH et de l'ESO) de l'émission de l'hydrogène moléculaire dans des régions de formation d'étoiles. Le spectre rovibrationnel de  $H_2$ , constituant principal des nuages, excité

## *Étoiles, milieu interstellaire, galaxies*

radiativement (régions de photodissociation – ou dominées par les photons, dites PDR), ou thermiquement (chocs) permet d'évaluer assez directement l'impact des jeunes étoiles sur le milieu dont elles sont issues. Divers environnements ont été étudiés: nuages sombres (Barnard 68), protoétoiles (BHR71, LDN483), nuages moléculaires actifs galactiques (OMC1, M17) ou extragalactiques (SMC-N88).

La résolution de NAOS-CONICA sur le VLT, dans la bande K ( $2.2 \mu\text{m}$ ), 55 millièmes de seconde d'arc, représente seulement quelques unités astronomiques dans les nuages les plus proches. Grâce à la résolution spectrale des Fabry-Perot, les nombreuses transitions de  $\text{H}_2$  (ortho et para) accessibles dans l'infrarouge proche (13 transitions dans la seule bande K, dont la principale est  $v=1-0 \text{ S}(1)$  à  $2.121 \mu\text{m}$ ) permettent de déterminer précisément - là où les molécules sont excitées - les conditions physiques et physico-chimiques régnant dans les milieux observés, par comparaison des données spectroscopiques avec des modèles de chocs et de PDR (collaboration avec le LUTH et l'IAS).

L'analyse par L. Vannier dans sa thèse (2001) des observations antérieures des régions de photodissociation (PDR) NGC 7023 et 2023, a mis en évidence une distribution autosimilaire de l'émission.

Dans le nuage OMC1 (Orion) qui abrite les sources infrarouges historiques BN-KL, la très haute résolution angulaire a permis de mesurer précisément la structure des chocs créés par les étoiles massives en formation, mais aussi de révéler la présence d'une nouvelle génération d'étoiles en formation, au sein même des globules compacts formés dans le choc. L'échelle caractéristique de ces globules est de quelques  $10^{-3}$  parsec (2001, A&A., 366, 651).

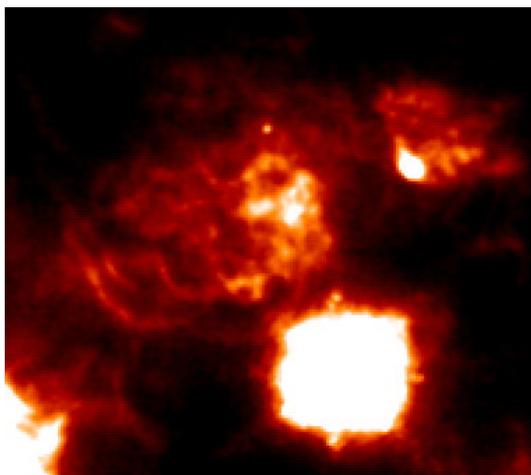
- L'étude détaillée en spectro-imagerie (ESO, 3.6m) des petits globules (clumps) les plus brillants situés entre BN-KL au NW (source de choc) et les étoiles du trapèze au SE (source d'une intense émission UV) a montré des effets différentiels notables sur les faces exposées à l'un ou l'autre de ces modes d'excitation (2003, A&A, **412**, 727).

- La spectro-imagerie à haute résolution spectrale offerte par le CFHT/PUEO+GriF a permis d'obtenir autour de BN-KL une carte de vitesse avec une résolution d'environ 40 km/s. En faisant l'hypothèse de globules formés par des chocs en arc (bow shocks), cette carte, combinée à celle des extrema d'intensité voisins, indique la direction et la projection sur le ciel de la vitesse de ces jets rapides. Dans un grand nombre de globules ces chocs semblent correspondre à une formation stellaire interne (2003, A&A, **411**, 437).

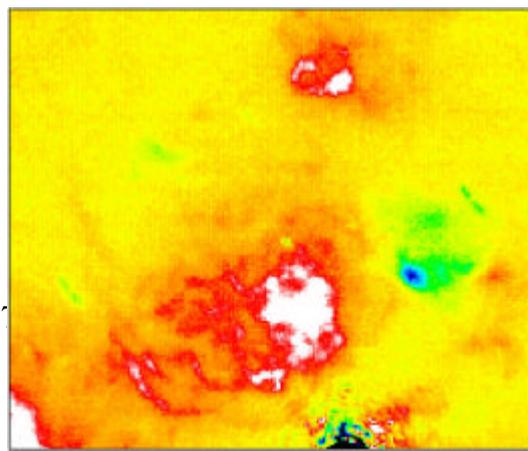
- La spectroscopie longue fente a été utilisée, avec le VLT/ISAAC en bande K pour analyser certains des globules observés dans les images PUEO-GriF précédentes. Après avoir déterminé les raies de  $\text{H}_2$  d'intensité fiable, compte tenu du champ de vitesse dans Orion et des absorptions par des raies atmosphériques de OH et/ou  $\text{H}_2\text{O}$ , une comparaison aux modèles a fourni pour chaque globule la source d'excitation dominante (thèse de G. Callejo, 2004).

- Enfin, nous avons pu bénéficier, dès sa mise en service, dans le cadre d'une collaboration avec D. Rouan (LESIA) de la résolution angulaire de 0,055 seconde d'arc de NACO (NAOS+CONICA). Des densités supérieures à  $10^8 \text{ cm}^{-3}$  sont estimées dans les globules. On peut voir sur la figure ci-dessous de fins détails de structure dans les sources principales des jets, IRC2 et IRC7, environ 10 secondes d'arc au sud-est de BN (2004, A&A **417** 5L).

*2.12  $\mu\text{m}$  champ d'environ 6 secondes d'arc*



*2.12-2.24  $\mu\text{m}$*



**IRc2C, IRc7 et étoile "n"**  
(images ESO-VLT NAOS-CONICA)

Un travail similaire a été entrepris dans la région géante de formation d'étoiles N88 du Petit Nuage de Magellan, un environnement à faible métallicité. La détection de l'émission IR de  $H_2$  a été réalisée en imagerie et en spectroscopie (Testor, Lemaire & Field 2003, 2004). L'observation dans la totalité des bandes IR (Z, J, H et K) a permis de faire le raccord avec des données existantes dans le domaine optique. Les mesures antérieures d'abondance ont ainsi pu être précisées (2003, A&A, **407**, 905). L'émission de  $H_2$  a été observée en bande K dans plusieurs nuages entourant le cœur et un front d'ionisation abrupt a été mis en évidence pour la première fois (2004, A&A soumis). La structure interne du cœur N88A a été dévoilée dans l'infrarouge mais pour un objet situé à  $\sim 70$ kpc, des observations à plus haute résolution spatiale restent indispensables (observations VLT/NACO en *Octobre 2004*).

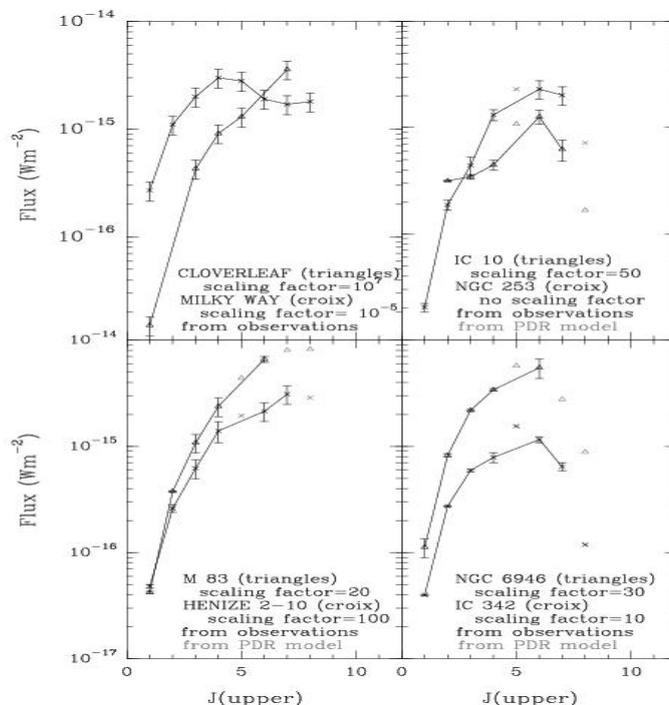
Nous avons étudié BHR71, une région de formation d'étoiles de faible masse, à la recherche de la ou des protoétoiles et des mécanismes d'excitation de l'hydrogène, grâce à du temps d'observation accordé sur VLT-ISAAC (2003, IAU Symposium, Sydney). L'analyse d'une série d'objets de Herbig-Haro associés aux protoétoiles est en cours d'étude. Une collaboration s'est développée depuis 2003 avec T. Bourke (le "B" de BHR, au CFA Harvard) qui nous a communiqué une série d'images complémentaires de BHR71 prises au NTT (ESO), en cours d'analyse par nos soins.

**4.2.2.2 Le spectre submillimétrique des galaxies proches**

La mesure de l'émission de grands volumes de gaz permet d'aborder le bilan radiatif d'une galaxie, de contraindre les conditions physiques dominantes des milieux émetteurs, et d'estimer l'activité récente de formation stellaire. Pour compléter les mesures des principales raies de refroidissement du gaz tiède effectuées avec ISO (raies de structure fine du carbone ionisé et de l'oxygène neutre, à  $158 \mu\text{m}$  et  $63 \mu\text{m}$  respectivement) un sondage spectroscopique submillimétrique de galaxies proches a été entrepris par Gerin, Bayet et al. (2004) au CSO. Ce travail est centré sur les raies de structure fine du carbone et le spectre rotationnel du monoxyde de carbone.

L'ensemble des raies de CO mesurées sur chaque galaxie a été modélisé, par un modèle de transfert de rayonnement, ainsi que par un modèle thermo-chimique (code PDR). Un ajustement satisfaisant est obtenu pour ces deux classes de modèles, qui permet d'extrapoler le spectre vers les courtes longueurs d'onde, inaccessibles du sol. La figure ci-dessous présente

Comparaison de l'intensité des raies de CO, pour 8 galaxies de l'échantillon. Pour faciliter la comparaison, les données de chaque galaxie sauf NGC-253, sont multipliées par un facteur donné dans chaque cadre. (voir Bayet et al. 2004 A&A sous presse, pour les sources des données).



une comparaison de quelques objets, où les données d'observation sont complétées par des résultats de modèles pour les points manquants. Cette figure met bien en évidence le rôle des raies submillimétriques de CO (autour de CO(6-5)) pour le refroidissement du gaz; et les différences selon le type de galaxie : le pic se situe vers des transitions plus excitées de CO pour des galaxies formant intensément des étoiles (comme NGC 253) par comparaison aux galaxies peu actives, comme la nôtre.

Des observations de l'une des galaxies de l'échantillon (IC 10), avec l'interféromètre du Plateau de Bure et le télescope de 30m d'IRAM sont en cours d'analyse, pour mieux connaître la distribution spatiale du gaz moléculaire.

### **4.2.3 Dynamique du gaz diffus**

L'hydrogène atomique remplit l'essentiel du volume des galaxies et représente plus de 50% de la masse du milieu interstellaire. C'est par condensation du gaz atomique que se forment les nuages moléculaires au sein desquels naissent les étoiles. Il s'agit donc d'un environnement essentiel à étudier tant pour la formation des étoiles que pour la compréhension et la modélisation des signaux lumineux qui traversent une galaxie.

#### ***4.2.3.1 Distribution du gaz, champ de vitesse***

Une dynamique d'échelle exceptionnelle a été obtenue en combinant des données interférométriques (DRAO) et en antenne unique (survey de Leiden). Sur deux ordres de grandeurs, le spectre de puissance du centroïde de vitesse et de la densité de colonne s'avère être celui de la turbulence incompressible de Kolmogorov (Miville et al. 2004). Comme le montre F. Levrier dans sa thèse, ces spectres peuvent être vus comme ceux de la densité et du champ de vitesse tri-dimensionnels sous-jacents.

#### ***4.2.3.2 Dynamique du gaz atomique***

L'hydrogène atomique interstellaire est un gaz thermiquement bistable qui, aux pressions observées dans la galaxie, peut se trouver soit sous la forme d'une phase froide et condensée (CNM) soit sous la forme d'une phase chaude et diffuse (WNM). Au cours de la thèse de P. Hennebelle, il a été proposé que la formation de structures froides et condensées pouvait être dynamiquement induite par un flot convergent de WNM. Ces études (Hennebelle & Pérault 1999) ont consisté d'une part en des simulations numériques monodimensionnelles à résolution hautement adaptative (nécessaire à la description adéquate des fronts thermiques et des chocs) et d'autre part en des études analytiques visant à comprendre les aspects les plus importants du processus de condensation tels que le seuil de nucléation, la phase de croissance, l'efficacité de la condensation et la propagation des fronts. Ce travail a notamment contribué à réconcilier l'image traditionnelle d'un milieu interstellaire multi-phasique à l'équilibre, et la vision dynamique turbulente sans phase définie.

Deux extensions de ce travail ont été réalisées. D'abord le champ magnétique, acteur essentiel de la dynamique du milieu interstellaire, a été considéré à une dimension (Hennebelle & Pérault 2000), puis en collaboration avec Edouard Audit (SAP) ce travail a pu être généralisé au cas bidimensionnel. Ainsi, il a pu être montré que la condensation thermique était toujours possible en présence d'un champ magnétique même intense, grâce à l'action de la tension magnétique qui tend à aligner le champ de vitesse et le champ magnétique. La condensation se faisant alors le long des lignes de champ, il en résulte que la densité du gaz et l'intensité magnétique ne sont pas corrélées. Ce résultat, connu par l'observation depuis près de 20 ans n'avait pas été expliqué jusqu'alors. La figure montre un exemple d'écoulement obtenu dans

une simulation bidimensionnelle d'écoulement convergent de gaz chaud (Audit & Hennebelle 2004).

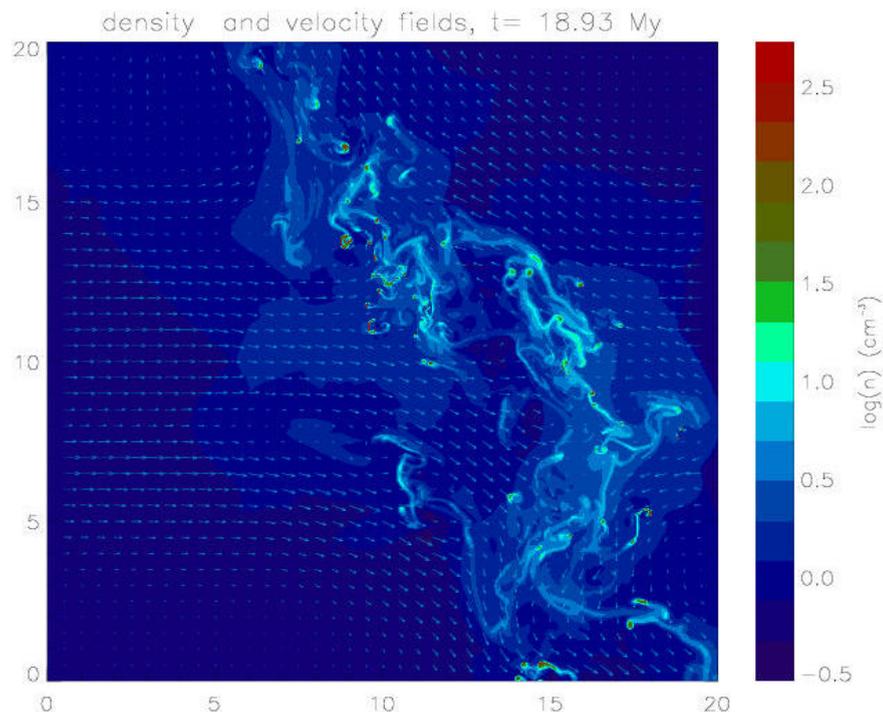
#### **4.2.3.3 Synthèse et analyse de spectres HI synthétiques**

Des spectres synthétiques HI (raie à 21 cm) ont été calculés dans les simulations hydrodynamiques et MHD. Ils montrent un accord qualitatif très satisfaisant avec les spectres observés. De plus, les spectres issus des simulations MHD sont significativement différents des spectres issus des simulations hydrodynamiques et sont plus proches des observations. Ceci tient à la présence de gaz thermiquement instable, à des températures intermédiaires entre les deux phases mais transitoirement stabilisé par le champ magnétique (Hennebelle 2000). Une analyse quantitative des spectres HI obtenus précédemment est actuellement en cours en collaboration avec Marc-Antoine Miville-Dechénes (IAS), l'objectif étant de mener une comparaison avec les observations en analysant de façon identique spectres observés et synthétiques.

#### **4.2.4 Nuages moléculaires et turbulence**

Thématique: Structure à petite échelle des nuages moléculaires diffus

Une forte motivation de ces travaux est la découverte des précurseurs, dans le milieu diffus, des structures massives de gaz très dense dans lesquelles se forment les étoiles. Nous proposons depuis plusieurs années que les germes de cette structuration sont portés par la turbulence, et plus précisément par ses processus dissipatifs, intermittents dans l'espace et le temps. Dans de la turbulence supersonique comme l'est celle du milieu interstellaire, et en présence d'un couplage modéré au champ magnétique, on s'attend à ce que ces structures

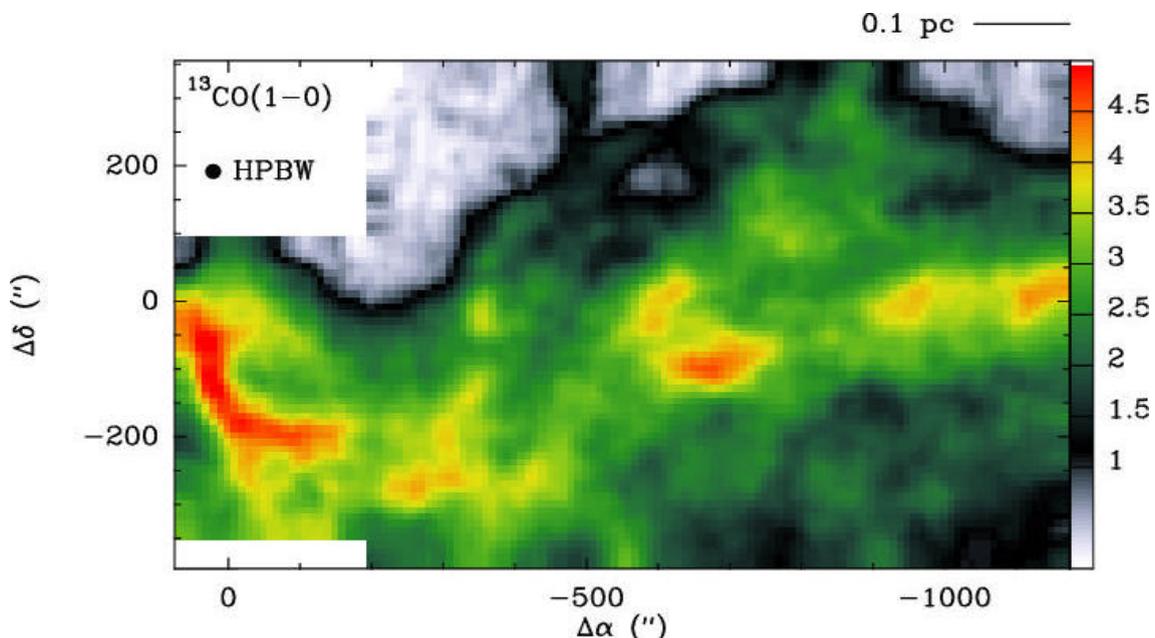


soient des chocs magnétohydrodynamiques (MHD). Elles peuvent être également des régions d'intense vorticité qui apparaissent dans la turbulence subsonique sous forme de filaments de vorticité intense. Ces dernières années, nous avons montré l'existence de structures filamentaires longues et fines, certaines denses mais cependant ténues (c'est-à-dire de faible masse linéique), connectées à des cœurs denses, canalisant le gaz qui s'écoule sur le cœur, d'autres beaucoup plus diluées et fines, probablement tressées entre elles pour en former de plus grosses. Elles sont toutes non auto-gravitantes, et nous avons quelques indices suggérant qu'elles sont confinées par un champ magnétique hélicoïdal. Dans une étape encore plus précoce, les filaments de forte vorticité, bordés de minces couches de gaz chaud dans les régions externes de fort cisaillement seraient les porteurs des signatures chimiques et radiatives observées, incompatibles avec les propriétés moyennes du milieu.

L'ensemble de ces propriétés rend probablement compte en partie des résultats un peu surprenants obtenus par Boissé et collaborateurs (2003) dans leurs études des fluctuations spatiales de l'absorption de la lumière d'une étoile par un nuage interposé (variations détectées pour l'absorption par H et CH, mais pas par H<sub>2</sub>, sur des échelles de quelques centaines d'UA).

#### **4.2.4.1 Observations en millimétrique, submillimétrique et IR moyen**

Des années d'observations conduites sur différents instruments (IRAM-30m, IRAM-PdB, CSO, DRAO, ISO-SWS) révèlent non pas un type de structures à petite échelle dans les nuages moléculaires mais un foisonnement de structures, en général filamentaires (donc à la fois à petite échelle par leur épaisseur et à grande échelle par leur longueur), en apparence différentes les unes des autres, comme on va le voir, mais probablement (et cela reste encore à démontrer) liées les unes aux autres par une évolution que l'on peut qualifier de complexe, qui fait intervenir et le champ magnétique et la chimie et le refroidissement radiatif. Ce sont donc,



suivant les observations et les champs d'investigation :

Figure: Carte d'émission intégrée d'un nuage à haute latitude dans le Polaris Flare, réalisée à l'IRAM-30m dans la raie de <sup>13</sup>CO(1-0). Le champ, d'environ 10000 spectres, couvre un cœur très dense (structure arquée à l'extrême Est) ainsi qu'une grande structure peu brillante qui lui est connectée, dans laquelle ont été trouvées les structures en vitesses et en densité décrites dans le texte (thèse de P. Hily-Blant).

#### ***4.2.4.2 De pures structures en vitesse***

Nous avons mis en évidence des structures d'un type nouveau puisque ce sont de pures structures en vitesse dans des nuages moléculaires turbulents et encore diffus (Pety & Falgarone 2003). C'est l'ensemble des positions où le cisaillement du champ de vitesse est extrême et s'écarte d'une statistique gaussienne. Ces structures sont fines (épaisseur  $\sim 0.05$  pc), clairement allongées et sont associées à du gaz optiquement mince dans la raie  $^{12}\text{CO}(1-0)$ , c'est-à-dire du gaz plus chaud et plus dilué que le gaz caractéristique des nuages moléculaires. Elles ont enfin la propriété remarquable d'être préférentiellement alignées avec la direction du champ magnétique environnant sur le plan du ciel (Hily-Blant, Falgarone & Pety, en préparation).

#### ***4.2.4.3 Des structures à l'échelle du milliparsec***

Une mosaïque de 13 champs réalisée avec l'interféromètre du Plateau de Bure a permis de détecter sur de telles structures des filaments encore plus étroits (épaisseur  $\sim 0.003$  pc) visibles en  $^{12}\text{CO}(1-0)$ , prouvant l'existence de sous-structures à des échelles proches de celles de la dissipation de la turbulence. Le gradient de vitesse élevé (plus de cent fois la valeur caractéristique des nuages moléculaires), observé entre deux de ces filaments, enchevêtrés le long d'une direction commune suggère une origine dynamique exceptionnelle (Falgarone & Pety, en préparation).

#### ***4.2.4.4 Des structures confinées par un champ magnétique hélicoïdal***

L'analyse du champ de vitesse d'un long filament de matière, dense cette fois, mais très ténu (sa densité de colonne est une centaine de fois plus faible que les filaments massifs auto-gravitants reliant les cœurs pré-stellaires dans les régions de formation d'étoiles) et connecté à un cœur dense peu massif probablement encore en formation, au vu de l'écoulement de gaz mesuré, a révélé ce qui peut être interprété comme une instabilité se développant dans un filament confiné par un champ magnétique hélicoïdal (Falgarone, Pety & Phillips 2001). La densité centrale de ce filament et son bord très raide confirment cette interprétation en particulier la nécessité d'un processus de confinement (ici la composante toroïdale du champ magnétique) pour ce gaz dense, non auto-gravitant. (Hily-Blant, Falgarone, Phillips en préparation).

#### ***4.2.4.5 Des poches de gaz chaud dans le gaz froid***

Il est de plus apparu que le gaz diffus froid porte la signature de poches de gaz beaucoup plus chaud qui ne constituent que quelques pour cent de sa masse. Ces signatures sont des raies de rotation pure de la molécule  $\text{H}_2$ , impossibles à exciter dans du gaz froid. Les raies détectées révèlent du gaz à 300 K environ distribué dans le plan de la Galaxie comme le milieu diffus et non les GMCs (Falgarone, Verstraete et al., A&A sous presse). C'est aussi l'émission très faible de la molécule  $\text{HCO}^+$  dans sa transition de rotation la plus basse qui implique des abondances trop élevées dans le gaz froid pour être le fruit d'une chimie stationnaire. Nous avons montré que ces abondances sont compatibles avec une évolution thermique et chimique hors-équilibre, déclenchée par de brefs (quelques centaines d'années) sursauts de dissipation de la turbulence supersonique (Falgarone et al, soumis)..

L'ensemble des résultats concernant l'existence dans le milieu diffus froid d'une très faible fraction de gaz chaud (donc détectable) a conduit à la conception d'un satellite entièrement dédié à la détection des 4 premières transitions de rotation pure de  $\text{H}_2$  pour tracer l'existence

de grandes masses de gaz moléculaire froid dans les galaxies. Ce projet (H2X, PIs: Falgarone, Boulanger) soumis au CNES en collaboration avec la NASA/JPL, fait partie des projets sélectionnés par le groupe astrophysique dans le cadre de la dernière prospective du CNES.

### **4.2.4.6 Approche statistique**

A l'instar de la turbulence observée en laboratoire et dans l'atmosphère terrestre, la turbulence interstellaire abrite des structures cohérentes, en partie alignées sur le champ magnétique, qui coexistent avec de la structure très désordonnée. La pente du spectre de puissance (et la dimension fractale) de l'émission dans les nuages moléculaires et atomiques est loin de contenir toute l'information sur les structures présentes mais nous montrons que ces quantités dépendent de l'échelle (structure multifractale) et qu'à petite échelle les propriétés spectrales du gaz atomique et du milieu moléculaire diffus se rejoignent.

La thèse de F. Levrier intitulée "Désordre et cohérence dans les structures du milieu interstellaire : analyse statistique, filtrage interférométrique et transfert radiatif" a porté sur ce thème. Le lien existant entre les propriétés statistiques des champs de densité et de vitesse et celles des observables  $y$  est démontré, en particulier l'indice spectral des centroïdes de vitesse est égal à celui du champ de vitesse dans le cas des petites fluctuations de densité. Des études statistiques sur les centroïdes de vitesse des raies menées sur les grands champs observés permettent de remonter au spectre sous-jacent du champ de vitesse.

F. Levrier propose également une méthode nouvelle et prometteuse d'analyse et de traitement des données interférométriques fondée sur les incréments de phase des composantes de Fourier. Ce travail fait partie d'une analyse plus vaste des performances du futur réseau ALMA dans le domaine de structures auto-similaires.

En ce qui concerne le lien entre la turbulence et la formation d'étoiles, deux paradigmes s'affrontent : l'un prédit que les filaments denses dans lesquels se forment les étoiles sont dus aux chocs inhérents à la nature supersonique, voire super-Alfvénique, de la turbulence, et que ces chocs sont si puissants qu'ils forment d'emblée des structures assez denses pour être instables gravitationnellement ; l'autre prédit que la matière, parce qu'elle est légèrement ionisée, n'échappe que lentement au soutien que lui procure le champ magnétique, s'effondrant seulement une fois séparée de ses ions, sous l'effet de sa propre gravité. Ces deux scénarii prédisent des évolutions temporelles, donc des taux de formation d'étoiles, extrêmement différents et à ce jour les débats sur le sujet continuent d'être vifs.

Les travaux de thèse de P. Hily-Blant apportent un éclairage nouveau sur ce débat et montrent que les observations de nuages moléculaires sur des dynamiques d'échelles suffisantes ne sont pas compatibles avec les prédictions de la turbulence super-Alfvénique. De plus, si chocs il y a, ils sont nombreux, petits et peu massifs.

### **4.2.4.7 Autres résultats marquants**

Un champ magnétique de 1.1 mG a été détecté dans une région de formation d'étoiles grâce à la mesure de l'effet Zeeman sur les 7 composantes hyperfines du radical CN, qui permettent de séparer sans ambiguïté la polarisation instrumentale de celle associée à la source. Cette valeur confirme que le flux magnétique n'est pas conservé lors de la condensation du gaz.

## **4.2.5 Condensations froides**

## *Étoiles, milieu interstellaire, galaxies*

Les équipes du LERMA et du LUTH travaillent en étroite collaboration sur le thème de la physico-chimie du milieu interstellaire. Ce travail combine observations multi longueurs d'onde et modélisation. Il a permis aux équipes de l'Observatoire de se placer au premier plan international et ainsi d'être sélectionnées pour participer tant à des réseaux européens qu'à la préparation scientifique de Herschel. Les efforts fournis profiteront également au projet ALMA. Il faut souligner la grande variété des techniques d'observation utilisées, qui permettent de couvrir complètement le spectre électromagnétique depuis l'ultraviolet lointain (satellite FUSE) jusqu'au domaine millimétrique (IRAM) en passant par l'exploitation du VLT et du CFHT (optique adaptative avec NAOS et PUEO) dans le domaine infrarouge.

### **4.2.5.1 Chimie du carbone**

Dans sa thèse, D. Fossé a étudié l'abondance de la famille des cycles et chaînes carbonés,  $C_2H$ ,  $C_3H$ ,  $C_3H_2$  et  $C_4H$ . Il a montré que le rapport des isomères cyclique et linéaire de  $C_3H_2$  est un diagnostic de la densité électronique du milieu (Fossé et al, 2001). Les observations ont permis de mettre en évidence une excellente corrélation spatiale entre les espèces, qui s'explique par des voies de formation communes. On trouve aussi un pic d'abondance de ces espèces, proche des valeurs obtenues au coeur de condensations massives (e.g. TMC1), dans la frange irradiée de nuages (Teyssier et al. 2004). La photodestruction des agrégats carbonés pourrait être à l'origine de certaines espèces moléculaires carbonées. Ce travail est poursuivi par des mesures interférométriques précises (publication en cours, Pety et al 2004), et par l'exploration d'une plus vaste gamme de sources. Les mesures du SST sont très attendues pour mieux quantifier l'évolution des propriétés des agrégats (collaboration avec C. Joblin).

### **4.2.5.2 Chimie de l'azote**

La détection de l'ammoniac triplement deutéré dans le milieu interstellaire, la première molécule porte trois atomes de deutérium. La présence de cette molécule avec une abondance environ mille fois plus faible que celle de l'ammoniac, illustre l'efficacité des mécanismes de fractionnement isotopiques, puisque le deutérium est présent en si faible quantité ( $10^{-5}$ ) dans le milieu interstellaire qu'une triple substitution serait quasiment impossible (Lis et al. 2002, Van der Tak et al. 2002). L'investigation des processus conduisant au fractionnement isotopique du deutérium se poursuit en collaboration avec E. Roueff, J. Cernicharo et D. Lis. En particulier l'étude du fractionnement des espèces azotées comme  $NH_3$ ,  $N_2H^+$ , mais aussi d'espèces soufrées  $H_2S$ ,  $H_2CS$ .

### **4.2.5.3 Chimie de l'oxygène**

Les tentatives d'observation de l'oxygène moléculaire à 119 GHz à l'aide du satellite Odin (Pagani et al. 2003, A&A 402, L77) ont permis d'abaisser les limites supérieures d'abondance obtenues avec SWAS d'un facteur 3 à 5 dans les sources brillantes (Orion, Rho Oph A, ...) et d'un facteur 20 à 40 dans les nuages froids (L134N et TMC-1) et de montrer que la détection de  $O_2$  annoncée par SWAS dans Rho Oph A était un artefact (limite supérieure  $[O_2/H_2] < 2 \cdot 10^{-8}$  au lieu des  $5 \cdot 10^{-5}$  attendus par les chimistes). L'analyse de ces données se poursuit.

### **4.2.5.4 Chimie de l'eau**

Nous avons obtenu des spectres de la transition  $J=1 - 0$  de la molécule ortho- $\text{H}_2\text{O}$  à 557 GHz avec le satellite ODIN dans la direction d'un cœur protostellaire et sur l'un des lobes du flot bipolaire émis par l'étoile en formation. La comparaison de la forme des profils de raie sur ces deux positions nous permet de mettre en évidence, pour la première fois, l'importance du gaz choqué dans l'émission des cœurs protostellaires. Ainsi, la radiation de la molécule d'eau ne reflète pas que très partiellement la perte d'énergie gravitationnelle d'un cœur en effondrement, comme cela a longtemps été dit. L'émission du choc est modélisée avec ceux de chocs MHD développés par D. Flower, G. Pineau des Forêts et J. Le Bourlot (collaboration I. Ristorcelli, E. Falgarone, M. Gerin, S. Cabrit).

#### ***4.2.5.5 Spectro-imagerie d'un cœur dense***

Un travail observationnel détaillé a été entrepris sur le nuage sombre L183 (L134N) par Paganì et al. (2003, *A&A* 406, L59; 2004, *A&A* 417, 605, et *A&A* sous presse), l'un des nuages de référence pour les astrochimistes.

Les poussières sont étudiées à travers leur émission submillimétrique (données MAMBO, SCUBA, ISOPHOT) et par leur absorption en IR proche (ISOCAM, comptage d'étoiles en bande I, variation de couleur  $H-K$  des étoiles à partir d'observations faites au CFHT). Le gaz est étudié par l'intermédiaire de quatre molécules importantes : CO, SO, CS et  $\text{N}_2\text{H}^+$ . Plusieurs isotopes et pour chaque isotope, plusieurs transitions ont été observées. Nous avons montré qu'au prix de cet effort la structure physique à grande échelle du nuage est devenue accessible et que l'abondance de chacune des molécules peut être estimée. Plus particulièrement, nous avons montré, pour la première fois, l'existence d'une composante en poussière très froide ( $T < 7.5$  K) qui n'avait pas été vue avec ISOPHOT. Nous avons trouvé deux cœurs dans ce nuage à des étapes différentes de contraction vers le stade de proto-étoile. L'abondance estimée des 4 espèces chimiques observées ne peut être expliquée que par le collage (déplétion) des molécules sur les grains dans les parties les plus denses.

#### ***4.2.5.6 Propriétés des poussières***

Composantes mineures du milieu interstellaire, les particules solides jouent cependant un rôle important dans les échanges radiatifs, et la chimie inter- et circum-stellaire.

L'exploitation des données de PRONAOS a permis d'approfondir ou de renouveler la connaissance de galaxies, comme NGC 891 (Dupac et al. 2003a) ou de régions de formation d'étoiles, comme M42 et M17 (Dupac et al., 2001), Rho Ophiuchi et la région du Cygne (Ristorcelli et al., 2003). La calibration soignée de PRONAOS (Stepnik et al, 2003) a permis de confirmer la présence très fréquente de condensations de poussières particulièrement froides (11-12K) dans les nuages moléculaires observés. Elle a aussi permis de montrer une corrélation entre la température des poussières et leur indice spectral (Dupac, 2003b). Il convient de noter également les résultats originaux obtenus avec Archeops sur la polarisation dans les nuages moléculaires (Benoit et al, 2004).

#### ***4.2.5.7 Mesure du champ magnétique***

Un champ magnétique de 1.1 mG a été détecté dans une région de formation d'étoiles grâce à la mesure de l'effet Zeeman sur les 7 composantes hyperfines du radical CN, qui permettent de séparer sans ambiguïté la polarisation instrumentale de celle associée à la source. Cette valeur confirme que le flux magnétique n'est pas conservé lors de la condensation du gaz.

Ce résultat est très prometteur et confirme que la méthode de cross-corrélation du signal de deux récepteurs polarisés linéairement mise en œuvre récemment à l'IRAM-30m surpasse de beaucoup les traditionnelles méthodes analogiques. D'autres observations de ce type sont à venir (collaboration Falgarone, R. Crutcher, T. Troland).

### **4.2.5.8 Cœurs massifs de la Galaxie interne**

Les cœurs denses de nuages moléculaires situés dans la galaxie interne, détectés en absorption dans l'infrarouge moyen par ISO puis par MSX (Péroult et al. 1996, Egan et al. 1998) ont été recensés de façon systématique à partir du relevé ISOGAL (environ 300 condensations cataloguées par Hennebelle et al, 2001). Les cœurs de l'anneau moléculaire sont au moins dix fois plus massifs que ceux du voisinage solaire. Les cœurs vus près du Centre Galactique sont encore plus massifs.

Trois campagnes d'observations complémentaires dans le domaine radio ont été effectuées dans le cadre de la thèse de David Teyssier, deux en spectroscopie ( $C^{18}O$ ,  $^{13}CO$ ,  $HC_3N$ ,  $CH_3C_2H$ ) et une en imagerie continue à 1mm (Teyssier et al. 2002). Une très bonne corrélation de l'émission des différentes raies avec les observations infrarouges a été trouvée. Ces observations ont permis notamment d'estimer la température cinétique, dans certains cas inférieure à 10 K et la densité, supérieure à  $10^5 \text{ cm}^{-3}$ .

Ces cœurs, en raison de leur masse, qui dépasse en général  $1000 M_{\odot}$ , offrent une perspective complémentaire de celle du voisinage solaire pour l'étude des processus de leur formation (qu'est-ce qui détermine la masse accumulée dans les cœurs ?), et de leur évolution ultérieure (temps de vie ? mécanisme de support ? masse des étoiles formées ?). Une analyse plus approfondie des données est en cours, afin de préparer la comparaison avec des modèles théoriques. La détermination de profils précis des grandeurs thermodynamiques fondamentales, la mesure du champ magnétique par la polarisation de l'émission continue, et par effet Zeeman, constitueront une étape difficile mais indispensable à l'obtention d'une image complète et cohérente de la physique de ces objets. Un programme observationnel est défini à cet effet : sur le long terme ALMA y jouera un rôle essentiel.

## **4.2.6 Effondrement préstellaire, fragmentation**

La formation des étoiles est un thème central en astrophysique puisqu'il concerne aussi bien les galaxies et leur évolution que la formation des planètes dans les disques circumstellaires. Si plusieurs groupes d'observateurs français se consacrent à l'étude de ce champ de recherche, très peu d'études théoriques sont réalisées en France dans cette thématique. A l'occasion de son séjour post-doctoral à l'université de Cardiff dans le cadre du réseau européen «Formation and evolution of young stellar clusters », P. Hennebelle a pu acquérir une expertise dans ce domaine et conduire plusieurs travaux numériques et analytiques visant à comprendre la formation, l'effondrement et la fragmentation en systèmes multiples des cœurs préstellaires. A cette occasion des liens étroits ont été développés avec les groupes d'observateurs français, notamment celui de Philippe André au SAp.

### **4.2.6.1 Effondrement dynamiquement induits des cœurs préstellaires**

Des observations récentes de cœurs préstellaires ont montré des désaccords importants, en particulier du champ de vitesse d'effondrement, avec les modèles théoriques standards de l'effondrement gravitationnel tels que l'effondrement dit «inside-out » (Shu 1977) ou l'effondrement de cœurs très fortement magnétisés (Ciolek & Mouschovias 1995). Pour tenter

de réconcilier observations et théories, l'effondrement d'un coeur préstellaire induit par une compression externe a été proposé, et étudié en collaboration avec l'équipe de Cardiff. Un forçage externe (reste de supernovae, formation d'une étoile massive proche) est, en l'état des connaissances, tout à fait plausible.

Dans le cas d'une compression lente, le coeur se contracte de façon peu dynamique alors que dans le cas d'une compression plus rapide, une onde de compression se propageant depuis l'extérieur vers l'intérieur est induite et influence significativement le processus d'effondrement (Hennebelle et al. 2003). Ces études réalisées à l'aide de la technique numérique SPH (Smooth Particles Hydrodynamics), présentent plusieurs aspects qui sont en bon accord avec les observations comme le taux d'accrétion, la morphologie du champ de vitesse et du champ de densité. Par ailleurs, ce scénario conduit naturellement au processus de fragmentation par l'instabilité dite de rotation. Des systèmes multiples sont ainsi aisément produits conformément au taux observationnel élevé de binarité. Une étude complète et approfondie du processus de fragmentation a été réalisée (Hennebelle et al. 2004).

#### **4.2.6.2 Etudes analytiques de coeurs magnétisés en rotation**

Le champ magnétique, ignoré pour des raisons de simplicité dans l'étude précédente, joue certainement un rôle important dans le processus d'effondrement gravitationnel. Or, pour des raisons liées à des difficultés techniques, un nombre restreint d'études aborde l'effondrement de coeurs magnétiques en rotation d'un point de vue numérique alors qu'un nombre encore plus limité de travaux analytiques ou semi-analytiques existe pour décrire l'effondrement MHD. Tentant de pallier cette carence, P. Hennebelle a obtenu des nouvelles solutions exactes de l'effondrement gravo-magnétique en rotation (Hennebelle 2001, Hennebelle 2003a,b). Cet effort théorique est essentiel à une compréhension profonde d'un problème aussi fondamental et complexe. Il est aussi important pour la validation de codes numériques et peut constituer le point de départ de futures études analytiques telles que l'étude de la stabilité, essentielles à la compréhension du processus de fragmentation.

#### **4.2.6.3 Comparaisons étroites entre théories et observations**

Par ailleurs, des études visant à comparer quantitativement les profils de vitesse et de densité avec les profils observationnels sont en cours. Les profils spectraux observés sont ainsi comparés aux spectres synthétiques calculés grâce aux modèles d'effondrement gravitationnel de Patrick Hennebelle, couplés avec un code de transfert radiatif utilisé par Arnaud Belloche (SAP-ENS) au cours de sa thèse. Ainsi il est apparu que les compressions lentes ou quasi-statiques présentent des caractéristiques assez proches des sources observées dans le nuage moléculaire du Taureau (Belloche et al. 2002). Les compressions plus rapides, qui donnent lieu à des vitesses et des densités plus élevées, semblent à même de pouvoir reproduire les observations dans des régions formant des amas d'étoiles de façon plus dynamique tels que les nuages moléculaires de Persée, du Serpent ou de Rho Ophiuci.

L'interféromètre de l'IRAM permet d'étudier de façon plus détaillée la structure et la cinématique de condensations préstellaires et d'enveloppes de protoétoiles (exemple : observations  $N_2H^+$  d'IRAM04191, Belloche & André 2004, A&A, 419, L35). Ces observations, ultérieurement relayées par ALMA, donneront tout leur sens aux comparaisons précises entreprises avec les modèles numériques.

### **4.2.7 Disques d'accrétion**

S. Balbus est un dynamicien des fluides astrophysiques, qui travaille dans l'équipe ENS depuis 2003, et qui vient d'y être recruté. Son expertise recouvre la plupart des sujets abordés dans ce groupe. Son intérêt principal étant, depuis une dizaine d'années, centré sur les problèmes liés aux disques d'accrétion, cette thématique complète désormais l'éventail des sujets abordés.

Le travail en cours sur les disques d'accrétion repose sur la découverte faite il y a une dizaine d'années que les ondes d'Alfvén (plus exactement, les ondes magnéto-soniques lentes) sont fortement déstabilisées par la rotation différentielle en présence d'un champ magnétique même très faible (Balbus & Hawley 1991). Ces auteurs ont étudié numériquement le développement non-linéaire de cette instabilité, et ont montré qu'elle conduit à un tenseur des contraintes turbulent "augmenté" qui transporte du moment cinétique à un niveau permettant de produire de l'accrétion avec efficacité.

Survenant à une période où le développement de codes numériques était en progrès rapide, la découverte de l'Instabilité Magnétorotationnelle, ou MRI, s'est avérée particulièrement fructueuse. Elle a permis pour la première fois aux flots d'accrétion en astrophysique d'être modélisés à un niveau comparable à ce qui était fait pour la convection stellaire.

Le travail de ces dernières années a été centré sur le comportement des disques d'accrétion et circumstellaires en présence de planètes, les études formelles de stabilité, et l'accrétion non radiative des trous noirs.

#### ***4.2.7.1 Disques protoplanétaires***

Les disques planétaires sont un défi intéressant pour les théories MHD des disques d'accrétion, car le taux d'ionisation peut y être extrêmement faible. L'étude précise de l'équilibre d'ionisation dans un disque de type alpha a permis d'identifier les situations où le couplage magnétique justifie l'approximation alpha (Fromang, Terquem, & Balbus 2001). Le comportement de la MRI dans les gaz ayant un faible taux d'ionisation, étudié antérieurement dans le régime de la diffusion ambipolaire (Blaes & Balbus 1994), a été étudié dans le régime de Hall (Balbus & Terquem 2001). Ce dernier est particulièrement important dans les disques protoplanétaires. En effet, bien que presque toujours ignorées, les forces électromotrices de Hall sont en général plus importantes que les pertes ohmiques dans les gaz astrophysiques.

La découverte de planètes extrasolaires avec des propriétés orbitales très différentes de celles de notre système solaire a renouvelé l'intérêt pour l'interaction dynamique entre un disque gazeux et une planète qui s'y forme. Le traitement dynamique aussi correct que possible de la réponse d'un disque MHD turbulent à la présence d'une planète, avec W. Winters et J. Hawley (2003), a permis de reconsidérer des problèmes importants tels que le taux de migration de la planète ou le critère de formation d'un sillon autour de l'orbite de la planète.

Le problème plus simple d'une planète dans un disque non magnétisé a aussi bien sûr de l'intérêt. Bon nombre d'études, basées sur l'article classique de Goldreich et Tremaine (1979), ont été centrées sur le comportement des ondes de densité dans des disques plats à 2 dimensions. Les études à 3 dimensions sont beaucoup moins communes, et celles qui ont été faites sont moins générales. La première phase d'une étude WKB plutôt générale d'un disque polytropique, prenant en compte à la fois les variations radiale et verticale de la structure du disque vient d'être terminée.

#### **4.2.8 Calculs formels de stabilité**

Récemment, S. Balbus a obtenu des résultats intéressants sur les propriétés fondamentales de stabilité de perturbations à symétrie axiale dans des plasmas magnétisés, stratifiés, en rotation et thermiquement conducteurs -- en bref, le type de "gaz chauds" présents dans beaucoup d'environnements astrophysiques. L'approche a été motivée par les similitudes formelles entre les propriétés de stabilité et le comportement général de systèmes avec un gradient d'entropie d'une part, et ceux avec un gradient de moment cinétique d'autre part. Il s'est avéré que cela n'était pas inconnu dans la communauté des fluides, où un raisonnement de ce type est utilisé pour expliquer, par exemple, la relation entre les nombres de Rayleigh et Taylor critiques dans les expériences de Bénard et de Couette, respectivement. De fait, les milieux présentant un pur gradient d'entropie développent une instabilité similaire à la MRI (Balbus 2001).

Le modèle standard de disque d'accrétion fin est fortement radiatif (ce qui explique qu'il soit fin), mais des observations récentes dans le domaine des rayons X effectuées par Chandra ont révélé qu'un certain nombre de sources d'accrétion autour de trous noirs étaient "sous-lumineuses". La plus célèbre est le centre galactique Sgr A (Melia & Falcke 2001). L'idée fondamentale est que le flot d'accrétion est constitué de gaz de très faible densité, optiquement mince. Les pertes radiatives sont dynamiquement négligeables, et le flot est dit "non radiatif".

La structure dynamique d'un flot d'accrétion non radiatif est un sujet de recherche actif et plutôt controversé. La classe la plus récente de ces flots, connus sous le nom de "CDAFs" : (Convection-Dominated Accretion Flows) est née de l'interprétation des simulations numériques hydrodynamiques d'accrétion autour des trous noirs. Une viscosité explicite est utilisée dans ces simulations, imitée de la turbulence MHD. Un réexamen soigné des modes de perturbation du disque optiquement mince a montré d'une part l'incohérence du modèle CDAF, et d'autre part la possibilité de construire un modèle cohérent de disque non radiatif, pourvu qu'il ne soit pas magnétisé (Balbus & Hawley 2002; Hawley & Balbus 2002).

#### **4.2.9 Prospective pour 2006-2009**

La période actuelle est marquée par la convergence entre l'étude de la formation des étoiles et l'étude de la dynamique du milieu interstellaire, dans le sens où la qualité des observations (couverture d'échelles spatiales, sensibilité, haute résolution angulaire, etc.) permet une description assez précise des étapes successives de la condensation du milieu interstellaire jusqu'à l'effondrement préstellaire, en couvrant toutes les échelles impliquées, et où les moyens de calcul permettent, encore timidement, d'aborder l'étude de la dynamique des étapes intermédiaires. Ceci s'applique particulièrement à l'Univers proche mais l'utilisation aux périodes antérieures, en particulier de la formation des galaxies, des connaissances issues des études proches est indispensable : la physique des systèmes primordiaux est peut-être plus simple, mais leur détail n'est pas observable. Il est admis que les difficultés rencontrées aujourd'hui par les modèles de formation des galaxies, telles le sur-refroidissement ou le déficit de moment angulaire, seront aplanies par un traitement adéquat de la physique du milieu interstellaire. L'extrapolation est évidemment délicate, elle demande une réécriture complète des problèmes, mais le travail peut être utile aux études de l'univers proche car un certain nombre de processus sont communs.

Cette question est reliée à l'amélioration des sondes observationnelles. A l'ère pionnière de la détection (années 70), puis de l'exploration (années 80), a succédé celle de la métrologie

rationalisée (cartes bien échantillonnées, sondes complémentaires, etc.) et de l'analyse statistique des années 90. Nous entrons maintenant à l'époque où la capacité d'inversion d'un ensemble complet de mesures conditionne la description physico-chimique précise des milieux. C'est une étape indispensable du progrès évoqué ci-dessus : dans les modèles, pas de recollage des morceaux sans contrôle précis des conditions aux différentes étapes. La qualité des mesures, la possibilité d'accès à des sondes primaires (l'hydrogène moléculaire, le carbone atomique par exemple) ou le renouveau d'intérêt pour certaines, plus classiques (comme l'hydrogène atomique), sont autant d'éléments très importants du processus. Les modèles sont l'indispensable moyen pour réaliser l'inversion des observations, sous condition qu'elles fournissent un ensemble de contraintes suffisamment complet.

Qui dit modèle aujourd'hui dit obligatoirement simulation numérique. Pas seulement, mais nécessairement, car les milieux étudiés ne sont pas réductibles à des distributions élémentaires, analytiquement solubles. Le couplage de simulations proches de la physique aux contraintes d'observations de haute qualité est le défi de la prochaine décennie. Quelques perspectives sont esquissées ci-dessous.

En raison de la complexité et de la diversité des processus et en dépit de progrès considérables réalisés pendant les vingt dernières années grâce aux observations radio et infrarouge, les grandes étapes du cycle galactique restent encore largement méconnues. En particulier, la formation, à partir du gaz plus diffus, des structures denses telles que les nuages moléculaires, leur structure interne, les processus de soutien contre l'effondrement gravitationnel conduisant à la formation des étoiles, la fragmentation du gaz, les mécanismes d'injection et de dissipation de l'énergie, sont autant d'aspects cruciaux mais à l'heure actuelle trop mal compris pour permettre la description complète du cycle de la matière interstellaire. Les projets instrumentaux et théoriques de notre équipe sont destinés à combler cette lacune. Les aspects d'observations, de modélisation et théorie sont déclinés ci-dessous.

#### **4.2.9.1 Observations**

Outre l'exploitation des moyens internationaux sol (IRAM, ESO, CFHT, etc.) et espace (SST, HST) l'équipe est engagée dans la préparation de la nouvelle génération d'instruments que sont ALMA et Herschel. Les résultats remarquables obtenus ces dernières années tant sur les nuages sombres que dans l'étude de la formation stellaire, des chocs et des régions de photodissociation demandent à être approfondis par de nouvelles campagnes d'observations. D'ores et déjà certaines campagnes sont programmées sur les grands instruments de la discipline, comme le VLT. Soulignons l'intérêt des observations en spectro-imagerie, combinant hautes résolutions spatiale et spectrale, tant dans le domaine IR proche (raies de  $H_2$  par exemple) que dans le domaine millimétrique (interféromètre PdB). Ces travaux permettent de former les jeunes chercheurs à l'exploitation des nouveaux instruments utilisant les technologies les plus récentes (optique adaptative, interférométrie, domaine submillimétrique) qui nous placeront en bonne position pour le futur. La combinaison de traceurs multi-longueurs d'onde permet d'étudier les premières étapes de la formation stellaire et les mécanismes par lesquels les protoétoiles se forment et interagissent avec les résidus du nuage moléculaire qui leur a donné naissance. Il s'agit notamment de déterminer les caractéristiques spatiales (morphologie) et physico-chimiques des différents milieux en jeu.

## *Étoiles, milieu interstellaire, galaxies*

La confrontation des données aux modèles théoriques (astrochimie, MHD, etc.) provoque un questionnement de ces modèles, toujours fructueux pour leur amélioration.

Un programme pluri-formation, coordonné par M. Gerin, est actif au sein de l'Observatoire de Paris sur le thème de la physique du milieu interstellaire et de la formation des étoiles, regroupant des équipes de quatre départements (GEPI, LERMA, LESIA et LUTH). Ce programme permet de renforcer les collaborations entre équipes, et de développer des synergies pour l'exploitation des instruments et pour le rapprochement entre observations et théorie. Le renouvellement de ce PPF sera demandé pour le prochain quadriennal, avec des contours légèrement modifiés pour anticiper et préparer l'exploitation des grands projets ALMA et Herschel.

Par ailleurs, il nous est apparu important de réfléchir à une nouvelle génération d'instruments, sol ou spatiaux dans le domaine d'expertise du laboratoire que sont les récepteurs micro-ondes. Nous réfléchissons à la possibilité de développer une expérience dans le domaine du THz (CIDRE) dans une collaboration internationale avec les Indiens, les Suédois, les Russes et éventuellement les Allemands. L'idée est de développer une caméra hétérodyne à 3 THz pour étudier quelques raies fondamentales de OH et HD) dans le milieu interstellaire. De plus, nous participons au groupe de travail coordonné par T. De Graauw et F. Helmich pour un interféromètre spatial hétérodyne couvrant le domaine THz (ESPRIT), qui pourrait être un successeur de HSO à l'ESA.

L'ensemble des résultats concernant l'existence dans le milieu diffus froid d'une très faible fraction de gaz chaud (donc détectable) a conduit à la conception d'un satellite entièrement dédié à la détection des 4 premières transitions de rotation pure de  $H_2$  pour tracer l'existence de grandes masses de gaz moléculaire froid dans les galaxies. Ce projet (H2X, PI: Falgarone, Boulanger) soumis au CNES en collaboration avec la NASA/JPL, fait partie des projets sélectionnés par le groupe astrophysique dans le cadre de la dernière prospective du CNES.

### **4.2.9.2 Modélisation**

La description adéquate de la dynamique du gaz est essentielle pour toutes les études du milieu interstellaire et de la formation des étoiles. Dans le cycle galactique, le rôle du gaz atomique a parfois été sous-estimé, mais il est néanmoins essentiel pour comprendre l'abondance du gaz moléculaire et le taux de formation d'étoiles qui dépendent du taux de condensation du gaz atomique. La structure du gaz moléculaire dense, et sa chimie, qui conditionnent le transfert de rayonnement et la dynamique de ces nuages, dépendent également des étapes antérieures de l'évolution, en particulier du HI. De la même façon, l'étude de l'effondrement du gaz dense et de la formation des étoiles suppose la connaissance de conditions initiales réalistes, qui à l'heure actuelle font toujours défaut et que seule une bonne compréhension du processus de condensation du HI est susceptible de fournir. D'autre part, à plus grande échelle, la connaissance de la topologie du milieu interstellaire est nécessaire pour traiter le transfert du rayonnement UV et donc pour estimer le chauffage et l'ionisation du milieu. A long terme, l'un des objectifs majeurs de notre équipe est de comprendre la formation des nuages moléculaires. Une grande difficulté est la prise en compte du caractère multiphasique du gaz interstellaire, qui a été le plus souvent éludé dans les travaux antérieurs. Une autre difficulté majeure est introduite par l'existence d'échelles de temps dynamiques extrêmement courtes liées à la dissipation intermittente de la turbulence. Ces échelles, comme on l'a vu, sont essentielles pour la compréhension de l'existence de certaines molécules observées dans le milieu diffus. Un effort particulier continuera à être

mené dans cette direction, en s'inspirant de méthodes développés dans le cadre de la physique des systèmes complexes. Une école thématique CNRS organisée par E. Falgarone et J. Le Bourlot a été financée sur ce thème en 2004 et constitue un premier pas dans cette direction.

Le gaz atomique étant nettement plus simple à étudier que le gaz moléculaire, il offre un bon point de départ pour l'étude de l'hydrodynamique interstellaire. Des simulations numériques 2D (3D dans le futur) sont actuellement menées en collaboration avec E. Audit (équipe de J.-P. Chièze au SAp). Pour atteindre la meilleure résolution spatiale, nous prévoyons d'utiliser à terme la technique des grilles adaptatives (technique AMR, cf le code RAMSES développé par R. Teyssier Sap). Une version MHD de ce code est en cours de développement dans le cadre d'une collaboration SAp, IAP et LERMA. Les simulations multidimensionnelles permettront la réalisation de spectres synthétiques, prenant en compte les propriétés des télescopes réels, et la comparaison quantitative des modèles avec des données en collaboration avec des observateurs (M.-A. Miville-Deschênes, IAS).

Pour prendre en compte il faut faire appel à des techniques différentes avec une microphysique détaillée et hydrodynamique (P. Lesaffre et J.-P. Chièze, SAp) . L'objectif est de pouvoir prédire les signatures chimiques de différents événements tels que la collision de nuages, et d'effectuer la synthèse de spectres dus au carbone ionisé ou neutre. La dynamique des grains imparfaitement couplés au gaz lors d'événements de temps caractéristique court, tels que la transition thermique et la collision de nuages sera étudiée. Les conséquences de cet effet pour la chimie de  $H_2$  et le chauffage du gaz par effet photo-électrique sur les grains sont pour l'heure encore inexplorées. Ces travaux théoriques doivent être rapprochés de la découverte de nombreuses structures dans les nuages, qui apparaissent en particulier en interférométrie dans les raies de CO et dont l'origine est largement incomprise. Tracent-elles des chocs MHD particulièrement fins, dans un état très éloigné de l'état stationnaire? Tracent-elles des structures originellement enrichies en molécules susceptibles ensuite de rayonner et refroidir efficacement le gaz, là où la turbulence a chauffé le gaz en se dissipant ? Il s'agit probablement d'un subtil mélange des deux: un important travail de modélisation et un suivi observationnel précis sont nécessaires.

S'il est maintenant bien établi que les étoiles se forment à partir de l'effondrement d'un coeur dense préstellaire, le mécanisme conduisant à cet effondrement est encore mal compris et fait l'objet de nombreuses controverses. Or, cette ultime étape de condensation est cruciale puisqu'elle détermine en grande partie le processus de fragmentation. Elle joue vraisemblablement un rôle pour la formation d'objets moins massifs tels que les naines brunes et les planètes. Une modélisation fine à l'aide de simulations numériques et d'études analytiques conjuguée à des observations à haute résolution ainsi que la simulation de signaux observationnels synthétiques sont nécessaires pour faire progresser notre compréhension de cette dernière étape de condensation du gaz interstellaire en étoiles. L'objectif est de rendre plus réalistes les simulations en incluant successivement la rotation, la turbulence ainsi que le champ magnétique. L'accent sera mis sur l'obtention d'observables directement comparables aux observations, comme les profils de densité et de vitesse, mais aussi la durée des différentes phases d'évolution de la protoétoile (classe 0, classe I), et enfin, l'efficacité de fragmentation. Ce dernier point est particulièrement intéressant pour pouvoir relier les conditions d'effondrement observées dans les coeurs denses aux propriétés des systèmes multiples obtenus.

Pour tous les travaux théoriques, il est indispensable de calculer des observables astrophysiques pour donner aux observateurs un accès direct aux simulations. Les simulations

de flots d'accrétion autour des trous noirs pourront être utilisées en ce sens. Par ailleurs, les travaux théoriques relatifs aux disques circumstellaires menés avec C. Terquem et S. Fromang suscitent de nouveaux développements. Comment interagissent les ondes de densité excitées par une planète et la turbulence MHD ? Quelle est l'efficacité de l'amortissement turbulent ? Enfin, l'étude des propriétés fondamentales de la stabilité des fluides, de par ses charmes et sa stimulation intellectuelle, restera toujours un domaine privilégié des recherches de S. Balbus. Ces travaux fondamentaux ont conduit à une compréhension plus profonde de systèmes astrophysiques importants. Nul doute que ce vaste champ de recherche ne recèle d'autres surprises.

#### ***4.2.9.3 Centre d'étude des écoulements MHD (CEMAG)***

Avec les nouveaux recrutements dans l'équipe, les travaux de modélisation et particulièrement de simulations numériques sont appelés à prendre une place plus importante. Comme il a été rapellé ci-dessus, les compétences rassemblées dans notre équipe et les collaborations nationales et internationales qui ont été développées nous placent au premier plan pour l'étude de la plupart des étapes du cycle galactique, depuis la condensation des nuages neutres jusqu'à la formation des systèmes planétaires. Un projet ambitieux de Centre d'étude des écoulements MHD en astrophysique (CEMAG) a été déposé pour installer un système de calcul parallèle au département de physique de l'ENS. Le projet va considérablement renforcer les liens existant entre les chercheurs des communautés d'astrophysique, de géophysique et de fluides expérimentaux de l'ENS. Dans chacun de ces domaines, le comportement des fluides MHD est d'intérêt majeur et des investigations numériques sont indispensables. Les collaborations se développeront naturellement, en commençant par exemple par des simulations dédiées aux dispositifs expérimentaux (expériences de transport du champ magnétique et de dynamo turbulente conduites par S. Fauve).

### **4.3 FORMATION ET EVOLUTION DES GALAXIES, COSMOLOGIE OBSERVATIONNELLE**

Le thème de recherche « **GALAXIES** » comprend :

**5 personnels de recherche permanents**

*(astronomes, chercheurs CNRS, enseignants-chercheurs ):*

Fabienne Casoli (CNAP)

**Françoise Combes (responsable)** (CNAP)

Anne-Laure Melchior (P6)

Benoît Semelin (P6)

François Viallefond (CNRS)

**5 chercheurs associés :**

Frédéric Boone

James Lequeux

Raymond Michard

Vladimir Reshetnikov

N-Quang Rieu

**1 post-doctorant :**

Nemesio Rodriguez-Fernandez

**4 Étudiants :**

Frédéric Bournaud

Pavel Jachym

Philippe Salomé

Simon Verley

***Principales Collaborations :***

Magda Arnaboldi (Naples)  
David Block (Johannesburg)  
Alessandro Boselli (Marseille)  
Jonathan Braine (Bordeaux)  
Ron Buta (Alabama)  
Pierre-Alain Duc (CEA)  
Bruce Elmegreen (New York)  
Eric Emsellem (Lyon)  
Santiago Garcia-Burillo (Madrid)  
Andrew Gould (Ohio, USA)  
Cathy Horellou (Onsala)  
Leslie Hunt (Florence)  
Enrica Iodice (Naples)  
Chanda Jog (Bangalore)  
Bruno Jungwiert (Prague)  
Stephane Léon (Granada)  
Jesus Martin-Pintado (Madrid)  
Jan Palous (Prague)  
Carl Pennypacker (Berkeley)  
Daniel Pfenniger (Genève)  
Isaac Shlosman (Kentucky)  
Lourdes Verdes-Montenegro (Granada)  
Tommy Wiklind (Baltimore)  
Hervé Wozniak (Lyon)

***Moyens utilisés :***

IRAM  
VLT, CFHT, HST  
ISO, Spitzer, Galex  
MPOPM, IDRIS

***Programmes nationaux : PNG, PNC, PCMI, ASA, ASSNA***

PPF : ISM, ALMA

**Points forts de la période 2001-2004**

- Découverte de l'importance du taux d'accrétion de gaz externe par les galaxies spirales dans leur évolution : simulations numériques montrant l'auto-destruction des barres, et leur reformation par accrétion, simulations de la formation d'anneaux polaires par accrétion
- Découverte de gaz froid moléculaire associé à des cooling flows, détection au 30m de l'IRAM, cartographie au Plateau de Bure
- Observation dans le cadre du projet NUGA de noyaux de galaxies actives et détermination des mécanismes d'alimentation des noyaux
- Formation des naines de marée dans les simulations numériques d'interactions entre galaxies et observations de leur champ de vitesses détaillé
- Découverte de "drops" de dispersion de vitesse au centre des galaxies spirales (avec ISAAC au VLT) dans le cadre du projet DEBCA, et simulations numériques du phénomène
- Simulations du gaz multi-phases dans des simulations numériques cosmologiques de formation de galaxies
- Expérience de microlentille POINT-AGAPE
- Raies de recombinaisons dans les starbursts (flambées de formation d'étoiles)
- Quantification du taux de supernovae de tous types dans les galaxies spirales, et influence de la galaxie hôte et de l'extinction
- Etude de la dynamique du centre galactique, couplée avec la chimie et la thermodynamique (observations ISO, IRAM, Kitt Peak)
- Quantification de l'émission de la poussière froide dans les parties externes des galaxies (observations IRAM, JCMT-SCUBA)
- Rapport CO/H<sub>2</sub> et régions de formation d'étoiles dans les Nuages de Magellan (Key-Program sur le SEST)
- Formation d'étoiles et abondance des éléments dans les galaxies naines
- Phénomènes d'environnement dans les amas de galaxies

**3 Thèses soutenues pendant la période 2001-2004**

**F. Boone**, Juillet 2002, Configurations des interféromètres et dynamique des AGN

**P. Salomé**, Janvier 2004, Le gaz moléculaire au centre des amas à cooling flow

**P. Jachym**, Octobre 2004, Gas stripping and star formation : the case of Virgo

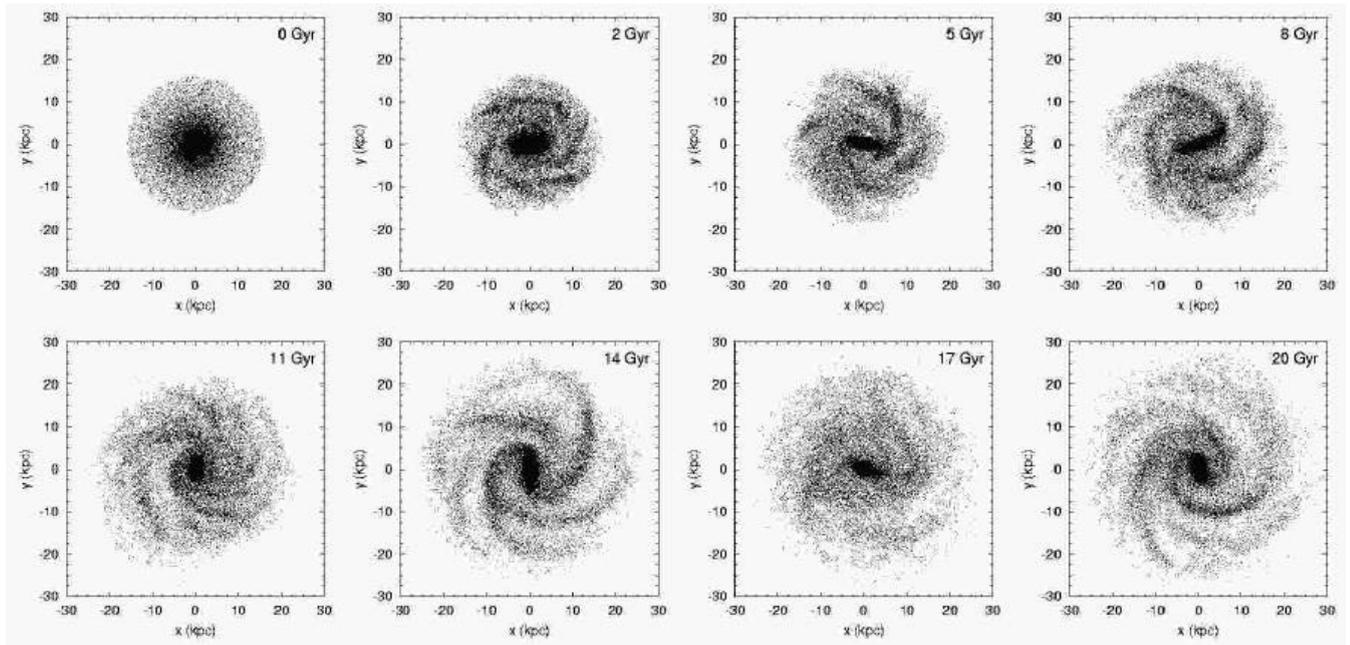
### **4.3.1 Introduction**

Le groupe travaille à la fois sur les observations multi-longueurs d'onde (IRAM, ISO, VLT, CFH, HST, et bientôt Herschel et Alma), et fait partie de consortiums tels que NUGA, DEBCA, LMC-SEST ou VLT-Giraffe et sur la modélisation et les simulations numériques lourdes (formation des galaxies dans un cadre cosmologique, projet HORIZON) ; pour l'activité de ces 4 dernières années, nous mettons en avant les thèmes qui suivent, sans prétention d'exhaustivité.

### **4.3.2 Accrétion de gaz externe et évolution des galaxies spirales**

Les simulations numériques ont permis de montrer que les instabilités gravitationnelles, en forme d'ondes spirales et de barres, régulaient l'évolution et le transfert de masse vers le centre dans une galaxie. Le moment angulaire de la matière doit être évacué vers l'extérieur par les couples de gravité, afin d'alimenter les parties centrales. L'existence d'une barre forte crée ces couples, et fait tomber tout le gaz interstellaire à l'intérieur de la corotation vers le centre et la résonance interne de Lindblad (e.g. Combes 2004). Cette chute de gaz vers le centre modifie significativement le potentiel, engendre une barre secondaire, et finit par détruire la barre, après avoir alimenté un possible noyau actif (Bournaud et Combes 2002). La galaxie devient alors axisymétrique, et l'accrétion de gaz externe est alors nécessaire pour recréer une barre. La quantification de la fréquence des barres aujourd'hui a permis d'estimer le taux d'accrétion de gaz dans la vie d'une galaxie (Block et al 2002). Dans ce processus, où une galaxie peut vivre 3 ou 4 épisodes barrés dans un temps de Hubble, l'évolution générale s'effectue des types "late" vers les types "early" de la séquence, mais peuvent de temps en temps retourner en arrière (Bournaud et Combes 2004). Une partie significative des bulbes de spirales peuvent être formés par la résonance des barres. Il est possible aujourd'hui de quantifier dans les champs profonds du HST la proportion de galaxies en fonction du redshift, et il apparaît que les barres étaient aussi fréquentes autrefois, le mécanisme de reformation des barres est donc très efficace (**Figure 1**).

**Figure 1:** *Évolution des galaxies spirales : une barre peut se former dans un disque, mais s'auto-détruit, par la chute du gaz qu'elle engendre. Une autre barre peut se former, comme dans ces simulations, par accrétion de gaz externe (Bournaud et Combes 2002).*



### **Formation d'anneaux polaires**

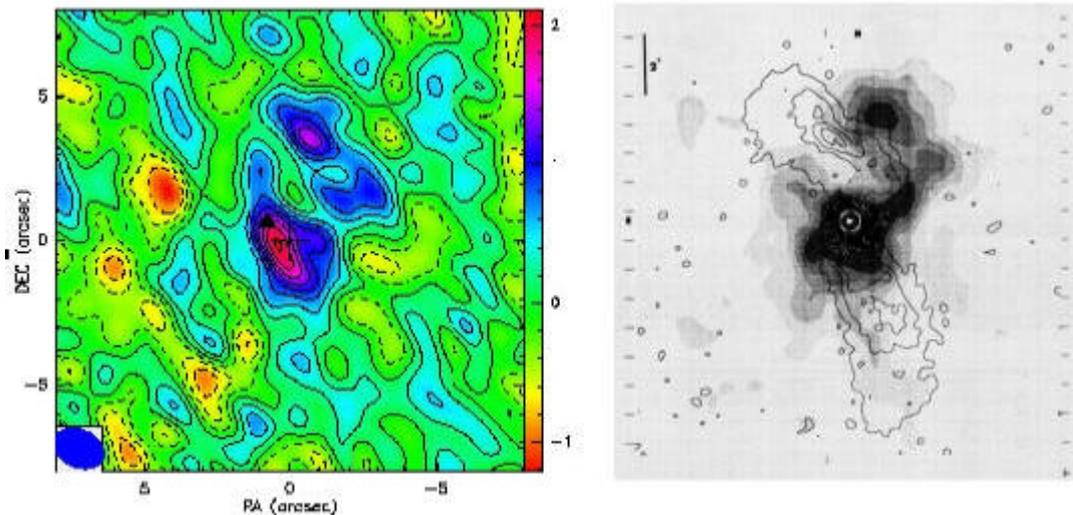
De nombreux indices suggèrent l'importance de l'accrétion de gaz dans les galaxies, comme l'existence d'un grand nombre de galaxies à anneaux polaires, qui possèdent un deuxième disque d'étoiles et de gaz perpendiculaire au système primaire. La formation de ces systèmes est beaucoup plus probable par accrétion de gaz que par fusion de galaxies (Bournaud et Combes 2003). Ce scénario peut être testé par la présence ou non d'une grande quantité diffuse d'étoiles dispersées par l'interaction autour du système. L'étude statistique d'un certain nombre de systèmes confirmés d'anneaux polaires a permis de déterminer leur position dans le diagramme de Tully-Fisher, et d'avoir ainsi des indices sur la forme à 3D de leur halo de matière noire. Curieusement, la vitesse dans le plan de l'anneau polaire est plus forte que dans le disque équatorial, indiquant un aplatissement de la matière noire dans le plan polaire (Iodice et al 2003).

L'existence des warps (ou gauchissement du plan) dans les galaxies spirales peut aussi s'expliquer par l'accrétion de gaz à partir des filaments cosmiques ; leur fréquence a été quantifiée dans les disques optiques par Reshetnikov et Combes (1999), et l'évolution en fonction du redshift par Reshetnikov et al (2002).

### 4.3.3 Gaz moléculaire froid dans les cooling flows

Depuis longtemps, le destin du gaz se refroidissant dans les amas riches de galaxies était un mystère. Les observations en rayons X des satellites Chandra et XMM ont bouleversé notre vision des "cooling flows" dans les amas : le gaz ne se refroidit pas de façon régulière, continue et avec une symétrie sphérique, mais le flot de gaz alimente un trou noir au centre de la galaxie cD, qui, lorsqu'il est en activité, réchauffe le gaz environnant, par ses jets de plasma et les ondes acoustiques engendrées. La structure au centre de l'amas est très complexe, avec des bulles, des cavités, des fronts froids, etc. Pendant longtemps le gaz froid n'avait jamais été détecté, mais grâce à la sensibilité accrue de l'IRAM, au moins 23 galaxies à cooling flows ont pu être détectées en CO (Edge 2001, Salomé et Combes 2003). Pour la première fois, les observations au Plateau de Bure ont démontré que le gaz CO était associé à un cooling flow (Abell 1795, Salomé et Combes 2004a, **Figure 2**). D'autres amas montrent aussi des phénomènes semblables, comme RXJ0821+07 (Salomé et Combes 2004b).

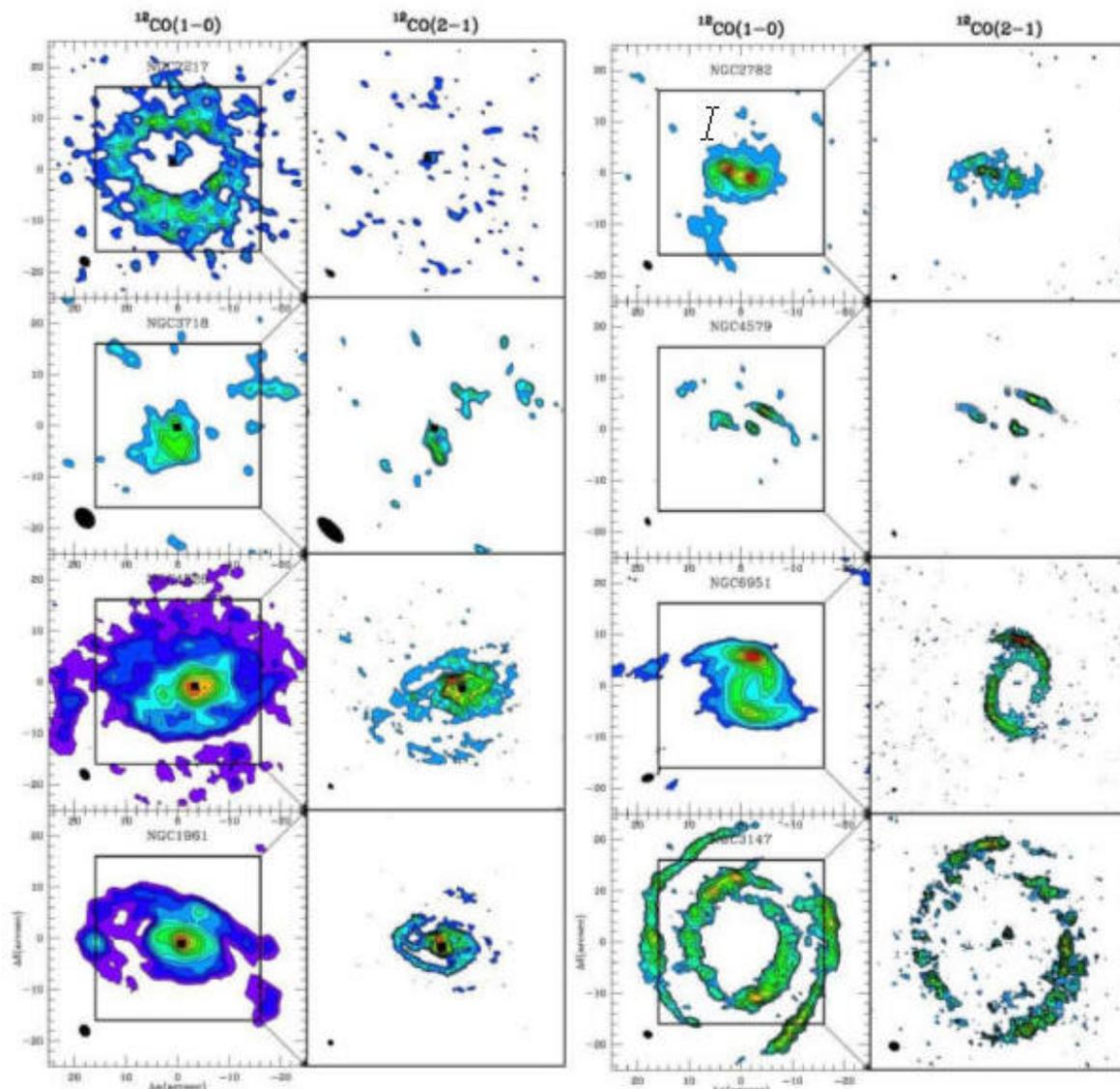
**Figure 2:** *A gauche* : Carte de l'émission intégrée dans la raie CO(2-1) dans l'amas de galaxies Abell 1795. *A droite* : Emission dans les raies H $\alpha$ +NII (en gris). L'échelle est la même que pour la carte CO(2-1). Les contours montrent l'émission continue à 6cm des jets radio associés à 4C+26.42 (Van Breugel et al. 1984)



#### 4.3.4 Le projet NUGA : "Nuclei of Galaxies", alimentation des noyaux actifs

Nous avons initié avec Santiago Garcia-Burillo le projet NUGA au Plateau de Bure, consistant à cartographier le composant moléculaire d'une vingtaine de galaxies actives de types variés, afin d'étudier les différents mécanismes d'alimentation des noyaux actifs. Ce projet, effectué par un consortium européen, est le premier qui atteint la résolution de la seconde d'arc ou mieux, avec une sensibilité inégalée. Plusieurs articles sont en cours, et il a permis de mettre en évidence des morphologies et phénomènes dynamiques variés, y compris l'absence de chute de gaz dans le noyau des galaxies, démontrant que l'alimentation des noyaux est intermittente (Garcia-Burillo et al 2003, Combes et al 2004, **Figure 3**).

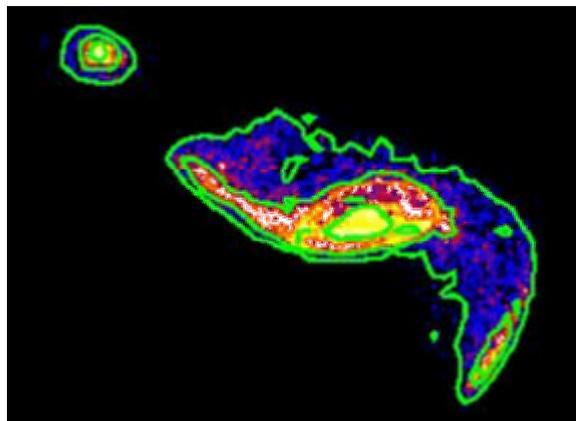
**Figure 3:** Echantillon de galaxies NUGA, les cartes  $CO(1-0)$  sont dans les colonnes de gauche, avec leurs zooms en  $CO(2-1)$  dans les colonnes de droite, pour (de haut en bas), NGC 7217, NGC 3718, NGC 4826, NGC 1961, NGC 2782, NGC 4579, NGC 6951 et NGC 3147 (Garcia-Burillo et al 2004)



#### **4.3.5 Formation des naines de marée**

F. Bournaud, P-A. Duc et F. Masset ont étudié la formation des naines de marée, ces petites galaxies qui se condensent à partir du gaz des queues de marée dans une interaction/fusion de deux galaxies. Les simulations numériques aident à résoudre un premier problème, reconnaître les vraies naines de marée des condensations apparentes par effet de projection, au moment où les queues de marée se retournent le long de la ligne de visée. Les diagrammes position-vitesse permettent de distinguer les deux possibilités et d'identifier plusieurs vraies naines de marée (Bournaud et al 2004). D'autre part, les simulations montrent que la formation des naines de marée est fortement favorisée, si la masse noire est très étendue autour des galaxies spirales (Bournaud et al 2003, **Figure 4**).

**Figure 4 :** *Formation d'une naine de marée dans une simulation où le halo de matière noire est étendu à 10 fois le rayon optique (Bournaud et al 2003)*



#### **4.3.6 Découverte de chute de dispersion de vitesse, projet DEBCA**

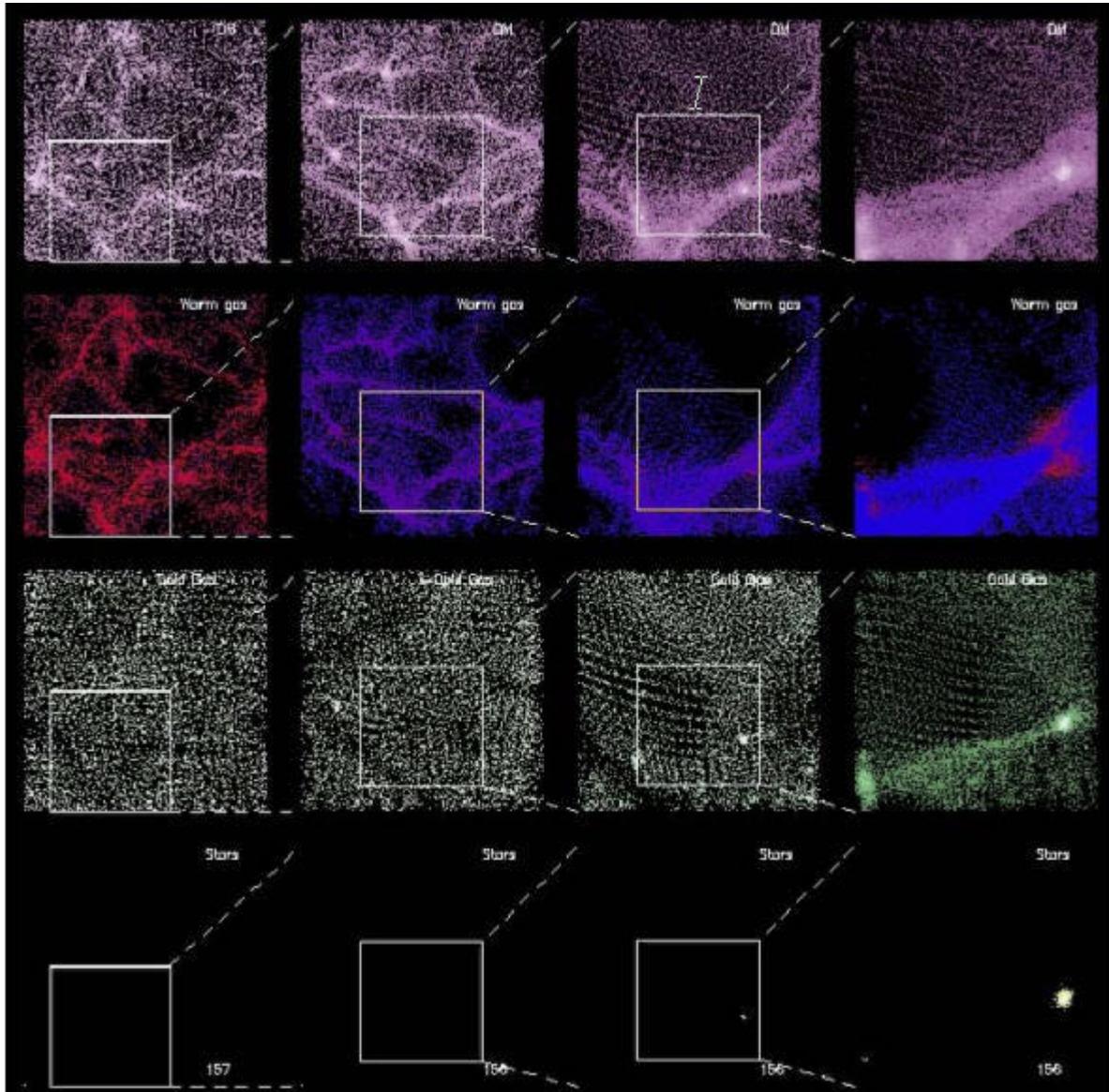
La cinématique des vieilles étoiles au cœur des galaxies spirales est très difficile à obtenir, car en général la poussière et la formation d'étoiles jeunes perturbent considérablement le champ de vitesses. Or ce sont elles qui vont tracer le potentiel gravitationnel, nécessaire à reconnaître les processus dynamiques qui vont alimenter les trous noirs centraux. Il faut alors effectuer la spectroscopie des raies d'absorption dans l'infrarouge proche (2 microns) par les bandes de CO par exemple, et déconvoluer par un template d'étoiles du même type. Ce sont ces observations qui ont été possibles dans le cadre du projet DEBCA, avec le VLT et le spectrographe ISAAC (Emsellem et al 2001). Nous avons découvert des "drops" de dispersion de vitesse dans les centres de galaxies actives, et avons interprété ce phénomène par l'existence d'un disque nucléaire froid, formé à partir du gaz apporté par la barre (simulations numériques Wozniak et al 2003).

### **4.3.7 Gaz multi-phase dans les simulations cosmologiques de formation de galaxies**

Le scénario de formation des galaxies dans le paradigme général du modèle  $\Lambda$ CDM (matière noire froide, et énergie noire) est basé essentiellement sur la formation hiérarchique par interaction et fusion de petites entités. Pourtant au moins trois problèmes mettent en difficulté le paradigme : problème du moment angulaire insuffisant d'un ordre de grandeur, qui empêche de former des disques de galaxies de taille observée ; problème de la concentration de matière noire dans les galaxies spirales, en des cuspidés qui ne sont pas observées dans les courbes de rotation ; problème du nombre de compagnons ou structures de petites masses prédites en grand nombre, et qui ne sont pas observés. Il est possible que la physique des baryons dans le scénario général ne soit pas suffisamment réaliste, et que le comportement du gaz notamment soit à revoir. Le scénario standard considère que le gaz très chaud se refroidit à l'intérieur d'un certain rayon de façon monolithique pour former une galaxie, alors que le gaz fragmente et se retrouve en plusieurs phases plus complexes, du gaz chaud diffus au gaz froid moléculaire sous forme de fractal. De même, l'assemblage de masse dans les galaxies pourrait se faire directement à partir du gaz froid coulant dans les filaments du «web» cosmique, sans que tout le gaz ait besoin de se réchauffer par ondes de choc à la température de Viriel des structures. Nous avons commencé à étudier la physique des baryons en détail, en mettant au point des simulations numériques multi-phases (gaz chaud ou froid, diffus ou en nuages) et prenant en compte la formation d'étoiles et le feed-back associé (Semelin et Combes 2001, 2002, **Figure 5**). Ces simulations vont se développer avec de plus en plus de détails dans le cadre du projet HORIZON. Une bibliothèque de fusions de galaxies destinée à explorer tous les paramètres physiques est en cours d'élaboration (Combes et Melchior 2003).

## Étoiles, milieu interstellaire, galaxies

**Figure 5:** Formation de galaxies dans un contexte cosmologique, avec la prise en compte de la matière noire (DM en haut) le gaz chaud (warm gas), le gaz froid et les étoiles formées à partir du gaz froid (en bas). Noter que les images sont déduites horizontalement par zoom successifs. (Semelin et Combes 2002, and in prep)



#### **4.3.8 Expérience Point-Agape**

A-L. Melchior participe à l'expérience de microlentille en direction de M31, qui utilise le "pixel lensing", c'est-à-dire monitore les différents pixels, sans résoudre les étoiles de fond individuellement. Le but est le même que les expériences de microlentilles envers les Nuages de Magellan (MACHOS, EROS), essayer de détecter des objets compacts, naines brunes par exemple, qui pourraient rendre compte de la matière noire baryonique dans les galaxies spirales. Melchior et al (1998) avaient déjà utilisé le survey EROS pour estimer la probabilité de détecter des évènements. Depuis, le survey a détecté 4 événements, qui sont probablement des amplifications gravitationnelles dues à des étoiles de M31 elle-même ou M32 (Paulin-Henricksson et al 2003). Des retombées de ce programme permettent de recenser toutes les étoiles variables dans le bulbe de M31 (Ansari et al 2004).

#### **4.3.9 Raies de recombinaison et taux de formation d'étoiles**

Des raies de recombinaison de l'hydrogène ont été observées maintenant dans une dizaine de galaxies starburst à flambées de formation d'étoiles, dont M82, NGC 253, Arp 200), dans les domaines centimétriques et millimétriques. Ces observations sont difficiles compte tenu des limitations instrumentales (sensibilité : corrélateur en cm, nombre d'antennes en millimétrique). La résolution angulaire obtenue, inférieure à la seconde d'arc avec le VLA, permet d'étudier les propriétés physiques du milieu ionisé ainsi que la cinématique à proximité immédiate du noyau, ceci en s'affranchissant des effets d'extinction qui limitent sévèrement l'interprétation des observations dans le visible et l'infrarouge proche. Les observations aux différentes longueurs d'onde permettent de contraindre la densité des différentes phases du milieu ionisé (Rodriguez-Rico et al 2003).

#### **4.3.10 Taux de supernovae: influence de la galaxie-hôte et extinction**

Il est de grande importance de reconnaître les effets d'évolution et d'extinction sur le taux et la luminosité des supernovae en fonction du redshift, afin que les SNIa puissent être considérées comme des indicateurs de distance. Leurs propriétés pourraient varier parce que leurs galaxies-hôtes évoluent dans le temps. Une estimation des effets de la poussière a été simulée (Pennypacker et al 2004), et le taux de supernovae a été calibré en fonction de la luminosité des galaxies et du type (SNIa ou core-collapse) des supernovae (Melchior et al 2004).

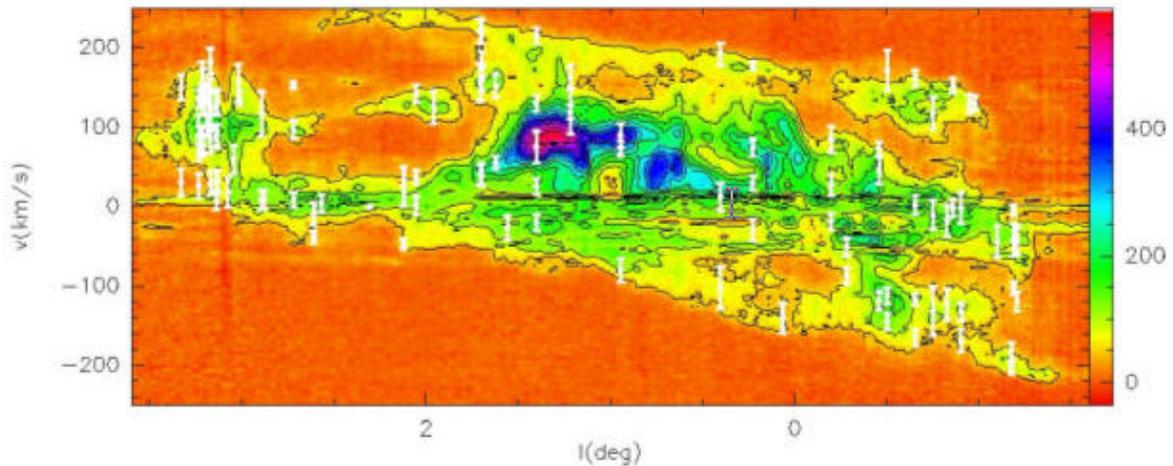
R. Michard, en collaboration avec un groupe de l'observatoire de Nice, a étudié en détails les couleurs des galaxies de type elliptique et déterminé les rôles respectifs de l'extinction, de la métallicité et leurs gradients (Idiart et al 2002, 2003).

#### **4.3.11 Dynamique et chimie du centre galactique**

Les nuages du centre galactique possèdent des particularités par rapport au reste des nuages dans la Galaxie, du fait de leur densité (les nuages doivent être plus denses pour subsister envers les forces de marée croissant vers le centre), de leur riche chimie moléculaire, et du fait de leur température, plus élevée que celle de la poussière, suggérant des ondes de choc comme mécanisme de chauffage, la poussière ne pouvant pas chauffer le gaz comme il est habituel dans le reste de la Galaxie. Une étude spectroscopique avec ISO a permis de suivre les raies de structure fine et d'étudier l'ionisation et le chauffage des nuages du centre galactique. Rodriguez-Fernandez et Martin-Pintado (2004) et Goicoechea et al. (2004) ont montré que la radiation ionisante et la structure du milieu interstellaire dans les 300 pc centraux de la Galaxie sont similaires à ceux de certaines galaxies qui présentent un sursaut de formation d'étoiles comme IC342 ou NGC253. Rodriguez-Fernandez et al. (2004) ont

montré que l'émission des espèces comme CII ou OI ainsi que les raies excitées de H<sub>2</sub> proviennent d'une région irradiée par l'UV-lointain (PDR). Par contre, seulement 20 % du gaz moléculaire chaud (150 K) tracé par les raies rotationnelles pures du H<sub>2</sub> est chauffé par le rayonnement ultra-violet dans les PDR. L'origine des températures élevées du gaz et la chimie du centre de la Galaxie pourraient être liées à la dynamique à grande échelle de la Galaxie. Un modèle couplant dynamique et chimie dans le centre de la Galaxie est proposé, en comparaison aux cartographies détaillées de molécules à l'IRAM (Rodriguez-Fernandez et Combes 2004). Il a ainsi été possible de déterminer les conditions physiques du gaz dans les orbites alignées avec la barre de la Galaxie et de mettre en évidence des chocs aux bords du disque nucléaire.

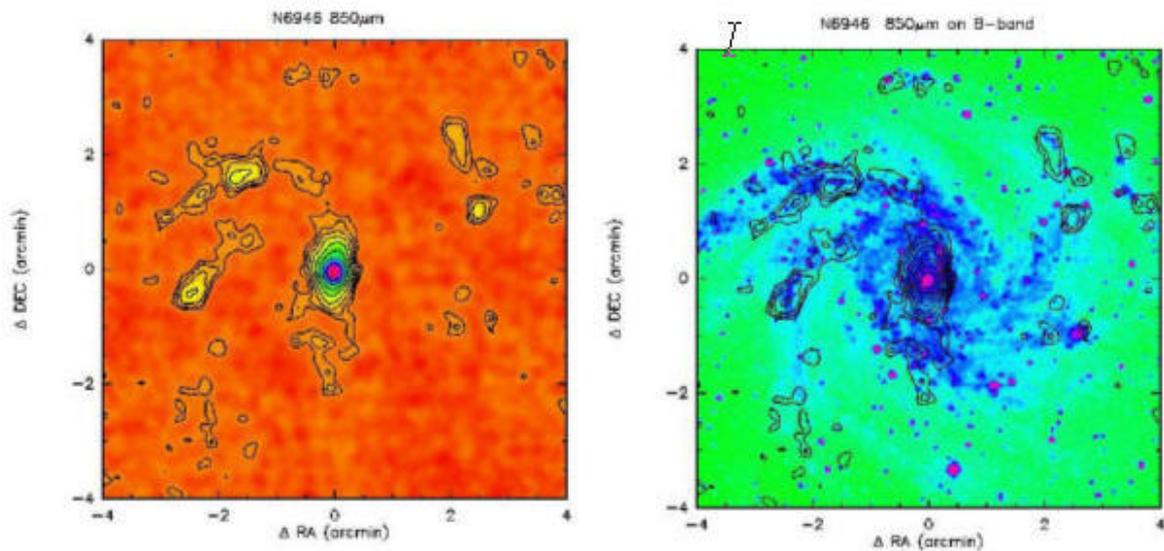
**Figure 6 :** *Diagramme Position-Vitesse du centre de la Galaxie : Les points et les barres d'erreur montrent les différentes composantes de vitesses observées en CS et SiO(2-1) avec le télescope de Kitt Peak, superposés sur le diagramme CO(1-0) de Bally et al (1988), d'après Rodriguez-Fernandez et al (2003).*



### 4.3.12 Poussière froide dans les parties externes des galaxies

L'émission de la poussière en infra-rouge lointain (IRAS, ISO) a permis de mettre en évidence des flambées de formation d'étoiles, obscurcies en optique ; pourtant la quantité de poussière chaude qui émet dans ce domaine n'est qu'une minorité de la masse totale de la poussière d'une galaxie, la loi d'émission étant proportionnelle à une puissance 4 à 6 de la température. Dans le millimétrique, l'émission de la poussière est linéaire avec la température, et une vue plus juste de la masse totale de gaz peut être obtenue (dépendante de la métallicité toutefois). Des cartographies avec le bolomètre SCUBA sur le JCMT ont été effectuées pour des galaxies proches (NGC 6946, NGC 7331) et l'émissivité de la poussière a pu être mesurée. La surprise est que celle-ci varie beaucoup d'une galaxie à l'autre, de près d'un facteur 10 (Alton et al 2001, 2002).

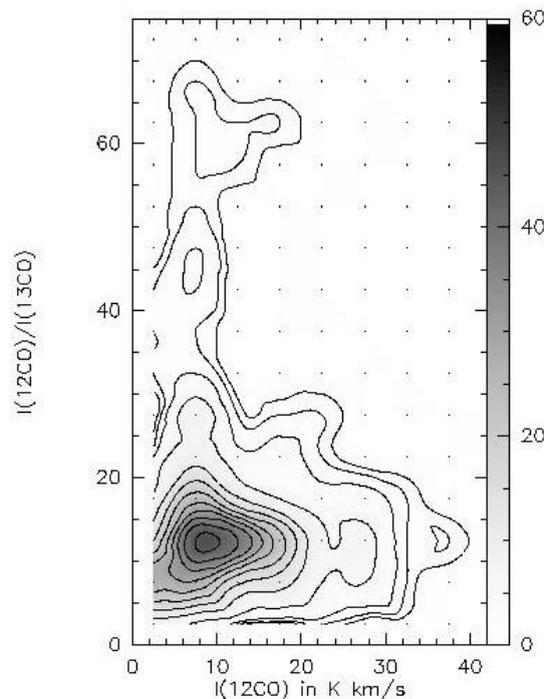
**Figure 7 :** Cartographie de NGC 6946 à 850 microns avec SCUBA sur le JCMT : **à gauche**, carte de la poussière émettant à 850 microns, **à droite**, superposition des contours 850 microns sur l'image bleue (Alton et al 2002).



### 4.3.13 Le composant moléculaire des Nuages de Magellan

L'émission CO dans les deux raies (1-0) et (2-1), de même que son isotope  $^{13}\text{CO}$  a été cartographiée dans les Nuages de Magellan, dans le cadre d'un programme clef sur le SEST (Garay et al 2002, Israel et al 2003). Comme la métallicité des LMC et SMC est plus faible que celle de la Voie Lactée, cela donne l'occasion de tester les effets sur le rapport CO/H<sub>2</sub>, et les effets sur les conditions physiques des nuages moléculaires (excitation, température, densité). Un des principaux résultats est que l'émission CO est bien plus réduite spatialement dans les LMC/SMC : le CO ne dépasse pas l'étendue du gaz ionisé autour des régions de formation d'étoiles. Le rapport isotopique est 3 fois plus élevé, mais surtout les régions de photodissociation (bords des nuages moléculaires) surviennent bien plus tôt, expliquant les nuages apparemment plus petits (ils ne le sont pas forcément dans la molécule H<sub>2</sub>).

**Figure 8 :** Rapport isotopique dans le Grand Nuage de Magellan, en fonction de l'intensité intégrée de l'émission CO(1-0) (Israel et al 2003).



### 4.3.14 Formation d'étoiles dans les galaxies naines

Dans les galaxies naines, la formation d'étoiles n'a pas été très importante dans le passé, et les abondances d'éléments sont très faibles, ce qui a pu faire croire que l'on assistait à la première formation d'étoiles dans les naines starburst, comme pour les galaxies primordiales. Leboutellier et al (2004) viennent de mettre en évidence, grâce au satellite FUSE, une différence irréfutable d'abondance entre le gaz neutre et le gaz ionisé de la galaxie bleue compacte IZw36. Les interprétations possibles sont l'auto-enrichissement du gaz ionisé par les étoiles présentes, la déplétion sur les grains dans le gaz neutre, ou la présence de gaz neutre externe en absorption sur la ligne de visée.

### 4.3.15 Phénomènes d'environnement dans les amas de galaxies

Dans les environnements riches, où la densité de galaxies est très importante comme les amas denses de galaxies, un certain nombre de phénomènes dynamiques font évoluer les galaxies à une plus grande vitesse, ce qui donne lieu à la ségrégation morphologique: au lieu de 66% de spirales comme dans les amas, les galaxies sont à 66% elliptiques ou lenticulaires. Les spirales sont anémiées et le taux de formation d'étoiles en est perturbé (Boselli et al 2003). De nombreux débats se sont développés, à savoir si les effets de formation ("Nature") étaient plus importants que l'évolution ("Nurture"), il semble que les deux soient aussi importants. Par exemple les effets de marée entre galaxies, ou le balayage du gaz par le vent inter-galactique est étudié dans Virgo (Jachym et al 2004). Les elliptiques par contre seraient formées bien avant l'amas dans des petits groupes, qui ensuite auraient fusionné dans l'amas. Des échantillons de galaxies isolées sont étudiés afin de fournir une calibration solide à la comparaison entre différents environnements (Sauty et al 2003, Verley et al 2004).

#### **4.3.16 Prospective pour 2006-2009**

Dans les années futures, de nombreux instruments et expériences vont voir le jour, qui vont considérablement développer nos activités :

En 2007, les 8 premières antennes d'ALMA vont commencer leurs opérations, et nous préparons des projets clefs sur les galaxies proches (ALMA-SONG), en commençant un survey avec l'interféromètre du Plateau de Bure.

En 2007, devrait être lancé le satellite Herschel. Nous préparons avec des simulations numériques des templates d'observations de galaxies à tout redshift, et dans de nombreuses phases dynamiques (instabilités de barre, flambées de formation d'étoiles, interactions et fusions de galaxies). Nous avons des projets d'observation avec Spitzer sur les galaxies proches, sur des galaxies d'amas, et notamment un projet pour observer les raies de rotation pures de l'hydrogène moléculaire dans les parties externes des galaxies (calibration du rapport CO/H<sub>2</sub>, et recherche de la matière noire baryonique).

Nous participons, entre autres, à un Grand Programme ESO-VLT avec le spectrographe Giraffe, dont le but est d'observer le champ de vitesses 2D de 300 galaxies du champ profond GOODS du HST : avec cet échantillon à redshift compris entre 0.5 et 1, il va être possible de déterminer l'évolution dans le temps de la séquence de Hubble elle-même, et l'évolution de la quantité de matière noire dans les galaxies (avec l'évolution des barres, des spirales, etc.).

Nous participons aussi à la préparation scientifique de l'expérience MUSE (spectro VLT 2<sup>ème</sup> génération), et faisons partie des groupes de réflexion pour les ELT (Extremely Large Telescopes).

Enfin, d'un point de vue simulations numériques, le projet HORIZON va être lancé en septembre 2004, pour une durée de 4 ans. De nombreuses simulations de formation de galaxies dans un contexte cosmologique, dans toute une gamme d'échelles, vont être effectuées, et notamment une simulations de 10 milliards de particules, représentant tout l'horizon visible, soit un volume de Hubble. Beaucoup de phénomènes physiques vont être testés, de la formation d'étoiles et son feedback, au transfert de rayonnement, et à la ré-ionisation de l'Univers. Ces simulations vont nous permettre de mieux préparer les programmes sur ALMA, et aussi de contribuer au design de l'instrument SKA (Square Kilometer Array). Cet instrument sera unique pour la détermination de la matière noire autour des galaxies à grand redshift.



## ***5 UNIVERS PRIMORDIAL ET GRAVITATION***



## **5.1 GRAVITATION ET RELATIVITE**

Le thème de recherche *Gravitation et Relativité* comprend :

**5 personnels de recherche permanents**

**(astronomes, chercheurs CNRS, enseignants-chercheurs) :**

Marie-Christine Angonin

Christian Bordé (également membre du LPL-UMR 7538)

Fabrice Debbasch

Jérôme Gariel

**Philippe Tourrenc (responsable)**

**3 chercheurs associés :**

Cécile Barbachoux (ATER à l'UPMC en 2002-2003)

Gérard Le Denmat

Gilbert Marilhac

**1 visiteur longue durée :**

Nilton Santos. *Rio de Janeiro (Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas / CBPF)*

**2 étudiants :**

Charles Antoine

Monica Varvella

**Principales Collaborations depuis 2000:**

*W. Ertmer et E. Rasel (Université de Hanovre),*

*Theo Hänsch (Université de Munich),*

*C. Lämmerzahl (Université de Brême),*

*F. Vetrano et G. Tino (Université de Florence),*

*S. Capozziello (Université de Salernes),*

*Ll. Herrera (Universidad Central de Venezuela),*

*N. Santos - Rio de Janeiro (Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas / CBPF),*

*A Balakin (Université de Kazan),*

*Parmi les laboratoires français citons :*

- *Le LPS, le LPTL, l'INRA, l'université Paris5, l'ENS de Lyon et l'université d'Orsay pour la physique statistique du champ de gravitation et de ses sources.*
- *Le SYRTE, le LKB, l'IOTA pour la gravitation expérimentale et l'interférométrie atomique.*

**Programmes nationaux :**

**PPF :** « Gravitation, inertie, tests expérimentaux » demandé conjointement avec le LKB, le SYRTE et l'ESPCI.

*GdR Gravitation et expérience dans l'espace (GREX)*

**Points forts de la période 2001-2004**

Au LERMA, le thème "Gravitation et Relativité" recouvre des approches différentes du domaine. Chacune de ces approches a fourni des résultats marquants.

- Dans le domaine théorique, la découverte d'une nouvelle métrique, qui généralise la métrique de Kerr est sans aucun doute un événement marquant (§.2.23 ii). Le traitement statistique du champ de gravitation constitue, quant à lui, une approche originale dont les premiers résultats montrent l'intérêt : dans un tel cadre, certaines observations s'interprètent en effet comme un halo de matière autour d'une masse centrale (§.3.3). Ce résultat, parmi d'autres, justifie que l'on approfondisse ces questions dans le présent contexte où la matière noire continue de soulever des interrogations.
- Les travaux concernant la gravitation expérimentale et l'interférométrie atomique ont permis de construire des méthodes générales dont le champ d'utilisation est vaste (navigation et positionnement spatial mais aussi physique fondamentale). L'extension du formalisme ABCD pour le traitement de l'interférométrie atomique constitue une avancée qui permet d'étudier, entre autres phénomènes, l'effet des champs de gravitation et d'inertie lorsqu'ils sont connus (§.5.2). C'est précisément cette connaissance que permet la méthode élaborée à l'occasion du projet HYPER (§.4.4).

**Thèses soutenues pendant la période 2001-2004**

M. Varvella (thèse soutenue en 2003)

C. Antoine (soutenance prévue fin 2004)

### **5.1.1 Introduction.**

Au LERMA, le thème «Gravitation et Relativité » est principalement développé au sein de l'ERGA (groupe formé pour l'essentiel d'enseignants chercheurs, et implanté à l'université P. & M. Curie). Il recouvre plusieurs travaux, complémentaires ou indépendants qui concernent la relativité et l'astrophysique, la physique statistique du champ de gravitation et de ses sources, la gravitation expérimentale et l'interférométrie atomique.

### **5.1.2 Relativité et Astrophysique**

C. Barbachoux (ATER en 2003), G. Le Denmat, J. Gariel, G. Marcihacy, N.O. Santos (visiteur de longue durée à diverses reprises- *Rio de Janeiro, Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas / CBPF*) et L. Herrera (*Université de Caracas, Venezuela*, invité à diverses reprises).

#### **5.1.2.1 Introduction**

Nos travaux concernent les métriques axisymétriques en relativité générale, les aspects dissipatifs de l'effondrement gravitationnel ainsi que la modélisation et l'évolution de la densité d'énergie du vide en cosmologie (ce dernier sujet étant seulement rappelé ici pour mémoire).

#### **5.1.2.2 Les métriques axisymétriques en RG**

C. Barbachoux, J. Gariel, G. Marcihacy et N.O. Santos.

Nos travaux concernent l'obtention et l'étude des solutions axisymétriques en R.G.

*Motivations* : L'importance théorique grandissante des métriques axisymétriques, en liaison avec les cordes (cosmiques). Et, surtout, l'étude des jets extragalactiques, en liaison avec les sursauts gamma, les noyaux actifs de galaxies, etc. Notre but, à terme, est d'étudier les géodésiques des métriques axisymétriques stationnaires (du type Kerr), pour voir s'il existe de nouvelles modélisations, les plus simples possibles, des jets, dont il devient de plus en plus évident qu'ils ne peuvent s'expliquer que par des phénomènes d'une très grande énergie, dont l'origine pourrait provenir de processus de type «Penrose » dans l'ergosphère d'un trou noir.

##### **5.1.2.2.1 Symétrie sphérique statique chargée : métrique de Reissner-Nordstrom**

A partir de la relation entre la masse géométrique de Schwarzschild et le paramètre de masse de RN permettant de passer d'une métrique à l'autre, nous étudions son influence sur les mérites respectifs de deux définitions de la masse en RG (Barbachoux et al., 2002).

##### **5.1.2.2.2 Etude de la métrique cylindrique stationnaire de Lewis**

Nous revisitons la solution cylindrique de Lewis. Nous montrons que la structure des équations auxquelles satisfont les coefficients de la métrique peut être interprétée en termes de mouvement d'une particule ponctuelle classique dans un champ de force centrale. Nous présentons l'ensemble des solutions et montrons qu'on peut trouver ce qu'on appelle la « classe de Lewis » sans avoir recours à des paramètres complexes (Gariel et al. 2000).

##### **5.1.2.2.3 Etude de métriques axisymétriques stationnaires**

i) Nous avons utilisé la méthode connue sous le nom de "Méthode de l'Euclidon" pour engendrer la solution de Kerr (Gariel et al., 2001) et diverses solutions stationnaires à symétrie axiale (Gariel et al., 2002b).

ii) Nous avons obtenu une *nouvelle solution exacte (axisymétrique stationnaire) à trois paramètres*, le nouveau paramètre, sans dimension, révélant des propriétés topologiques

intéressantes de l'ergosphère (les deux autres paramètres, usuels, étant la masse et le moment angulaire du trou noir) (Gariel et al., 2002a).

iii) Nous avons étendu notre approche de la métrique cylindrique de Lewis au cas axisymétrique et avons montré qu'on retrouvait ainsi la dite «S(A) solution» (Gariel et al., 2003a)

iv) Nous avons étudié l'influence d'un troisième paramètre, du type de celui trouvé ci-dessus, sur la métrique de Kerr : la déformation topologique de l'ergosphère est différente de celle constatée dans le cas ii) ci-dessus (Gariel et al., 2003b).

v) Nous avons fait de même à partir de la métrique de Kerr-Newman-Umbi-Tamburino (Gariel et al., 2004).

### **5.1.2.3 Le Collapse gravitationnel**

(Collaboration : L. Herrera, G. Le Denmat et N.O. Santos)

Les auteurs ont étudié l'effondrement gravitationnel d'un fluide radiatif sans cisaillement lorsqu'on impose une métrique sphérique non statique conformément plate. La solution générale obtenue est raccordée à une métrique extérieure (radiative) de Vaidya. Ils présentent ensuite un modèle physique simple donnant une solution approchée montrant le rôle des processus de relaxation et le lien étroit entre la dissipation et l'hétérogénéité de densité (Herrera et al., 2004).

## **5.1.3 La physique statistique du champ de gravitation et de ses sources (F. Debbasch)**

### **5.1.3.1 Introduction**

Cette recherche concerne l'interface entre physique statistique et géométrie sous trois aspects principaux : les milieux continus relativistes, la physique statistique du champ de gravitation, et les applications à la biophysique. Ces derniers travaux sont motivés par l'intérêt d'appliquer à ce domaine les méthodes fructueuses développées pour l'étude des deux sujets précédents.

### **5.1.3.2 Milieux continus relativistes**

Nous avons proposé une démonstration de la nature scalaire de la fonction de distribution à une particule, les démonstrations existantes nous semblaient laisser beaucoup à désirer.

Pour fournir une preuve à la fois générale et rigoureuse nous avons introduit de nouveaux ensembles statistiques qui sont des invariants relativistes ; il s'agit d'ensembles d'histoires et non d'ensembles d'états, comme c'est usuellement le cas, car cette dernière notion n'est elle-même pas invariante. La fonction de distribution construite à partir des ensembles d'histoires coïncide le plus souvent avec la fonction de distribution usuelle (Debbasch et al., 2001).

En étendant à la relativité générale la preuve présentée par Debbasch et al. (2001), nous avons effectué, avec rigueur, un bilan de matière dans l'espace des phases, ce qui n'avait pas été fait précédemment.

Les seules théories dont la limite galiléenne ne semble pas contredite par l'expérience prédisent l'existence d'écoulements dissipatifs qui violent le principe de relativité d'Einstein.

Pour éclairer les problèmes rencontrés par ces théories et, en particulier, pour mieux comprendre comment il est possible, dans le domaine relativiste, de passer naturellement d'une description statistique évoquée plus haut à une description à «grandes échelles» des phénomènes dissipatifs, nous avons introduit il y a quelques années un modèle-jouet de phénomènes irréversibles relativistes. Nous l'avons appelé le processus d'Ornstein-Uhlenbeck relativiste. Nous avons récemment obtenu les équations fondamentales élargissant la définition du processus au cadre de la relativité générale (Debbasch, 2004b, à paraître dans J. Math. Phys.). Nous avons aussi proposé une application cosmologique simple de ce travail en

étudiant certains aspects du phénomène de diffusion dans un univers à la Friedmann-Robertson-Walker spatialement plat.

### **5.1.3.3 Physique statistique du champ de gravitation**

Nous avons introduit un nouveau formalisme permettant de traiter, dans le cadre de la relativité générale, des ensembles statistiques d'espace-temps (Debbasch, 2004a). Ce formalisme permet notamment de définir précisément et d'évaluer proprement tout type de valeurs moyennes : la métrique moyenne, la densité moyenne d'énergie et la pression moyenne par exemple. Une des conclusions de ce travail est que la notion même de matière n'est pas invariante d'échelle et que de la "matière apparente" est « créée » par tout processus de moyenne.

### **5.1.3.4 Biophysique**

Enfin, nous travaillons aujourd'hui sur plusieurs sujets d'intérêt biologique où interviennent naturellement des problèmes similaires (au moins techniquement) à ceux qui viennent d'être évoqués : phénomènes de diffusion et structure géométrique de l'ADN.

## **5.1.4 La gravitation expérimentale [M-C. Angonin, Ph. Tourenç, M. Varvella (doctorante)]**

### **5.1.4.1 Introduction**

Toutes les formes d'énergie, matière et rayonnement, contribuent à la création des champs de gravitation. Cependant, ceux-ci restent le plus souvent faible; c'est le cas dans le système solaire. Les expériences mises en œuvre sont pratiquement insensibles aux perturbations gravitationnelles engendrées par le système expérimental lui-même. Il convient seulement de prendre en compte l'effet des champs gravitationnels créés par son environnement immédiat et lointain. C'est dans ce cadre d'approximation que se situe la gravitation expérimentale.

La gravitation agit sur les systèmes les plus divers mais ses effets post newtoniens sont restés longtemps négligeables. Ce n'est plus le cas aujourd'hui tant sont sensibles les dispositifs expérimentaux actuels. Cette situation a une double conséquence : d'une part, il devient possible d'étudier les faibles perturbations du champ de gravitation et, d'autre part, il n'est plus possible d'en négliger les effets dans les expériences de pointe, quels qu'en soient la nature et l'objectif. La gravitation expérimentale concerne donc l'instrumentation de toutes les expériences de pointe (Tourenç, 2000 ; Tourenç et al., accepté dans *American Journal of Physics*).

Un important travail théorique a déjà été accompli, mais un important travail est encore à venir. Les outils dont nous disposons sont encore suffisants pour porter une appréciation quantitative sur de nombreuses propositions d'expérience. C'est ce que nous avons fait à la demande des intéressés.

Dans la période 2000-2004, nous avons étudié la possibilité de tester le principe d'équivalence par des moyens nouveaux mettant en œuvre l'interférométrie atomique. Cependant notre travail principal nous a permis d'achever l'étude des trois problèmes que nous présentons succinctement et qui concernent principalement l'effet des champs de gravitation sur des systèmes ondulatoires : ondes électromagnétiques et ondes de matière.

### **5.1.4.2 Dulkyn**

A la fin du siècle dernier (le vingtième siècle), le groupe de gravitation relativiste de Kazan (Tatarstan) a construit un interféromètre optique de conception nouvelle, destiné à la détection

des ondes gravitationnelles. Nous avons modélisé l'appareil et démontré qu'il n'est pas bien adapté à la détection des ondes gravitationnelles (Tourrenc & Balakin, 2000).

#### **5.1.4.3 Les mirages gravitationnels d'ondes gravitationnelles**

Nous avons accueilli Monica Varvella à la demande du professeur L. Milano pour co-diriger sa thèse (M-C. Angonin et Ph. Tourrenc à l'ERGA).

Les mirages gravitationnels de sources optiques ont été étudiés très en détail depuis plus de quinze ans. Par contre, les mirages gravitationnels d'ondes gravitationnelles n'ont fait l'objet que de peu de travaux. On distingue deux régimes différents. A basse fréquence, des phénomènes de diffraction sont envisageables avec les ondes gravitationnelles. De tels phénomènes conduisent à des amplifications importantes au voisinage des caustiques mais ne concernent pas les détecteurs terrestres « haute fréquence » (Virgo et LIGO par exemple).

Nous avons démontré qu'à l'approximation eikonale on pouvait calculer (en valeur relative) l'accroissement,  $\Delta$ , du nombre de signaux détectés sans pour autant connaître ce nombre. Les valeurs de  $\Delta$  restent très faibles. Ce résultat n'est pas très surprenant, mais pour la première fois il était clairement démontré sous des hypothèses explicites. Remarquons que l'absence d'intérêt statistique laisse intacte l'importance que présenterait une source "bien placée" dans le cas où le rapport signal sur bruit resterait faible sans l'amplification de l'image correspondante (Arnaud-Varvella et al., 2003 a et b ; Arnaud-Varvella et al., 2004).

#### **5.1.4.4 HYPER**

L'interférométrie atomique (voir ci-dessous) permet d'atteindre des sensibilités considérables dans la mesure des champs de gravitation et d'inertie : rotations, accélérations et gradients de tous ordres. Le projet HYPER (*Hyper-Precision Cold Atom Interferometry in Space* ; Bingham et al., 2000) est né avec le but de cartographier l'environnement de la Terre. Neuf pays européens ont adhéré à ce projet dont l'étude a été approfondie par un groupe plus restreint de quelques personnes en Allemagne, en France et au Royaume Uni.

Il nous a été demandé d'étudier les difficultés liées à l'observation de l'effet Lense-Thirring (mouvement de rotation des repères locaux d'inertie entraînés par la rotation de la Terre). Nos travaux concernant HYPER relèvent tout à la fois de l'interférométrie atomique (voir ci-dessous) et de l'étude des champs de gravitation locaux.

Les interféromètres sont sensibles à de nombreuses perturbations parmi lesquelles nous avons étudié l'effet des champs gravito-inertiels, à la précision de 1% de l'effet Lense-Thirring.

Dans ce but, nous avons introduit un système de coordonnées local quasi minkowskien dans lequel nous avons déterminé la métrique pertinente jusqu'à l'ordre requis. Des calculs d'ordre de grandeur permettent d'éliminer les effets modélisables à la précision voulue.

La conclusion générale de l'étude montre que des rotations de l'ordre de  $10^{-16}$  rad/s peuvent être observés sous réserve, entre autres contraintes, que la géométrie des interféromètres soit connue au nanomètre près. C'est la contrainte principale, irréalisable aujourd'hui (Angonin et al., 2004).

Plus importante que le résultat lui-même, *la méthode mise au point* a fait l'objet de plusieurs publications et conférences (Tourrenc et al., 2004).

### **5.1.5 L'interférométrie atomique [(Ch. Antoine (doctorant), Ch. Bordé)]**

#### **5.1.5.1 Introduction**

L'utilisation des interféromètres atomiques comme senseurs de champs gravito-inertiels remonte à 1989 (Bordé, Physics Letters (1989), Riehle et al., Phys. Rev. Lett. **67** (1991)).

La période actuelle se caractérise par une forte activité expérimentale et des développements rapides au niveau international. De nombreux projets sont couramment imaginés, utilisant la

grande sensibilité des interféromètres atomiques aux champs gravito-inertiels, entre autres. Dans ce contexte, l'élaboration d'une théorie rigoureuse permettant de modéliser les interféromètres atomiques devenait nécessaire.

#### **5.1.5.2 Travaux**

Un faisceau laser permet de diviser une onde atomique initialement dans son état fondamental en une superposition cohérente de deux bras dont l'un est dans un état excité. Un tel système peut donc être utilisé comme séparatrice pour réaliser un interféromètre atomique (interféromètre de Ramsey-Bordé). Une théorie générale de ces interféromètres a été établie qui présente les caractéristiques suivantes :

- Traitement quantique complet des ondes atomiques en présence de champs gravito-inertiels et/ou électromagnétiques et en particulier dans les séparatrices
- Seconde quantification des champs de matière
- Traitement covariant, incluant le spin, permettant la prise en compte des effets de relativité générale.

Dans ce cadre, nous avons étudié de nombreux effets que l'on rencontre ou que l'on rencontrera dans les capteurs gravito-inertiels et les horloges atomiques présentes et futures (Bordé et al., 2000 ; Bordé, 2002 ; Antoine & Bordé, 2003 a et b ; Bordé, 2004).

Cet outil généralise le formalisme des matrices ABCD propre à l'optique de façon à pouvoir l'appliquer au cas des ondes de matière. Il nous a permis d'étudier de nombreux effets dans un cadre relativiste et d'obtenir, par exemple, les déphasages qui apparaissent dans les gravimètres à ondes de matière ou dans les horloges en fontaine. Pour résumer, nous sommes en mesure, aujourd'hui, de calculer les déphasages exacts qui apparaissent dans tout interféromètre à ondes atomiques.

#### **5.1.6 Prospective pour 2006-2009**

1- Dans le domaine de la relativité et de l'astrophysique, les développements à venir s'orienteront vers l'étude des domaines suivants :

- Les jets relativistes,
- Les phénomènes dissipatifs dans les effondrements gravitationnels,
- L'énergie du vide et la constante cosmologique.

2- La physique statistique du champ de gravitation et de ses sources est un domaine nouveau par la façon d'approcher la question. La méthode employée fournit des résultats intéressants. Il est clair que ce sujet sera approfondi dans les années qui viennent.

3- Des anomalies ont été constatées dans le mouvement des sondes Pioneer. Une accélération supplémentaire d'origine inconnue, dirigée vers le Soleil, subsiste. La communauté scientifique concernée est maintenant convaincue de la réalité de cette accélération qui ne s'explique par aucune des perturbations envisagées et pourrait donc être de nature fondamentale. Nous envisageons d'étudier les anomalies et de participer à la conception d'une mission spatiale dédiée.

Dans un domaine très différent, nous comptons accompagner le lancement de la constellation Galileo par la mise en place d'un enseignement sur la navigation et le positionnement par satellite.

4- Dans le domaine de l'interférométrie atomique, le moment est venu d'étudier les cavités à ondes de matière. De telles cavités pourraient bien jouer un rôle aussi important en physique que leur équivalent électromagnétique dans un domaine différent.

## *Univers primordial et gravitation*

La question de l'amplification des champs atomiques et la conception d'un «atom-laser» se pose avec acuité. Nous envisageons d'approfondir cette question.

## **5.2 PHYSIQUE DE L'UNIVERS PRIMORDIAL**

Le thème de recherche « **Physique de l'Univers Primordial** » comprend :

**2 personnels de recherche permanents**

**(chercheurs CNRS):**

Jean-Michel Lamarre (DR1 CNRS)

Norma G. Sanchez (DR2 CNRS)

**3 chercheurs associés :**

Monique Signore (Associée, CNRS)

Héctor J. de Vega (DR1 CNRS)

Massimo Giovannini (boursier au CERN-TH)

**2 post-doctorants :**

Francisco J. Cao

Daniela Cirigliano

**1 étudiant :**

Diego J. Cirilo , thèse en co-tutelle avec le Bogoliubov Laboratory, Dubna

**3 ITA dans l'équipe Planck**

Alain Coulais (IR2 CNRS, 50%)

Bruno Quenez (IR2 CDD, 80%)

Geneviève Recouvreur (IR2 CDD, 20%)

**Principales Collaborations :**

Héctor J. de Vega (LPTHE, UMR 7589 CNRS, Paris VI)

Marina Ramon Medrano (Universidad Complutense de Madrid)

Gabriele Veneziano, Collège de France, Paris

Massimo Giovannini, CERN, /TH

Daniel Boyanovsky (University of Pittsburgh, USA)

Argyris Nicolaidis, University of Thessaloniki, Greece

Maurizio Gasperini, INFN-Univ di Bari, Italie

Maria Cristina Falvella, Agenzia Spaziale Italiana, Rome

Alba Zanini, INFN - Università di Torino

**Dans la collaboration Planck :**

Caltech (Pasadena) : A. Lange

CESR Toulouse : Isabelle Ristorcelli, Martin Giard, J. Brossard

Collège de France : Michel Piat

IAS Orsay : Groupe Planck

Université de Cardiff : Peter Ade, Bruno Maffei, ...

Université de Maynooth (Irlande) : Anthony Murphy, V. Yurchenko

***Moyens utilisés :***

Dans l'équipe Théorie, les moyens utilisés sont d'abord destinés à faciliter les collaborations : visiteurs, invitations, missions, séminaires, ateliers, colloques.

Autres moyens utilisés : ouvrages spécialisés, calcul analytique, calcul numérique au service de la théorie.

Action BQR du Conseil Scientifique de l'Observatoire de Paris.

Programmes bilatéraux, programmes NSF, UE, NATO et INTAS.

Dans le projet Planck, les contributions autres que le personnel permanent sont essentiellement financées par le CNES. Le soutien logistique général est fourni par l'Observatoire de Paris.

***Points forts de la période 2001-2004***

Les travaux du groupe théorie ont pour objectif de développer des idées nouvelles en physique fondamentale pour l'astrophysique et la cosmologie dans les domaines de la gravité, de la théorie des champs, de la théorie des cordes, des trous noirs, avec un accent particulier sur les prédictions de conséquences observables. Le groupe a mené un travail pionnier sur la théorie des cordes en cosmologie et sur la théorie des trous noirs, et animé un réseau de recherche européen et un réseau INTAS dédiés. Des travaux importants ont été menés sur la phase d'inflation de l'univers, en relation avec les résultats de WMAP et la prédiction d'observations des missions post-WMAP.

D'autres travaux importants concernent les gaz et fluides autogravitants (solitons et instabilités, dérivation de l'équation d'état et grandeurs physiques, transitions et diagrammes de phase) et les rayons cosmiques de très haute énergie.

Fabrication de l'instrument Planck-HFI suivant les spécifications définies par l'Instrument Scientist. Production au LERMA du logiciel de simulation de l'instrument « simuCQM ». Nouvelle définition de la philosophie des calibrations au sol.

## **5.2.1 Introduction**

La petite équipe «physique de l'univers primordial » a un volet théorique animé par Norma Sanchez et un volet expérimental organisé autour de JM Lamarre.

Le groupe théorique est fort de nombreuses collaborations. Il contribue à l'émergence d'idées et d'approches nouvelles reconnues au niveau international. Il entend continuer dans cette direction par ses analyses et travaux, par les colloques, écoles et discussions régulières qu'il organise ou auxquelles il contribue au niveau local, national ou international. L'Ecole Internationale d'Astrophysique Daniel Chalonge est un laboratoire d'idées où plusieurs lignes des recherche nouvelles ont vu le jour, produit des résultats nouveaux et formé des jeunes chercheurs.

L'équipe expérimentale est dirigée par l'Instrument Scientist de l'instrument HFI et bénéficie de contributions d'ingénieurs de haut niveau. C'est un élément indispensable de la collaboration Planck, qui est son espace naturel de travail. Les travaux menés par Monique Signore en étroite collaboration avec le groupe G31 de l'université Roma I fournissent à l'équipe un point de contact enrichissant avec la cosmologie observationnelle moderne.

## **5.2.2 Théorie de l'Univers primordial confrontée aux observations : les contraintes du CMB**

### **5.2.2.1 Introduction**

La compréhension des premiers états de l'univers et des étapes finales d'évaporation des trous noirs appelle l'unification quantique de toutes les forces y compris la gravité. Ces problèmes sont au centre de la physique et de la cosmologie actuelles. La description de l'univers primordial a besoin de la théorie quantique des champs, des cordes, hors équilibre thermique et non perturbative. Les observations du CMB (anisotropies et polarisation) actuelles et à venir exigent une très grande précision dans les calculs et prédictions théoriques. Les résultats de WMAP ont montré que des tests concrets de la théorie de l'inflation sont maintenant possibles. Une meilleure compréhension de la phase d'inflation et des prédictions observationnelles sont donc essentielles pour les futures expériences d'observation du CMB. La polarisation du CMB et les corrélations température-polarisation permettent de discriminer entre les modèles. Il est donc très important et urgent de disposer de modèles prédictifs fiables.

### **5.2.2.2 Travaux**

L'équipe a eu une approche pionnière dans l'introduction de la théorie des cordes en gravitation et cosmologie. L'approche conceptuelle pour la théorie et l'interprétation des données est un point fort de cette équipe.

#### ***Nouveaux résultats obtenus pour la Théorie des Cordes en Cosmologie et l'Inflation :***

(i) Méthodes analytiques pour la dynamique non linéaire des cordes en cosmologie et gravitation forte. (ii) Nouveaux effets physiques, notamment l'instabilité des cordes dans l'inflation et près des trous noirs, la dérivation de l'équation d'état des cordes (constante

cosmologique, radiation et matière) et la construction d'un modèle d'univers avec ces trois régimes. Prédiction : densité totale de l'univers  $\Omega = 1$  et spectre des gravitons primordiaux avec un pic à des fréquences autour de 1.48 MHz. Il n'y a pas des paramètres libres dans cette théorie. (iii) Corrections quantiques aux fluctuations du CMB (en  $m^2/H^2$ , étant la masse de l'inflaton, et H la constante de Hubble au croisement de l'horizon).

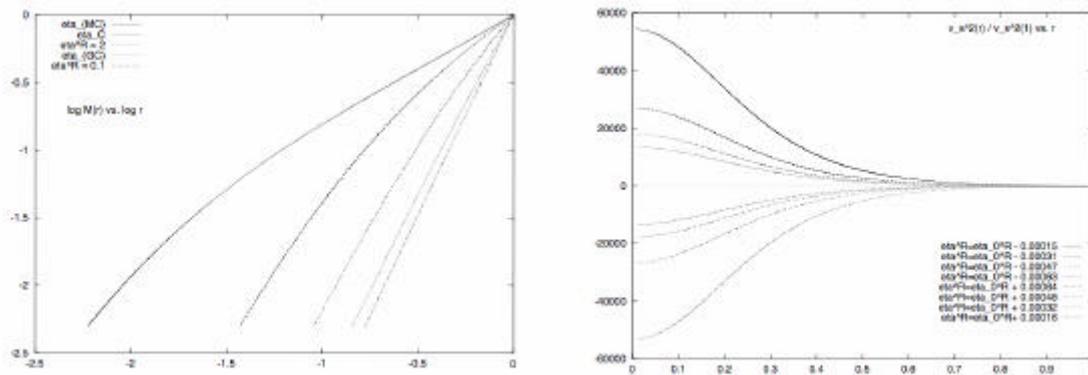
**Références :** Infante et al. (2000), de Vega et al. (2000). Sanchez et al (2003a, 2003b), Cao et al., *astro-ph/0606168*

**Évaporation finale des trous noirs:** spectre d'émission finale et transition de phase: il n'y a pas de «paradoxe de perte de l'information», le trou noir vers sa fin se désintègre comme une corde quantique, en radiation pure (non thermique) ; premier résultat explicite pour la fin des trous noirs. Ce travail a fait l'objet d'une nouvelle scientifique de l'Observatoire de Paris en avril 2000 et a précédé de 4 ans les résultats récemment annoncés par Stephen Hawking. Une **unification conceptuelle des particules élémentaires et trous noirs** a été proposée en incluant **les états primordiaux de l'univers** (nouvelle scientifique OP en janvier 2004).

**Références :** Medrano and Sanchez, (2000), Larsen and Sanchez, (2001). Medrano and Sanchez, (2003). Sanchez, hep-th/0312018, IJMPA.

**Nouveaux résultats pour les gaz et fluides autogravitants (pour le milieu interstellaire et galaxies) :** (i) méthodes Monte-Carlo, expansions à haute température et du champ moyen. (ii) Limite thermodynamique, dérivation de l'équation d'état et des grandeurs thermodynamiques, hiérarchie des points critiques.(iii) Structures fractales et dimension de Hausdorff. Ces travaux ont suscité un grand intérêt et inspiré des travaux théoriques en France et à l'étranger. (iv) Extension hydrodynamique des instabilités gravothermales et propriétés de fragmentation.

**Références :** Semelin et al (2001), de Vega and Sanchez, (2002a, 2002b)



**Fig . à gauche.** Vitesse du son  $v^2(r)/v^2(1)$  hétérogène ( fonction de la position  $r$ ) pour diverses valeurs de la variable caractéristique  $\beta$  du gaz auto-gravitant autour du point critique ( $\beta$  est liée à la longueur de Jeans).  $\beta^2$  positive : phase gazeuse ( $\beta < \beta_c = 2.43450.$ ) ;  $\beta^2$  négative : phase collapsée.  $\beta^2$  tend vers +/- infini au point critique **Fig. à droite.** Variation de la masse du gaz auto-gravitant avec la position  $r$  (en diagramme logarithmique) pour diverses valeurs de  $\beta$ . La dimension fractale décroît à partir de 3 (gaz idéal) jusqu'à 0.98 (limite extrême de la phase gazeuse, au-dessous de laquelle le système est collapsé).

**Les rayons cosmiques de très haute énergie :** Nous avons clarifié la théorie des modèles existants et montré que les modèles « top down » sont très défavorisés.

**Références :** de Vega and Sanchez (2003).

### **5.2.3 Cosmologie observationnelle avec l'université « la Sapienza »**

Monique Signore a été nommée «Professeur Invitée» du Département de Physique de l'Université: «La Sapienza» à Rome en novembre 2000, novembre 2001 et juin 2004, puis du 1er novembre 2002 au 31 octobre 2003 dans le cadre du programme «Rientro dei Cervelli».

Dans le cadre de cette collaboration, elle a participé à l'étude de l'effet Sunyaev-Zel'dovich avec MITO (Millimetric and Infrared Testagrigia Observatory), un observatoire au sol situé au sommet (3480 m ) du col de TESTA GRIGIA (Val d'Aoste, Italie): D,Alba et al. 2001. Les mesures de l'effet S-Z ont porté essentiellement sur l'amas de galaxies (De Petris et al. 2002). Nous avons aussi mené une étude comparée des mesures de l'effet S-Z dans Coma avec OVRO, MITO et WMAP qui, combinée aux mesures faites par les instruments X de ROSAT et XMM, conduit à une détermination de la constante de Hubble (Battistelli et al. 2003).

Le principal travail entrepris pendant l'année 2002-2003 passée à ROME a été l'élaboration d'un article de revue «Precision Cosmology», proposé par la Società Italiana di Fisica: Melchiorri, Olivo-Melchiorri & Signore, 2003. En propédeutique à ce travail nous avons revu l'anisotropie dipolaire du fond cosmique de rayonnement (Melchiorri, Melchiorri & Signore, 2002).

Par ailleurs, Monique Signore a poursuivi avec Denis Puy les études entreprises antérieurement sur la chimie primordiale à partir de la nucléosynthèse produite pendant le Big Bang (Signore & Puy 2002, Puy & Signore 2002).

Monique Signore a organisé, en collaboration avec Alain Blanchard deux Ecoles de cosmologie à Cargèse, et donné deux cours sur «Supernovae & Cosmology»2001; et «Basics of Cosmology» 2004. Enfin, dans l'Ecole, organisée à Varenna, en 2004, par Francesco Melchiorri et Yoel Rephaeli, elle a présenté une conférence sur « A brief history of Primordial Nucleosynthesis ».

### **5.2.4 Etude du fond diffus cosmologique avec PLANCK**

Le projet PLANCK est un satellite de troisième génération d'observation du fond diffus cosmologique. Il en mesurera l'anisotropie avec une résolution angulaire et une sensibilité permettant de gagner plus d'un ordre de grandeur sur la quantité d'information acquise et donc sur la précision avec laquelle les paramètres cosmologiques seront déterminés. Cela pourra également permettre de discriminer des modèles encore compatibles avec les données actuellement disponibles. Il effectuera un relevé complet du ciel dans neuf bandes de fréquences entre 100 GHz et 1 THz, relevé dont on peut attendre de nombreuses retombées dans tous les secteurs de l'astrophysique. La mesure de la polarisation du rayonnement sera l'une des nouveautés majeures de PLANCK.

JM. Lamarre est l'Instrument Scientist de Planck-HFI, c'est-à-dire le garant et le dépositaire des performances de l'instrument. Il contribue au développement de l'instrument dans divers domaines. Il a mis sur pied au LERMA une petite équipe travaillant sur les aspects instrumentaux de HFI. Alain Coulais et Geneviève Recouvreur ont la charge de développer,

en étroite collaboration avec les autres composantes de l'équipe Planck et en particulier avec Michel Piat, les logiciels modélisant l'instrument. Ils ont livré au printemps 2004 la première version du logiciel SimuCQM, qui simule de façon conviviale et avec une grande fidélité la réponse de HFI. Ce simulateur est déjà installé sur de multiples ordinateurs dans la collaboration Planck. Son utilisation a permis à l'équipe du LERMA d'élaborer un changement d'approche et une réorganisation importante de l'ensemble des séquences de calibration du modèle de qualification (CQM).

Par ailleurs, Bruno Quenez a la charge, sous la responsabilité de l'Instrument Scientist, de rassembler une base de données instrumentales décrivant les caractéristiques physiques liées aux performances scientifiques de HFI. Cette base de données rassemble environ 5000 paramètres (une courbe = un paramètre) et est indispensable aux activités du Data Processing Center. Ce travail est donc mené en relation étroite avec l'équipe de l'IAP responsable du DPC, dans une évidente logique de proximité.

**Références :** Piat et al. 2001, 2002 ; Lamarre et al. 2003, Lamarre, 2002a, 2002b, 2003a, 2003b, 2003c, 2003d, 2004a, 2004b ; Benoit et al. 2002, 2003a, 2003b ; Yourchenko et al. 2004.

### **5.2.5 Prospective pour 2006-2009**

Le groupe théorique entend continuer à produire des idées et des approches nouvelles reconnues au niveau international. Les objets et les orientations prévisibles de son travail sont les suivants : (i) Révision et discrimination conceptuelle et plus fine des modèles dans la classification WMAP, pour confrontation aux données futures et amélioration des critères de sélection. (ii) Etude de nouveaux effets quantiques dans les anisotropies du CMB (iii) Spectre des fluctuations CMB issues de la théorie des cordes, ce qui constituerait le premier test de l'équation d'état des cordes en cosmologie. (iv) Champs magnétiques primordiaux issus de l'inflation et influence sur les anisotropies et la polarisation du CMB. (v) Dépendances angulaire et spectrale des cartes de polarisation CMB (étudiées analytiquement). Indices spectraux du champ magnétique primordial. (vi) Évolution des trous noirs primordiaux et traces observables.

Sur le plan expérimental, cette période devrait voir le lancement du satellite Planck et l'arrivée des premières données. Le groupe observationnel sera mis à contribution pour son expertise dans la modélisation de l'instrument HFI. Il jouera un rôle dans la conduite des opérations du satellite. L'opportunité de relier le travail instrumental à celui du groupe théorique se présentera donc. Ce lien volontariste ne peut qu'être fructueux compte tenu des orientations que propose le groupe théorique.

L'équipe Univers Primordial dispose du potentiel pour une croissance raisonnable pendant cette période. Le recrutement d'un ou deux chercheurs et l'accueil régulier de post-doctorants devraient ouvrir des possibilités nouvelles et permettraient de valoriser une ligne de travail dont la qualité est reconnue au niveau mondial.

## ***6 RADIOMETRIE HYPERFREQUENCE***



## ***Radiométrie hyperfréquence***

Le thème de recherche « **Radiométrie Hyperfréquence** » du LERMA comprend :

- **15 permanents (chercheurs, ingénieurs(\*) et techniciens):**

BA-TRUNG Michèle (TCS)  
BEAUDIN Gérard (IRHC MEN, responsable du GEMO)  
DAUPLAY Frédéric (IE2 CNRS)  
DELORME Yan (IR2 CNRS)  
DESCHAMPS André (IRHC MEN, chargé ANFR)  
ENCRENAZ Pierre (Pr HC à l'UPMC, 10%)  
GERMONT Alain (IE MEN)  
GHEUDIN Maurice (IRHC MEN, chef de projet SAPHIR)  
KRIEG Jean-Michel (IR2 CNRS, chef de projet HIFI)  
LANDRY Patrice (AI MEN)  
LECOMTE Benoit (AI CNRS)  
LEMONNIER Marie-Claude (IE CNRS)  
PERON Isabelle (IE MEN)  
PRIGENT-BENOIT Catherine (CR 1 CNRS)  
SALEZ Morvan (CR 1 CNRS, responsable "dispositifs supra")

- **3 chercheurs et ingénieurs associés :**

MAESTRINI Alain (Ens.ch.UPMC-LISIF)  
MUNIER Jean-Marie (ex IR1 MEN, retraité)  
PARDO-CARRION Juan (Ch, Madrid)

- **4 CDD/ post-doc :**

BOUSSAHA Faouzi (CDD IR 2, admis au CNRS)  
CHALLIOL Bruno (CDD IE2 CNES-OP)  
FERET Alexandre (CDD IE 2 CNES-INSU)  
MEIROLD-MAUTNER Ingo (post-doc/CDD)

- **3 Etudiants (thésitifs) :**

BAUBERT Jean (boursier /CDD : U. Chalmers - OP LERMA)  
CORDISCO Emmanuel (boursier)  
THOMAS Bertrand (boursier CNRS-CNES)

- **3 à 4 stagiaires :** (IUT, écoles d'ingénieurs, DEA, DESS)

**(\*) note : tous les ingénieurs de recherche sont titulaires du doctorat**

### **Points forts pendant la période 2001-2004**

**En « Télédétection » :** Les émissivités micro-ondes des surfaces continentales ont été calculées à partir des observations satellites. De nombreux développements ont découlé de l'analyse de ces émissivités, fusionnées avec d'autres données satellitaires telles que les observations diffusiométriques ou des mesures dans le visible ou dans l'infrarouge (estimations des températures de surface par ciel nuageux, estimation de l'humidité des sols, de l'étendue des zones inondées...)

En parallèle, un travail est mené sur l'analyse des observations micro-ondes pour l'étude des nuages convectifs. Un concept de mission satellite pour la caractérisation des nuages de glace a été développé et a donné lieu à plusieurs contrats avec l'ESA et Eumetsat.

#### **En « Instrumentation Hyperfréquence » :**

- **R et D :** Des résultats exceptionnels (état de l'art international) ont été obtenus au GEMO en 2004 sur les mélangeurs submillimétriques à diodes Schottky de type subharmonique (SHP), sur les mélangeurs et oscillateurs à multijonctions à supraconducteurs (SIS), ainsi que sur notre contribution, avec le LISIF (UPMC) aux multiplicateurs de fréquences Herschel-HIFI pour le JPL.

- **Instrumentation spatiale :** Au-delà des tests en vol réussis sur l'instrument MIRO (en collaboration JPL et MP Ae sur la sonde spatiale Rosetta de l'ASE, lancement effectué avec succès par Ariane 5 le 2 mars 2004), des résultats exceptionnels (état de l'art international) ont été également obtenus en 2004 par le GEMO sur le modèle de qualification (QM) du canal 1 de l'instrument HIFI de l'Observatoire spatial en ondes submillimétriques et IR « Herschel ».

### **Activités majeures développées dans la thématique**

- **Télédétection:** radiométrie satellitaire en micro-ondes en ondes millimétriques et submillimétriques pour le sondage atmosphérique et la détermination des paramètres géophysiques (application aux sciences de la terre et à la planétologie).

- **Instrumentation Hyperfréquence :**

- Recherche et Développement Technologiques dans le domaine des composants et des dispositifs à semi-conducteurs et supraconducteurs pour la détection hétérodyne en ondes millimétriques et submillimétriques,

- Instrumentation spatiale : étude et développement de récepteurs (sub)millimétriques hétérodynes à très grande sensibilité et à haute résolution spectrale pour l'étude des molécules interstellaires et des atmosphères planétaires.

**Principales collaborations :**

**En Télédétection :**

En France: IPSL (LMD, CETP), LA, LEGOS, LSCE, BRGM, Ecole des Mines, ASTRIUM, CLS, ALCATEL

En Europe: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Inst. Estructura de la Materia, Dpto. Física Molecular (Juan Pardo), Université de Madrid, Espagne.  
ESA, IEM Madrid ECMWF (groupe de J. N.Thepault),  
Université de Berne (groupe de C. Matzler),  
Université de Munich (groupe de Suzanne Crewell), Max Planck Jena (Ina Tegen)  
European Center for Medium Range Weather Forecast, Reading, UK.

Aux USA : Goddard Institute for Space Studies, NASA/GISS, New York (groupe de B. Rossow), AER Boston (groupe de J.-L. Moncet).

**En Instrumentation Hyperfréquence :**

Pour les activités à caractère technologique, le GEMO s'appuie sur le Pôle Instrumental de l'Observatoire de Paris (GEPI). Pour la plupart de ses activités en R & D et instrumentales, le GEMO s'associe avec des écoles (l'INT, l'ENST, Supélec, etc.), des universités (le LGEP et LISIF à UPMC), des instituts, des organismes de recherche français (le LAAS,...) et étrangers (JPL,...), et avec des industriels comme Astrium. Le GEMO a donc mis en place de nombreuses collaborations tant en France qu'à l'étranger.

**Collaborations françaises :**

Le LAAS à Toulouse, l'IEMN à Lille ; l'IRAM et le CEA à Grenoble ; l'Observatoire et le PIOM à Bordeaux ; le CETP/ IPSL / UPMC à Vélizy ; le LMD / IPSL/ UPMC à Palaiseau ; l'Université de Savoie à Annecy ; les Universités de Rouen et de Caen ; l'INT à Evry ; l'Université du littoral à Dunkerque ; l'IEF à Orsay ; le LGEP-Supélec/UPMC à Palaiseau ; le LISIF / UPMC à Jussieu-Ivry.

**Collaborations internationales :**

Le JPL à Pasadena (CA, USA) ; Caltech à Pasadena (CA, USA) ; Virginia University, Charlottesville (Va, USA) ; Chalmers University of Technology (Suède) ; HUT, Université Technologique de Helsinki (Finlande) ; SRON, Groningen (Hollande) ; RAL (UK) ; KOSMA, Université de Cologne (Ge) ; DLR, Berlin (Ge) ; Université de Bochum (Ge) ; Université Pédagogique de Moscou (Russie), Amehdabad University (Inde)...

## 6.1 TELEDETECTION DES ATMOSPHERES ET SURFACES PLANETAIRES

### 6.1.1 Introduction

Cette thématique scientifique vit actuellement dans notre laboratoire grâce à d'étroites relations avec d'autres unités, motivées par l'utilisation de nos compétences micro-ondes. Elle est centrée sur l'étude des surfaces et atmosphères planétaires par radiométrie micro-ondes.

L'accent est toujours mis sur l'analyse et l'exploitation simultanées d'un maximum d'informations, issues de satellites ou de données auxiliaires telles que des réanalyses météorologiques ou des observations « in situ ».

*Cette activité est menée au LERMA par Catherine Prigent (CRI CNRS), 1 post-doc et 1 thésitif. De nombreuses collaborations nationales et internationales ont été établies ; cette thématique bénéficie d'un grand nombre de contrats de recherche au niveau français, européen et international (Etats-Unis). Deux thèses sont en cours : Emmanuel Cordisco, thèse Paris 6 à l'Observatoire de Paris, bourse CNES, thèse débutée en 09/2002 et Fatima Karbou, thèse Paris 7 au CETP (codirection de la thèse), débutée en 09/2001 ; 14 publications ont été effectuées sur la période 2001-2004.*

### 6.1.2 Axes de Recherche

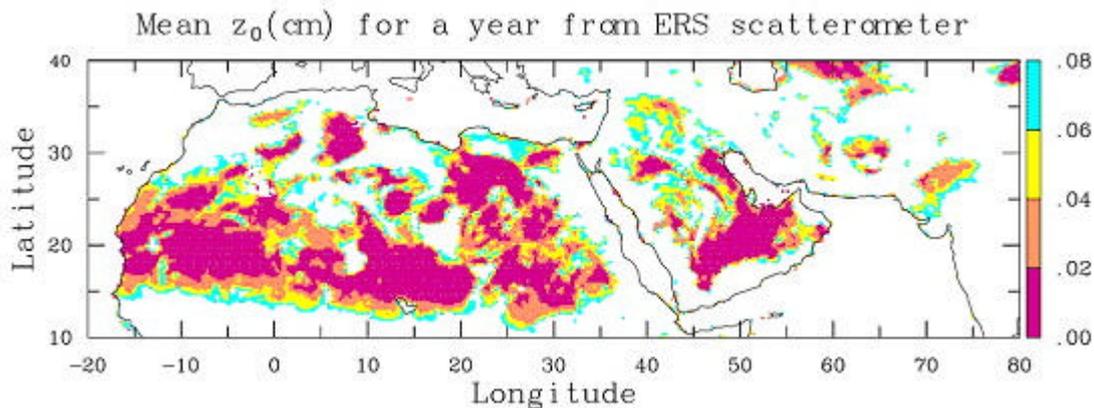
Quatre axes de recherches principaux ont été développés.

#### 6.1.2.1 Inversion des observations microondes au-dessus des continents pour l'estimation des paramètres de la surface et de l'atmosphère

Le groupe a eu un rôle de pionnier dans l'inversion des observations microondes au-dessus des continents et la méthodologie développée pour SSM/I tend à s'imposer pour l'analyse des autres observations microondes.

#### 6.1.2.2 Caractérisation des surfaces continentales à partir d'observations satellites multi-longueurs d'ondes

Par inversion des observations microondes, le groupe a :  
, a) amélioré les estimations des températures de surface; b) effectué des travaux sur les zones inondées et sur la caractérisation des zones enneigées, sur l'humidité des sols.



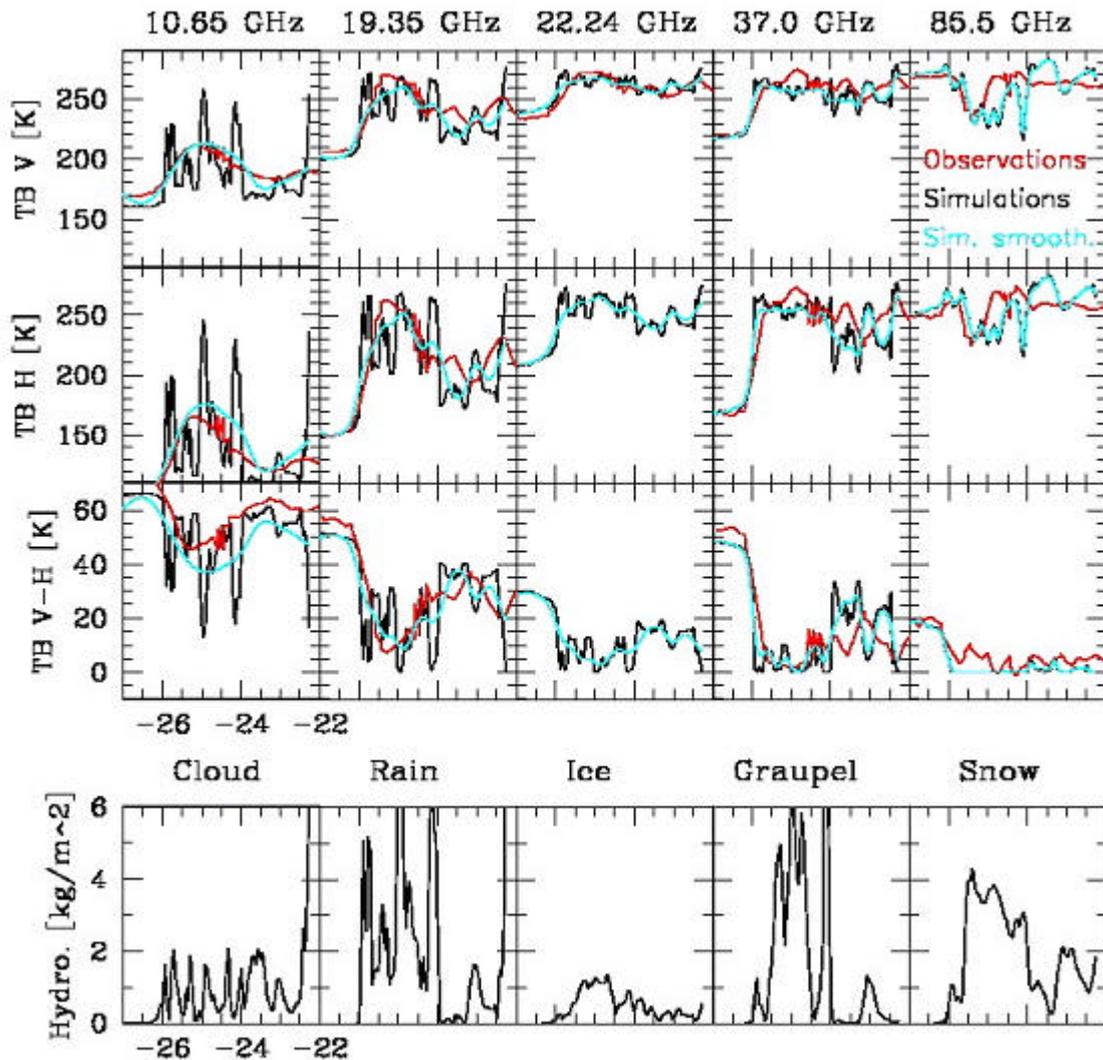
*Longueurs de rugosité de surface estimées à partir du diffusiomètre d'ERS (moyenne annuelle).*

## Radiométrie hyperfréquence

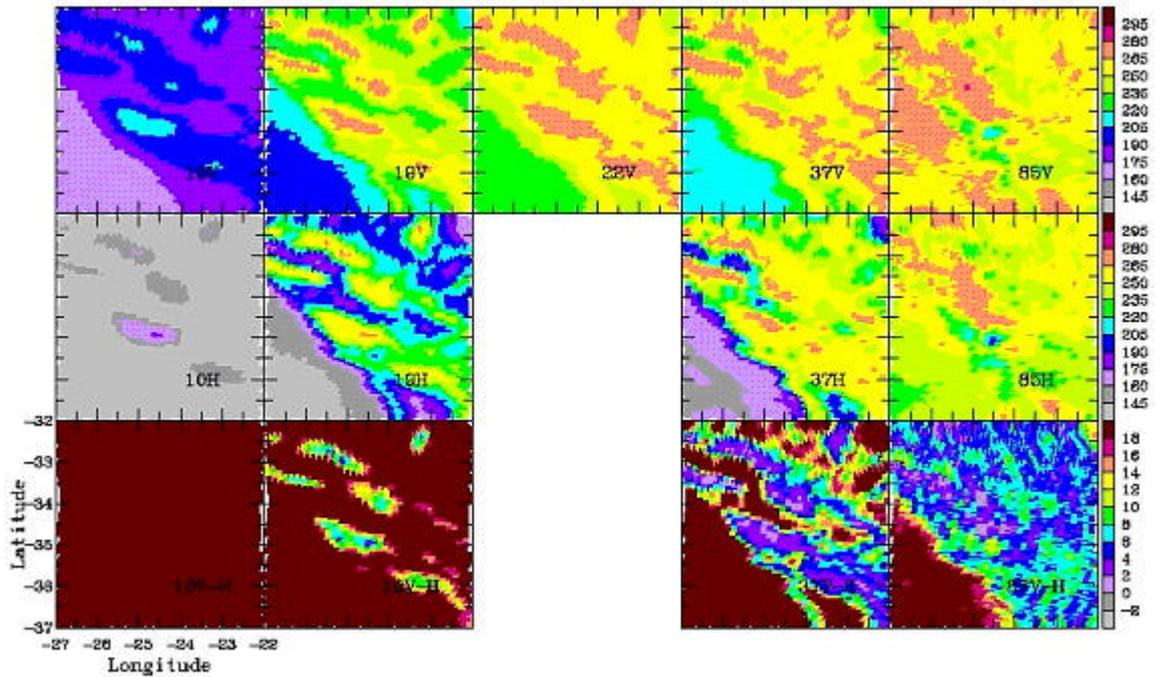
Les applications concernent la géologie et permettent l'estimation des sources d'aérosols à partir des micro-ondes actives (les déserts sont aussi l'objet d'une étude qui couple des observations radar à différentes échelles : diffusiomètre et SAR).

### 6.1.2.3 Analyse des atmosphères nuageuses et précipitantes

Evaluation systématique des sorties Méso-NH par simulation du transfert radiatif en microonde et comparaison avec les observations satellites ; analyse des propriétés microphysiques dans la convection.



Comparaisons entre les observations satellites microondes et les simulations de transfert radiatif pour une coupe à latitude constante. En rouge les observations, en noir les simulations à la résolution nominale du modèle de nuage méso-échelle (1.6 km) et en bleu les résultats des simulations convolués avec les diagrammes d'antenne des canaux de TMI.



Situation convective sur l'Atlantique sud, observée par l'instrument microonde TMI à bord du satellite TRMM.

#### 6.1.2.4 Autres applications pour l'astronomie et l'aéronomie

Applications aux corrections atmosphériques pour ALMA (mise en œuvre du code ATM) ; application aux surfaces et atmosphères planétaires (Titan, Mars) et des gaz des comètes (Missions Cassini, Rosetta).

La participation aux sondeurs en ondes millimétriques et submillimétriques embarqués sur mini-satellites ODIN et «STEAM » pour l'analyse de l'atmosphère terrestre est le fruit d'une collaboration avec l'Observatoire de Bordeaux et le SSC (Suède).

#### 6.1.3 Prospective 2006-2009

Les travaux seront développés suivant 3 axes : inversion des observations micro-ondes au-dessus des continents ; caractérisation des surfaces continentales à partir d'observations satellitaires multi-longueurs d'ondes ; analyse des atmosphères nuageuses et précipitantes.

Ces trois axes de recherche n'excluent bien sûr pas la participation à des études plus ponctuelles, telles que celles sollicitées par des partenaires industriels (par exemple la participation à plusieurs appels d'offre de l'ASE).

## 6.2 INSTRUMENTATION HYPERFREQUENCE AU « GEMO »

### 6.2.1 Introduction

#### 6.2.1.1 Présentation du GEMO

L'activité de recherche en «radiométrie hyperfréquence» menée dans le Groupe Expérimental Micro-Ondes (GEMO) s'exerce en physique instrumentale sur les détecteurs et dispositifs ainsi que sur le développement d'instrumentation hétérodyne en ondes submillimétriques pour l'astronomie et l'étude des atmosphères.

*Le groupe est dirigé depuis sa création par G. Beaudin (IR hors classe). Il comprend actuellement 15 chercheurs, ingénieurs et techniciens permanents, 3 associés, 3 CDD.*

*Ces recherches font l'objet de thèses financées sur ces sujets par le CNES et le CNRS (2 en cours) et de stages d'ingénieurs, de DESS et de DEA (3 à 4 par an).*

#### 6.2.1.2 Objectifs du GEMO

- Amélioration des performances en terme de sensibilité et de bande passante pour les applications à l'instrumentation sol et espace,
- Evaluation et mise en œuvre de nouvelles technologies permettant de garantir, d'une part une meilleure fiabilité des dispositifs développés en ondes millimétriques et submm et d'autre part, d'étendre le domaine de fréquences au-delà du THz et d'aborder l'imagerie,
- Simulation de systèmes par des logiciels permettant de restituer les fonctions de transfert d'instruments complexes et d'analyser l'influence des principaux paramètres,
- Renforcement des aspects de méthodologie, de qualité,
- Assurer la veille technologique, la formation, la documentation et la communication.

#### 6.2.1.3 Activités connexes du GEMO

- Protection des fréquences radio à usage scientifique : représentation de la communauté radioastronomique auprès de l'ANFR (national) et du CRAF (européen) par A. Deschamps : gestion des bandes de radioastronomie entre 10 MHz et 1000GHz.
- La veille technologique menée au GEMO par l'INFOTEK (bibliographie, base de données, état de l'art) est relative aux activités mm/submm et THz. Les informations sont diffusées en interne et mises en ligne sur le site web GEMO - INFOTEK du LERMA.
- Le GEMO assure des formations universitaires au niveau DUT, diplômes d'ingénieurs, Masters, écoles doctorales (formation post-DEA). Il accueille plusieurs stagiaires et doctorants chaque année.

#### 6.2.1.4 Thèses technologiques encadrées au GEMO (années de soutenance)

##### 1) soutenues :

2000 : Ehtezazi (co-direction avec l'INT et l'Université de Marne la Vallée),

2003 : Faouzi Boussaha (bourse CNRS-CNES),

2004 : Isabelle Peron (co-direction avec IRAM);

##### 2) en cours :

2004 (fin) : Bertrand Thomas (bourse CNRS-CNES),

2005 : Jean Baubert (co-direction avec l'Université technologique de Chalmers, Suède).

##### 6.2.1.4.1 Publications et participations à des congrès en 2001-2004 :

L'activité de recherche du GEMO est reconnue par la «communauté micro-onde» au niveau national et international : participations à de nombreuses conférences et colloques, à la revue d'articles, à des jury de thèses et d'habilitations. De nombreux articles du GEMO (ex : 11 en 2003) sont publiés dans des revues scientifiques et techniques et dans des proceedings de conférences (Journées Nationales Microondes, European Microwave, GaAs, IEEE, IRMMW, SPIE, etc.).

### **6.2.2 Recherche et Développements technologiques au GEMO**

#### **6.2.2.1 Introduction**

La recherche et les développements technologiques menés au GEMO portent sur les composants et sur les dispositifs à semi-conducteurs et à supraconducteurs pour la détection hétérodyne : dispositifs quasi optiques, sources d'antennes (cornets), mélangeurs, oscillateurs locaux et dispositifs intégrés (antennes planaires, mélangeurs, oscillateurs, etc.).

Jusqu'à environ 1THz, on peut considérer plusieurs axes d'amélioration essentielle des techniques de réception hétérodyne submillimétrique aujourd'hui employées, tant en vue des projets spatiaux comme Herschel-HIFI, que pour réaliser les grands interféromètres au sol comme ALMA : de plus larges bandes passantes instantanées, l'agilité en fréquence, la miniaturisation des dispositifs à semi-conducteurs (Schottky) et à supra conducteurs (SIS), l'imagerie à grand nombre de pixels.

Le développement de l'instrumentation hétérodyne à haute sensibilité au-delà du THz nécessite d'explorer de nouvelles techniques tant pour les mélangeurs (nano-bolomètres à électrons chauds à supra conducteurs) que pour les oscillateurs locaux (multiplication de fréquence ou génération par oscillateur à supraconducteurs). Ces dispositifs à hautes performances (mélangeurs, oscillateurs, multiplicateurs de fréquence, etc.), étudiés et développés au GEMO font appel aux principes de l'électromagnétisme, à la physique du solide, à des techniques de pointe ou à des micro-technologies spécifiques ; ils s'inséreront dans l'instrumentation - sol et spatiale - du futur (post-Herschel).

#### **6.2.2.2 R & D en cours au GEMO**

##### *6.2.2.2.1 Sources d'antennes*

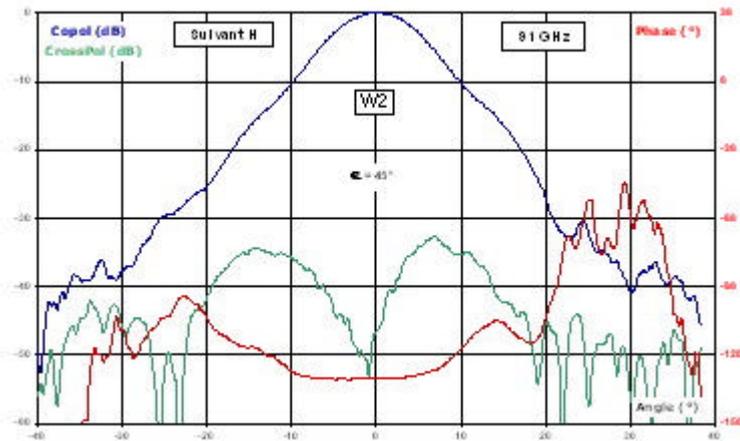
Parmi les activités de R&D, nous développons de nouvelles techniques de réalisation de cornets corrugués hélicoïdaux à large bande (contrat CNES et dépôt de brevet en cours) et l'étude de réseaux d'antennes planaires permettant l'imagerie – voir « récepteurs SIS intégrés » (coopération avec l'Institut National des Télécommunications et l'Université Pierre et Marie Curie).

##### **6.2.2.2.1.1 Cornets corrugués hélicoïdaux**

(Contrat CNES N° 02/CNES/0127/00)

*Maurice Gheudin, Jean-Marie Munier, Frédéric Dauplay, Bruno Challiol, Gérard Beaudin*

Une première partie d'étude a consisté à mettre au point une simulation électromagnétique adaptée à cette nouvelle géométrie puis à l'utiliser pour trouver les solutions optimales pour la bande W (autour de 91 GHz) et la bande K/ Ka (18 – 30 GHz). Les résultats en millimétrique étant proches des simulations et, après homothétie, conformes aux spécifications du cornet 18 – 30 GHz, la fabrication de ce cornet est en cours. La fin du contrat est prévue pour octobre 2004 (fig. 1).



**Fig. 1** - Exemple de diagramme de réception obtenu

### 6.2.2.2.2 Mélangeurs à supra conducteurs

Les objectifs de cette R & D sont a) une grande sensibilité et de larges bandes passantes instantanées ; l'équipe répond à ces objectifs en développant des systèmes (mélangeurs à jonctions supraconductrices) sans accord mécanique, ex : circuits supra à multi-jonctions SIS, b) montée en fréquence au-delà du THz (ceci sera atteint grâce aux nanobolomètres à électrons chauds, « HEB » à supraconducteurs en NbN et en YBaCuO, en technologie planaire sur membranes).

#### 6.2.2.2.2.1 Multijonctions SIS

(contrat CNES 2001-2003, soutiens INSU et MEN)

*Morvan Salez, Faouzi Boussaha, Yan Delorme, Frédéric Dauplay, Benoît Lecomte* Les jonctions et leurs circuits intégrés ont été fabriqués dans la salle blanche du « Pôle Instrumental » du GEPI de l'Observatoire de Paris. Par ailleurs, des moyens de caractérisation de centres technologiques externes ont été utilisés. Il s'agit du CEETAM de l'université de Paris 11, du centre technologique MC<sub>2</sub> de l'université de Chalmers - Suède, de l'IRAM et du CEA de Grenoble.

Les circuits ont été optimisés pour un fonctionnement dans la bande de fréquence du canal 1 de l'instrument hétérodyne HIFI, 480-640 GHz.

L'approche utilisée s'appuie sur l'utilisation de plusieurs jonctions SIS connectées en parallèle par des lignes de transmission en microrubans, également supraconductrices.

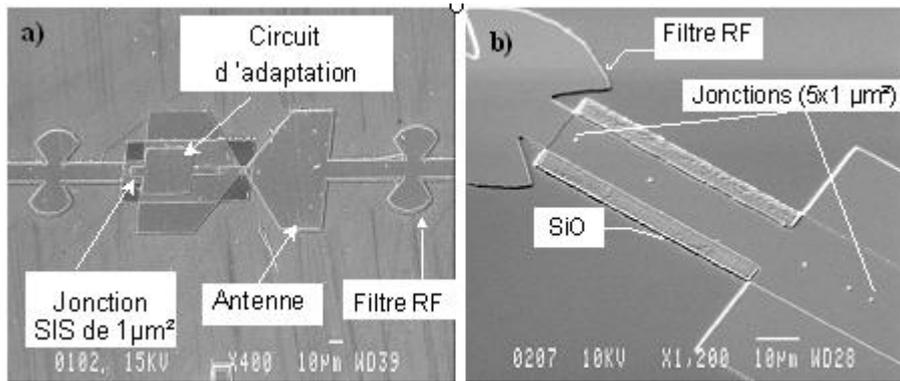


Figure 2 : Photos SEM : a) d'un circuit mélangeur SIS standard et b) d'un circuit mélangeur à multijonctions. La surface des jonctions est de  $1 \mu\text{m}^2$  dans les deux cas. Les couches minces sont de quelques centaines de nm d'épaisseur seulement.

Notre procédé de fabrication permet d'atteindre des densités de courant élevées sur des jonctions de 1 et  $2 \mu\text{m}^2$  de surface: entre 4 et  $29 \text{ kA/cm}^2$ . Des facteurs de qualités entre 15 et 20 traduisant une très bonne qualité des circuits à multijonctions ont été obtenus, pour une densité de courant visée autour de  $10 \text{ kA/cm}^2$ . Le rendement sur chaque batch avoisine les 80 % en moyenne.

La fig.3 présente les résultats de mesures de la température de bruit double bande DSB de deux récepteurs dans la bande de fréquence 480-640 GHz ; l'un est à base d'un mélangeur à multijonction ( $N=5$ ) et l'autre à base d'un mélangeur standard. Tandis que le mélangeur standard peine à atteindre une bande relative  $D_{\text{eff}}$  de 20 %, les multijonctions recouvrent toute la bande de fréquence souhaitée et atteint une bande relative de plus de 40 % avec une sensibilité qui reste comparable à celle d'un mélangeur SIS standard. Nous concluons ainsi qu'un mélangeur à double jonction suffit pour atteindre la bande passante désirée et représente un bon compromis entre les objectifs fixés et les contraintes technologiques. Cette solution a été finalement adoptée pour le canal 1 de l'instrument HIFI.

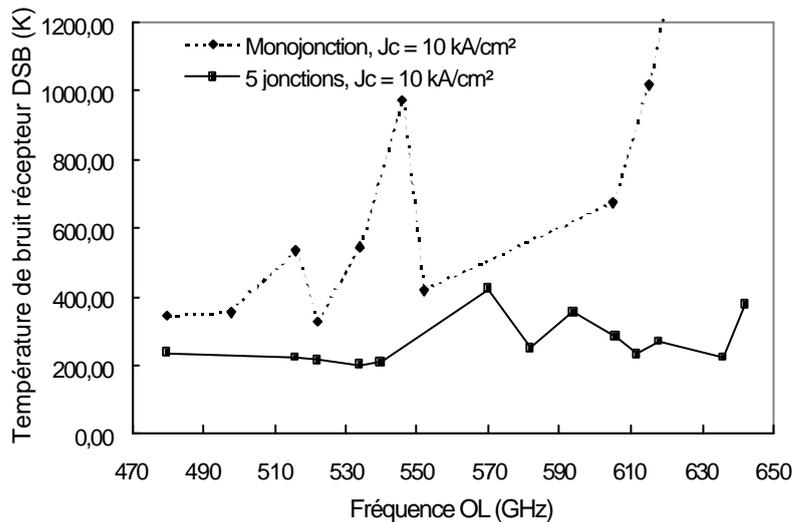


Figure 3. Températures de bruit récepteur double bande DSB mesurées dans la bande de fréquence 480-640 GHz d'un mélangeur standard et d'un mélangeur à multijonction ( $N=5$ ).

#### 6.2.2.2.2.2 SHAHIRA/Caméra hétérodyne (HEB) THz

2 chercheurs (M Salez, H Merkel) à 20 %, resp. au LERMA et à Chalmers,

*1 étudiant en thèse, Jean Baubert, à 100 % depuis l'automne 2002 et les supports (théoriques et expérimentaux) des équipes du GEMO (Jean-Michel Krieg, Yan Delorme, Benoit Lecomte), du « Pôle Instrumental », de l'Université de Chalmers (Suède), et du LAAS à Toulouse.*

L'objectif de la R&D ESA "SHAHIRA" est de concevoir et réaliser un prototype de caméra hétérodyne à 14 pixels, à 2.5 THz et/ou 4.7 THz, utilisant des mélangeurs HEB. Délai 3 ans. Le LERMA et Chalmers ont pour activité la théorie, la conception et la réalisation des composants du front-end. Les aspects intégration de l'expérience, oscillateur (laser) et backend (spectromètre) sont à la charge du DLR. La technologie proposée doit être extensible à un plus grand nombre de pixels ultérieurement. De plus, le prototype à 4.7 THz pourra être utilisé sur l'avion SOFIA pour des observations, le prototype à 2.5 THz pourra être proposé pour l'expérience ballon franco-indienne CIDRE.

Les premières simulations ont montré que le HEB sur membrane verrait son efficacité augmenter. Les antennes sur membrane, de type double dipôle et double fente, ont été calculées et optimisées pour 2.5 et 4.7 THz. Les premiers composants HEB sur membranes utilisant ces antennes ont été réalisés (films fabriqués à Moscou, et également à MC2/Chalmers ; membranes gravées à Toulouse). Ils ont été testés avec succès en DC. Les simulations et les premières mesures ont donné lieu à 3 publications en 2003 et 2004.

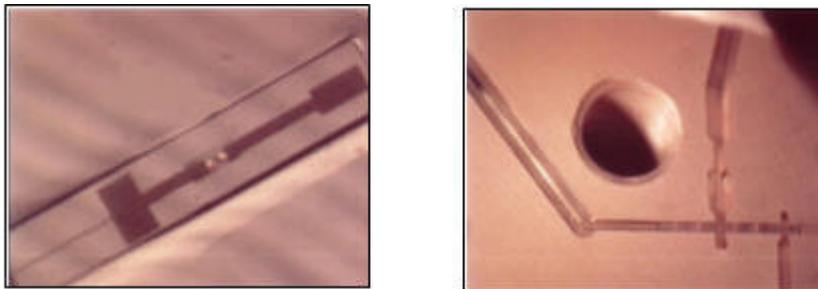
### 6.2.2.2.3 Mélangeurs à semi-conducteurs

Les mélangeurs de type Schottky subharmoniques (SHP), à diodes planaires à semi-conducteurs (matériaux III-V et principalement en GaAs), présentent un grand intérêt pour d'autres types d'applications (physique atmosphérique, planétologie) ne nécessitant pas une très haute sensibilité, mais où un fonctionnement à température ambiante est nécessaire.

#### 6.2.2.2.3.1 Mélangeurs de type Schottky subharmoniques (SHP)

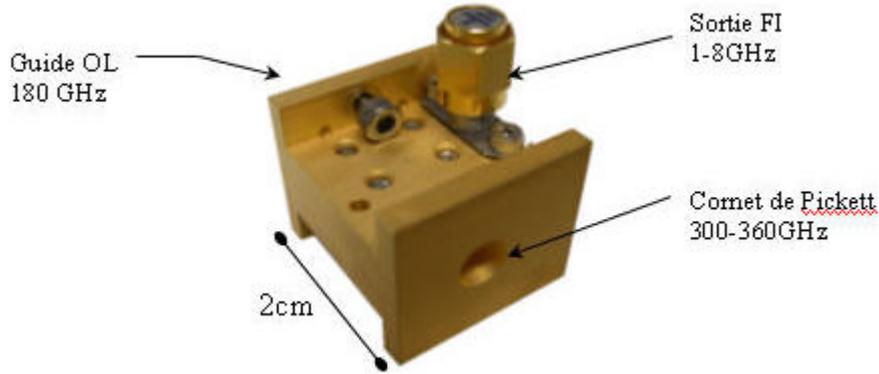
*Bertrand Thomas (thésitif), Gérard Beaudin, Benoît Lecomte, Alain Maestrini (associé LISIF-UPMC) et les supports du Pôle Instrumental et du CEETAM .*

Depuis 2 ans, cette recherche s'est portée au GEMO sur la conception et la fabrication d'un mélangeur subharmonique intégré fonctionnant à 330 GHz utilisant des composants Schottky planaires de l'Université de Virginie. La première phase de R&T s'est faite en collaboration avec la société ASTRIUM. Dans une deuxième phase de R&T, un mélangeur large-bande sans accord mobile (300-360GHz) a été conçu en collaboration avec le LISIF-Université Paris VI, et optimisé afin de maximiser les performances, d'élargir la bande passante, et de réduire la puissance d'Oscillateur Local nécessaire (thèse en cours).



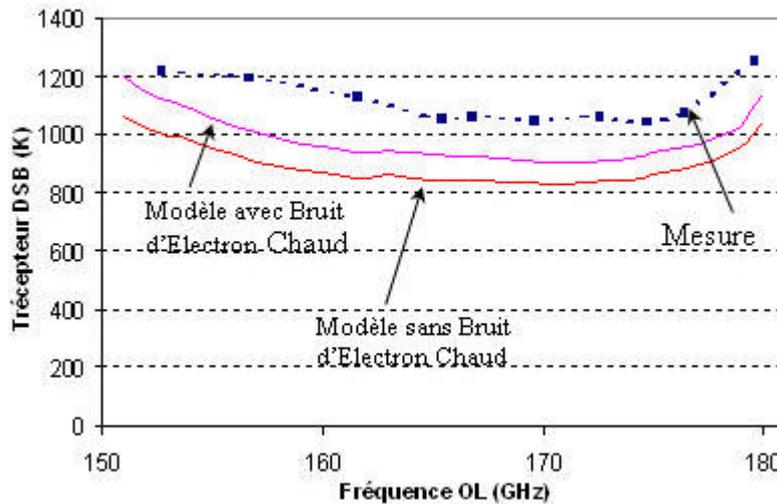
**Figure 4 à gauche**, Diodes Schottky planaires reportées sur un circuit quartz, fabriqué en salle blanche (épaisseur du substrat = 50  $\mu\text{m}$ , **à droite**, Intégration du circuit dans le bloc mélangeur micro-usiné à l'atelier de Meudon (largeur du canal = 200  $\mu\text{m}$ ).

## Radiométrie hyperfréquence



**Figure 5** Vue du mélangeur subharmonique large-bande (300-360GHz) sans accord mobile. Les dimensions approximatives sont 2x2x2cm. Le bloc mécanique intègre un cornet de Pickett, ce qui augmente encore la compacité.

**Les performances obtenues font « état-de-l'art »** en termes de sensibilité (voir fig. 6) et de puissance d'OL nécessaire. Une température de bruit de mélangeur de 650K DSB et une bande passante instantanée de 17% (300-360GHz) ont été mesurées. La puissance d'OL nécessaire est inférieure à 3.5mW.



**Figure 6** Comparaison entre la température de bruit du récepteur DSB mesurée (courbe pointillée) et la température de bruit du récepteur DSB simulée avec la prise en compte du Bruit d'Electron Chaud (courbe du milieu) et sans (courbe du bas). La température de bruit du mélangeur est estimée à 650K DSB à 330GHz et inférieure à 800K DSB dans toute la bande. Les pertes de conversion sont estimées à 6.3dB en moyenne dans la bande.

Ce nouveau prototype intégré permet de démontrer la faisabilité de mélangeurs subharmoniques très performants en technologie MMIC, essentiels pour la montée en fréquence de cette technologie jusqu'à 1THz.

### 6.2.2.2.3.2 Activité de design de circuits MMIC millimétriques pour de futurs projets d'instruments embarqués européens

Alain Maestrini au LISIF et Bertrand Thomas au GEMO ont effectué en 2003-2004, une étude théorique pour l'Agence Spatiale Européenne (ESA) portant sur la modélisation des diodes Schottky planaires fabriquées par la société franco-allemande United Monolithic

## *Radiométrie hyperfréquence*

Semiconductor, en vue de réaliser, en 2005, des circuits intégrés de mélangeurs à 180 GHz (et au-delà) pour les futurs satellites météorologiques européens (horizon 2015).

### **6.2.2.3 Oscillateurs locaux**

#### *6.2.2.3.1 Oscillateurs à supraconducteurs*

Les objectifs de cette R & D sont : une large bande, agilité d'accord et niveau de puissance suffisant pour « pomper » les mélangeurs. La mise en œuvre de réseaux de jonctions supraconductrices en Nb (Flux-flow oscillateurs « FFO ») permet l'intégration planaire (type MMIC) aux mélangeurs SIS et rend l'application à l'imagerie focale (matrices 2D) plus aisée.

##### 6.2.2.3.1.1 Effet Josephson dans les multijonctions (FFO)

*Morvan Salez, Faouzi Boussaha, Yan Delorme et le support du « Pôle Instrumental »*

A l'instar des jonctions longues (LJJ), les multijonctions sont également susceptibles de produire des résonances non-linéaires sous forme de "Zero Field Step" (ZFS). Notre travail offre la première validation expérimentale de prédiction théorique et entrouvre une nouvelle application aux multijonctions : générateurs de signaux submillimétriques (source d'OL). Des mesures spécifiques à cet aspect ont été réalisées ; d'autres mesures de puissance sont envisagées.

#### *6.2.2.3.2 Source d'OL à multiplication de fréquence*

La réalisation de multiplicateurs de fréquence à diodes planaires '**varactor**' de type « hétérostructures HBV sur InP » ou Schottky sur GaAs, permet également d'atteindre des niveaux plus élevés de puissance aux harmoniques en ondes (sub)millimétriques (collaboration avec l'IEMN, le LISIF), mais sur des bandes plus étroites.

##### 6.2.2.3.2.1 Conception et modélisation de circuits de multiplicateurs de fréquences pour l'instrument HIFI de HERSCHEL

*Alain Maestrini (associé UPMC), Bertrand Thomas (thésitif)*

Depuis fin 2002, le GEMO participe à la conception et à la caractérisation de multiplicateurs de fréquences pour l'instrument HIFI d'Herschel. Ces recherches se font en collaboration avec le Jet Propulsion Laboratory (NASA), et depuis fin 2003 avec le Laboratoire des Instruments et Systèmes d'Ile-de-France (Université Paris VI). Le GEMO a ainsi pris part aux premières mesures de l'étage de sortie de la chaîne d'oscillateur local de la bande 6-High d'HIFI (1700-1900GHz) et au traitement des données.

Le GEMO a également participé à la conception de 4 multiplicateurs de fréquences destinés aux canaux européens d'HIFI. Cet important travail de conception a été effectué par Alain Maestrini (LISIF et associé LERMA), en collaboration avec le GEMO. Un contrat de recherche entre le LISIF, le JPL et le LERMA est en cours d'élaboration. Trois publications ont été faites sur ce sujet en 2003-2004.

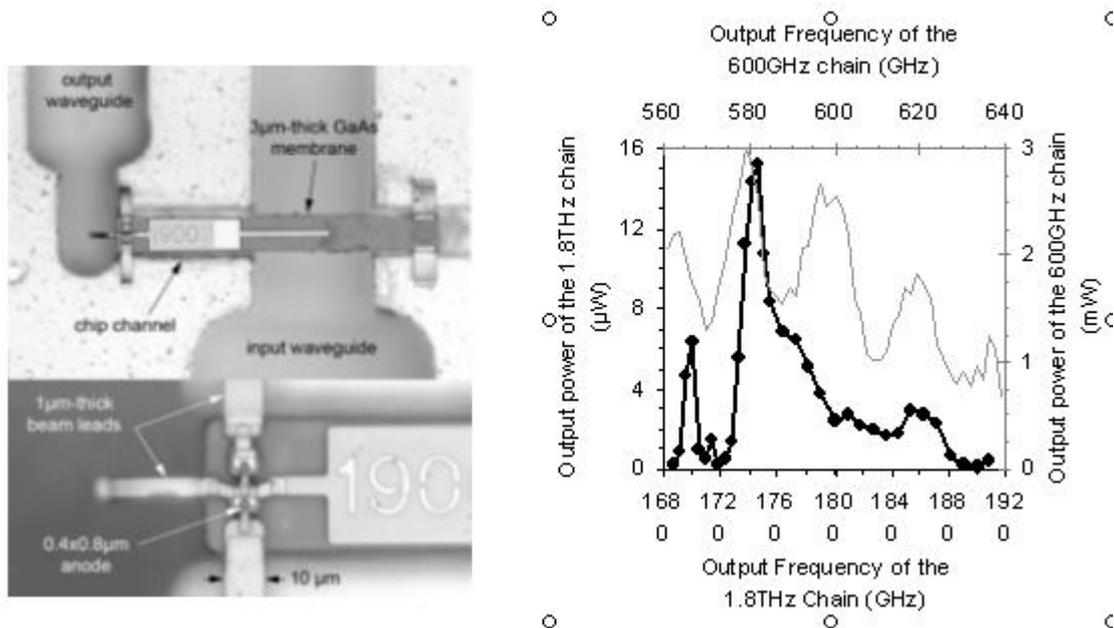


Figure 7. Vue du tripleur de fréquences à 1.9 THz (vue de gauche) et performance de la chaîne d'oscillateur local à 1.7-1.9THz (vue de droite)

#### 6.2.2.4 Prospective en R & D du GEMO

##### 6.2.2.4.1 Conception et réalisation de récepteurs hétérodynes monolithiques sur GaAs aux longueurs d'ondes millimétriques (avec un objectif d'imagerie)

Alain Maestrini, Gérard Beaudin, Bertrand Thomas (thésitif).

Les diodes Schottky planaires, fonctionnant au-delà de 100 GHz, sont identifiées par l'ESA comme les composants clés des futurs récepteurs hétérodynes millimétriques et sub-millimétriques embarqués, destinés à la météorologie ou à la planétologie, et ce, jusqu'à l'horizon 2015 au moins. Les fonctions privilégiées sont la multiplication de fréquences et le mélange sub-harmonique.

L'objectif de l'étude (acceptée dans le cadre des programmes R&T du CNES 2005-2007) est de :

- développer une méthodologie de conception de circuits monolithiques millimétriques et sub-millimétriques sur GaAs intégrant plusieurs fonctions traditionnellement séparées, afin de réduire l'encombrement et faciliter la réalisation d'imageurs,
- optimiser la technologie Schottky de United Monolithic Semiconductors pour réaliser un ensemble de circuits fonctionnels aux performances à l'état de l'art.

##### 6.2.2.4.2 Récepteurs hétérodynes submillimétriques / THz intégrés à mélange et génération d'oscillateur local par réseaux parallèles de jonctions supraconductrices

Morvan Salez, Faouzi Boussaha, Yan Delorme, Benoît Lecomte, Pôle Instrumental

Proposition de recherche technologique faite au CNES par le LERMA pour la période 2005-2007, cette R&D est préparatoire au projet de vol en formation, pour lequel le GEMO a fait une réponse à l'appel à idées du CNES en 2004. La R&D présentée ici prend logiquement la suite des études menées sur les « mélangeurs à multijonctions SIS », destinés à produire des récepteurs sans accord et large bande pour l'astronomie submillimétrique. Nous proposons l'étude théorique et le prototypage de tels récepteurs intégrés SIS à FFO à multijonctions Nb/AlO<sub>x</sub>/Nb dans la plage 350-750 GHz, afin de démontrer la possibilité d'utiliser les

réseaux de jonctions comme des oscillateurs supraconducteurs submillimétriques performants, pour l'astronomie, l'observation de la Terre, et la détection in situ de molécules (environnement, chimie, biologie).

### **6.2.3 Instrumentation et applications spatiales du GEMO**

#### **6.2.3.1 Introduction**

Le GEMO s'est d'abord appuyé sur la réalisation de chaînes de réception à grande sensibilité et à haute résolution spectrale (étude des raies moléculaires) en ondes millimétriques et submillimétriques pour l'astronomie, la météorologie et l'aéronomie.

Les applications spatiales des techniques hétérodynes dans le domaine des ondes millimétriques et submillimétriques (et en site de haute altitude pour les grands instruments au sol) ont exigé la mise en place d'une structure de management (contrôle du planning et des coûts, gestion des tâches et du personnel) et de suivi de qualité. Cela étant nécessité par un très haut niveau de fiabilité requis.

#### **6.2.3.2 Projets instrumentaux pour l'astrophysique**

*Jean-Michel Krieg, Morvan Salez, Yan Delorme, Isabelle Peron, Frédéric Dauplay, Alexandre Feret, Benoît Lecomte, Joseph Spatazza (support DT INSU), supports technologiques IRAM et PI du GEPI.*

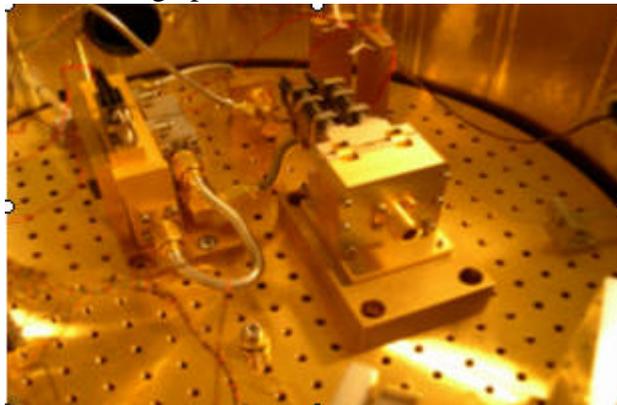
##### **6.2.3.2.1 Herschel-HIFI**

Projet spatial d'astronomie (4<sup>e</sup> pierre angulaire de l'ESA, lancement en 2007-2008). Il comprendra 2 instruments à détection directe IR et un instrument hétérodyne submillimétrique (HIFI) qui permettra de réaliser un survey spectral complet du ciel dans des bandes de fréquences correspondant à des raies moléculaires essentielles. Cet instrument comprend 5 bandes de fréquences permettant de recevoir les 2 polarisations entre 500 et 1250 GHz (mélangeurs SIS) avec extension jusqu'à 1,9 THz au moyen de mélangeurs de type HEB (canal 6). Le GEMO (en collaboration avec l'IRAM) est responsable des mélangeurs SIS du canal 1 (bande 480-640 GHz).

La conception de ces mélangeurs a nécessité une remise à plat des approches habituelles afin de satisfaire aux spécifications particulièrement ambitieuses de ce projet :

- Niveau de bruit égal ou inférieur à trois fois la limite quantique sur une bande de fréquence relative de 30% (480GHz-640GHz),
- Fonctionnement sans pièces mécaniques mobiles (court-circuits d'accord),
- Tenue aux contraintes environnementales (cyclages à température cryogénique, vibrations, radiations, etc.).

Cette conception a fait une très large part aux outils de simulation numérique.



**Figure 8** Mélangeur QM dans son cryostat de tests.

## Radiométrie hyperfréquence

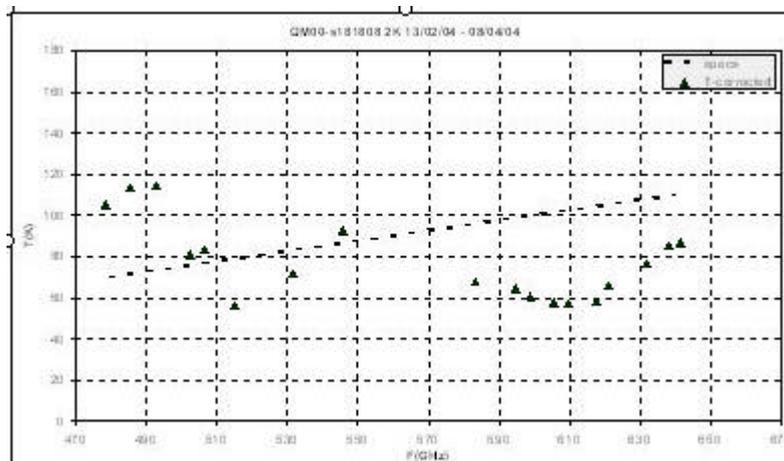
Afin de satisfaire les spécifications de bande passante, un concept utilisant des bi-jonctions SIS, de densité de courant élevée ( $10\text{kA}/\text{cm}^2$ ), avec des filtres de type Tchebychev, a été retenu. La technologie de fabrication des jonctions fait appel à une définition des motifs de jonctions par lithographie électronique, de manière à assurer une bonne reproductibilité des performances.

Les tests environnementaux ont été menés avec succès sur le modèle de qualification en 2003. Ils ont consisté en des campagnes de cyclage thermique, de vibrations (à chaud et à 80 K), de mesures EMC. Les jonctions supraconductrices ont pour leur part été testées en ESD, en radiations et en cyclage thermique.



**Figure 9** Jonctions et structures d'accord (x50) / Electrode Nb supérieure (x50000) ont été produits dans la salle blanche de l'IRAM

**Performances :** le bruit mesuré sur le modèle de qualification est dans les spécifications sur la majeure partie de la bande et **constitue l'état de l'art international**. Les autres paramètres du mélangeur sont également dans les spécifications (budgets de masse et de consommation, courant et temps de « défluxage », suppression du courant Josephson, ...).



**Figure 10** Température de bruit DSB de récepteur HIFI canal 1

### 6.2.3.2.2 ALMA

Grand instrument sol pour l'astronomie (2002/2009), cet interféromètre de 65 antennes permettra de couvrir avec de très grandes résolutions spatiale et spectrale, les bandes de 100 à 900 GHz en 10 canaux et sur les 2 polarisations ; il sera complémentaire de Herschel. Le GEMO a étudié et développé un prototype de mélangeur à multi-jonctions SIS pour le canal 8, dans la bande 385-500 GHz (en cours de tests).

### 6.2.3.3 Projets spatiaux pour l'étude des gaz des comètes et pour l'étude de l'atmosphère des planètes (Terre, Mars)

## Radiométrie hyperfréquence

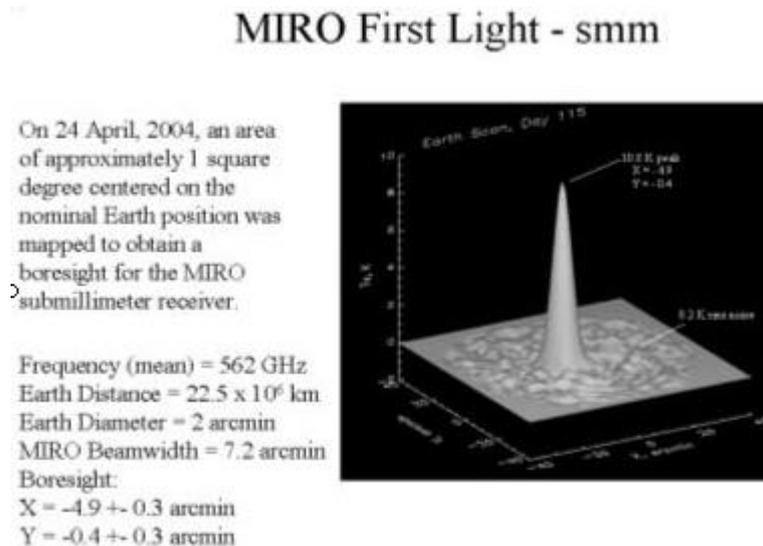
*Gérard Beaudin, André Deschamps, Maurice Gheudin, Jean-Michel Krieg et Pierre Bertram, Benoit Germain, Bertrand Thomas (thésitifs sur les projets suivants).*

### 6.2.3.3.1 **MIRO** (*Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter*)

Radiomètre embarqué sur la sonde spatiale ROSETTA (3<sup>e</sup> pierre angulaire de l'ESA), destinée à l'étude de la comète Gerasimenko. Le lancement a été effectué avec succès en mars 2004, sa mise en orbite autour de la comète est prévue en 2014. L'instrument hétérodyne (MIRO) comprend un radiomètre millimétrique (190 GHz) et un radiomètre submillimétrique (540-560 GHz) associés à un spectromètre analogique (CTS) à haute résolution. L'objectif principal est d'observer les raies de différentes molécules CO, HDO H<sub>2</sub>O, CH<sub>3</sub>OH...

Ce projet a été mené conjointement avec le JPL (maître d'œuvre) et le MPAe. La partie française (GEMO) a participé à la conception de l'instrument et a fourni l'oscillateur ultra stable (USO) ainsi qu'un support technique au projet (EMI-EMC étalonnage, intégration et tests sur la plate-forme).

Trois phases de mesures sur Vénus, sur la Terre et sur la comète «LINEAR» ont permis de conclure que le fonctionnement de l'expérience MIRO est globalement quasi-nominal, sans dégradation par rapport aux spécifications au sol. Les observations de la Terre et de la comète C/2002 T7 (LINEAR) ont permis la détection dans les 2 modes «continuum» et «spectroscopique», avec le signal attendu. La cartographie de la Terre (en "spirales") a également permis de mesurer la forme des lobes (fig. 11 ci-après) et l'efficacité d'antenne conformes aux spécifications à mieux que 5% (lobes de 7.6' et 23.5' -efficacité de faisceau meilleure que 95%-).



**Figure 11**

### 6.2.3.3.2 **MAMBO**

Ce projet prévoyait une étude détaillée du système climatique et météorologique martien depuis un satellite en orbite pendant au moins une année martienne. La charge utile comprenait un sondeur micro-onde mesurant, par spectroscopie hétérodyne submillimétrique, le profil de température, le champ de vent, la distribution verticale d'H<sub>2</sub>O et de CO. Ce projet proposé au CNES et à la NASA avait été accepté par les instances concernées et mené à bien jusqu'en fin de phase A; mais les problèmes financiers graves du CNES en 2002 n'ont pas permis de financer la mission. Celle-ci pourrait renaître dans un contexte européen (missions martiennes du programme AURORA de l'ESA ?).

### 6.2.3.4 Projets spatiaux destinés à la télédétection, à la météorologie et à l'environnement de la Terre

Maurice Gheudin (+ CDD), avec les supports de Gérard Beaudin et d'André Deschamps

#### 6.2.3.4.1 SAPHIR (Sondeur Atmosphérique du Profil d'Humidité Intertropicale par Radiométrie)

Sa mission est l'étude de la structure verticale d'humidité dans la troposphère à moyenne et grande échelle, dans la ceinture tropicale.

Le radiomètre possèdera un réflecteur tournant pour assurer le balayage et fournira une télédétection dans 6 canaux situés autour de la raie de H<sub>2</sub>O à 183,31 GHz. Il est conçu pour être intégré à la charge utile de la mission MEGHA-TROPIQUES (projet franco-indien comprenant 2 instruments micro-ondes ainsi qu'un instrument optique. Le lancement est prévu en 2008-2009. Le GEMO est chargé de la réalisation de la partie hyperfréquence de l'instrument SAPHIR basé sur un mélangeur à semi-conducteurs Schottky AsGa (voir R & D).

#### 6.2.3.5 Autre projet pour la physique de laboratoire

Maurice Gheudin (et stagiaire)

**Récepteur 90 GHz :** Le Laboratoire d'Optique Appliquée de l'ENSTA (Ecole Polytechnique, Palaiseau) étudie les filaments provoqués par des impulsions laser ultracourtes et intenses lancées dans l'air (laser femtoseconde). Les canaux ionisés ainsi produits émettent un rayonnement hyperfréquence. Le GEMO réalise un récepteur permettant de détecter ce rayonnement de faible puissance dans une bande de 4 GHz située autour de 90 GHz.

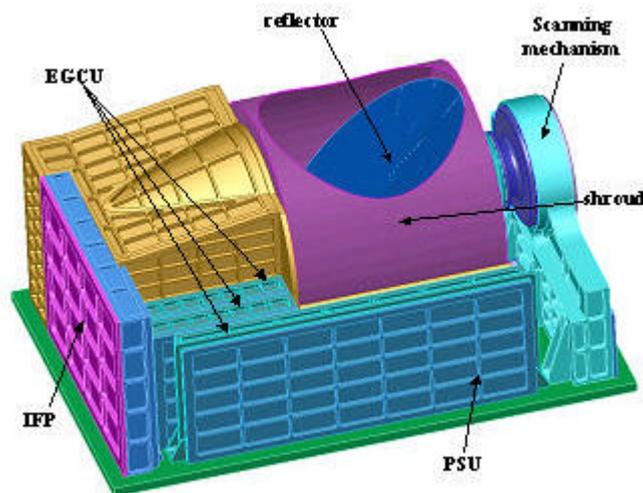


Figure 12 Vue globale de l'instrument SAPHIR

## 6.2.4 Prospective instrumentale du GEMO

### 6.2.4.1 Projets futurs pour l'astronomie

Des projets futurs pour l'astronomie (Maryvonne Gérin, Morvan Salez, Laurent Pagani, Jean-Michel Krieg) sont envisagés à moyen et à plus long termes : projet en Antarctique et/ou projet indo-français en ondes submillimétriques (sites de haute montagne), projets internationaux d'instruments à haute résolution angulaire et spectrale FIR/submillimétrique spatial : missions post-Herschel vers 2015-2020. La préparation à ces programmes d'instrumentation hétérodyne THz nécessite des activités en R&D comme les

## *Radiométrie hyperfréquence*

réseaux de récepteurs intégrés SIS, les bolomètres à électrons chauds (HEB) supraconducteurs, ainsi que la réalisation d'expériences préliminaires embarquées sur ballons stratosphériques comme le projet CIDRE.

### *6.2.4.1.1 CIDRE*

Cet instrument sera consacré à la détection de HD en absorption (mesure du rapport D/H) et en émission (physico-chimie des milieux chauds et des chocs) dans le milieu interstellaire dense, dit moléculaire. Les objectifs à atteindre sont scientifiques mais aussi techniques : valider le concept de caméra térahertz en technologie HEB sur membrane et divers autres composants pour une future mission spatiale (THEO).

Le récepteur hétérodyne comprendra une matrice de mélangeurs de type HEB (bolomètre à électrons chauds) au Nitrure de Nobium (NbN) de 4 pixels intégrés sur un seul substrat.

### *6.2.4.1.2 Démonstrateur d'interféromètre spatial*

Pour la prochaine génération d'instruments spatiaux succédant dans le domaine IR lointain/submillimétrique à Herschel et Planck, la communauté internationale envisage un interféromètre spatial hétérodyne pour améliorer la résolution angulaire en conservant les excellentes capacités spectroscopiques de cette technique. Un tel instrument doit être spécialisé pour les gammes de fréquences inaccessibles depuis le sol, et présentant des raies spectrales permettant une caractérisation fine des milieux, par exemple les raies de structure fine du carbone ionisé et de l'oxygène dans le domaine de l'infrarouge lointain, ou les raies de rotation de la vapeur d'eau. Par ailleurs, c'est avec la technologie développée en R & D au GEMO (récepteurs intégrés où l'oscillateur Josephson est couplé au mélangeur SIS sur le même chip), que la réalisation d'un instrument hétérodyne pour l'interférométrie submillimétrique spatiale devient possible.

### ***6.2.4.2 Projets futurs pour l'observation de la terre, la météorologie et la physique atmosphérique***

*Catherine Prigent, Gérard Beaudin, Maurice Gheudin*

#### *6.2.4.2.1 SMCR*

Le Sub Millimeter Wave Space Borne Radiometer est un projet récent présenté à l'ESA (Study on future microwave and millimeter-wave radiometer requirements and concepts, ASTRIUM, IPSL, Observatoire de Paris – LERMA) sur les radiomètres micro-ondes météorologique et climatologique du futur, que le concept du SMCR a été identifié.

Il s'agit de sonder l'atmosphère par un balayage conique à incidence constante à 220, 301, 462, 684, 875 GHz. Les fréquences très élevées autorisent des ouvertures d'antennes réduites, et donc un instrument compact compatible avec un micro satellite, Myriade en particulier.

#### *6.2.4.2.2 STEAM*

'Stratosphere-Troposphere Exchange And climate Monitor' est un projet du SSC orienté sur STEAM pour l'héritage ODIN (mode "aéronomie"): il reprend outre le concept 'MOST' à 310-340 GHz pour sonder la haute troposphère/basse stratosphère et comme sur 'ODIN', il comprend un canal à 500-600 GHz pour le sondage de la stratophère (O<sub>3</sub> et ClO essentiellement). Il sera associé à un instrument optique de type OSIRIS pour la détection des nuages et aérosols (aussi O<sub>3</sub> et NO<sub>2</sub>). La plate-forme sera similaire à celle d'ODIN.

#### *6.2.4.2.3 ACECHEM*

ACECHEM (EU) est un projet de l'ESA. Il comportera des canaux dans le domaine millimétrique et submillimétrique ainsi que dans le domaine THz (1.3 et 2.5THz). Ceux-ci étant destinés à mesurer les molécules HF et OH dont le rôle important dans la chimie de l'atmosphère a été mis en évidence récemment.

## **6.3 PRINCIPAUX CONTRATS ET PROGRAMMES**

### **En « Télédétection »**

#### **6.3.1 - Participation à des contrats de l'Agence Spatiale Européenne**

- 'Study on future microwave and millimeter-wave radiometer requirements and concepts', contrat ASE, 2001-2002.
- 'Study of future microwave sounders on geostationary and medium Earth orbits', contrat ASE, 2002-2003.
- 'Study of the potential of sub-millimeter observations for precipitation retrieval', contrat ASE, 2004-2005.
- 'Study of techniques and sensors for observation of extreme weather events', contrat ASE, 2004-2005.

#### **6.3.2 - Participation à des contrats NASA/NOAA**

- Co -I, contrat NASA sur 3 ans (2003-2005) avec le GISS/NASA à New York: 'Global analysis of the synoptic and diurnal variability of land surface skin and air temperatures that reflects land-atmosphere exchanges of energy and water', NASA, avec Rossow et al, NASA/GISS.
- 'Monitoring of global microwave land surface emissivities and temperature derived from combined AMSR-E, AMSU/AIRS, and MODIS', CO-I avec AER Boston, sur 3 ans à la NASA/NRA 03 OES 02.

#### **6.3.3 - Participation à des contrats et à des programmes nationaux**

##### **6.3.3.1 - Programme National de Télédétection Spatiale**

- 'Analyse conjointe des signatures passives et actives au-dessus des nuages précipitants à partir d'observations TRMM', responsable du contrat sur 2 ans (à échéance en 2003).
- 'Application des observations micro-ondes satellites à l'analyse géologique des surfaces arides : catalogue des propriétés diélectriques de roches et poudres jusqu'à 110 GHz', responsable du contrat.
- 'Estimation des sources d'aérosols minéraux en Afrique et de leur variabilité, à partir d'observations du diffusiomètre ERS, responsable du contrat.

##### **6.3.3.2 - ACI Hydrologie spatiale**

- 'Cycle hydrologique et bilans de masse des eaux continentales à l'aide d'observations spatiales et in situ, et modélisation', groupement de laboratoires, responsable N. Mognard, 2002-2004.

##### **6.3.3.3 - ACI Cryosphère**

- 'Changement climatique et cryosphère', responsable C. Genthon, 2004-2005

##### **6.3.3.4 – API AMMA**

- Analyse multi-instruments de la mousson africaine.

### **6.3.4 - Réponses à appels d'offres en cours**

Projet européen (en attente d'évaluation): 'European contribution to global and regional monitoring of surface waters and water cycle components' proposition au Projet Global Monitoring Environment and Securities.

#### **En « Instrumentation Hyperfréquence »**

Ces activités menées par le **GEMO** sont financées en partie par le soutien de base du LERMA (sources MEN et CNRS), mais la part importante de son financement (R & D et expériences spatiales) provient du Centre National d'Etudes Spatiales ainsi que de contrats relatifs aux activités menées dans le cadre de consortia européens (EU : Radionet, INTAS, ESA).

Les activités de recherche et la mise à niveau en équipement sont également bien soutenues par le CNRS (dept STIC : GDR Ondes, plate-forme THz.), par l'INSU (MAN, R & D), par Conseil Scientifique (CS) de l'Observatoire (BQR et budget du MENRT).

#### **Contrats de développement du GEMO / 2000-2004**

- Projet Herschel HI-FI canal 1(ESA) ; convention CNES-INSU 01/CNES/8728 de 1,1M €;
- Projet SAPHIR (CNES) ; convention CNES –INSU n° 737/CNES/02/0232 de 78 k€
- Projet MAMBO sur Mars (CNES) conv.CNES-INSU n° 793/99/CNES/7947/01 de 354 k€
- Expérience MIRO/ Rosetta (ESA) ; conv. CNES-INSU n° 737/CNES/98/7083 de
- 78 k€

#### **Contrats de recherches du GEMO / 2000-2004**

##### **- R & D CNES :**

- o Etude d'une antenne constituée d'un cornet à rainure hélicoïdale et développement d'un procédé de fabrication d'un tel cornet et mandrin correspondant. Convention CNES-OP n° 714/01/CNES/3005/00 - 02/0127/00 de 128 k€
  - o Multiplicateurs de fréquence à Hétérostructures (HBV), partenaire de l'IEMN à Lille (suite aux contrats ESA-OP et ESA-IEMN et CNES-IEMN-OP n°714/98/7280/00) ;
  - o Mélangeurs HEB SHTC (YBaCuO), partenaire du LGEP / Supélec / UPMC, avec le CEA à Grenoble (suite du contrat CNES-OP/LGEP n° 714/98/7281/00)
- **R&D INTAS – CNES** ref 97-1453 : ‘High-Temperature Superconducting SHTc Hot Electron Bolometer HEB mixer for space submillimeter atmospheric physics and astronomy’. Contrat terminé en 2002 , mené en partenariat avec le LGEP Supélec-UPMC, l'INT à Evry, l'Université Pédagogique de Moscou, de Nizni-Novgorov (Russie), de Kiev (Ukraine), le DLR et l'Université de Bochum (Allemagne).
  - **R&D INTAS–ESA** ref 99-569 (de 58 k€) : ‘Research and Development of Low-Temperature superconducting HEB Mixers for Terahertz Heterodyne Receivers in Atmospheric Science’, partenaire avec l'Université pédagogique de Moscou, le DLR à Berlin (Ge) , le RAL (UK).

## *Radiométrie hyperfréquence*

- **R&D ESA** : « HEB Multipixel Heterodyne Receiver on the THz range » ; ref ESTEC 16 940/ 02 / NL/ PA ; partenariat avec l'Université de Chalmers (CTH, Suède), DLR (Berlin, Ge) et collaboration avec le LAAS (Toulouse).
- **PPF UPMC (UFR 924)**, en cours depuis 2001
  - o LGEP-LISIF – LERMA : “Dispositifs Supraconducteurs à Haute Température critique en ondes millimétriques et submillimétriques “

### **Nouveaux contrats d'études au GEMO à partir de 2004 :**

- **R & D EU, 6<sup>ème</sup> PCRD** : Radionet (présélectionné, en cours de négociation au 1/09/03 pour un montant de 118 k€) – project Activity JRA2 : AMSTAR “ Hot Electron Bolometers (HEB) mixers for observations above 1 THz” ; partenariat avec SRON/RuG (Hollande), OSO (Suède), collaboration avec le LAAS (Toulouse, France).
- **R & D INTAS 03** : Innovation Grant 63-03 (fait suite au contrat INTAS-CNES réf 97-1453) : High-Temperature Superconducting HTSC Hot Electron Bolometer HEB mixer for space submillimetre atmospheric physics and astronomy (LGEP Supélec/UPMC – LERMA, OP- MSPU -Pedagogical University, Moscow & ScanEx).
- **R & D CNES (en cours d'évaluation)** : Démonstrateur de récepteur hétérodyne submillimétrique intégré à mélange et génération d'oscillateur local par réseaux parallèles de jonctions supraconductrices (suite du contrat CNES-OP n° 714/99/7759/00).
- **R & D CNES (en cours d'évaluation)** : Conception et réalisation de récepteurs hétérodynes monolithiques sur GaAs aux longueurs d'ondes millimétriques, avec un objectif d'imagerie (LISIF/UPMC -collaboration LERMA) ;
- **PPF UPMC (UFR 924), en cours d'évaluation :**
  - o LGEP-LISIF et participation LERMA : « Imagerie Terahertz et ses applications »

## ***7 LOGICIELS POUR L'INSTRUMENTATION***



## ***7.1 INTRODUCTION***

Il est apparu au cours de la rédaction de ce rapport d'activité qu'à chaque intervention du laboratoire dans le développement d'instrumentation correspondait une activité spécifique de développement de logiciels étroitement associés à cette instrumentation et matérialisant la compétence du laboratoire aux interfaces entre la conception, la mise en oeuvre et l'exploitation d'instruments. Cela va des logiciels de simulation dans le domaine hyperfréquence à ceux destinés aux centres de traitement des données des grands instruments. Ces activités, comme l'écriture de logiciels pour ALMA, ne sont pas directement liées à des thématiques précises. Il en est de même pour le centre de traitement de données d'Herschel auquel nous contribuons. Nous avons donc regroupé dans ce chapitre ces deux thèmes malheureusement traités en style télégraphique., Nous aurions fort bien pu y ajouter, par exemple, les activités de simulation pour le projet Planck.

## 7.2 ALMA

### **Equipe Informatique Scientifique Alma**

Trois personnes du LERMA sont actuellement impliquées dans le développement de logiciels pour le projet ALMA dans le cadre de contrats avec l'ESO : François Viallefond (DR2 CNRS) ainsi que Michel Caillat (IR2, 100%) et Alain Coulais (IR2, 30%). La participation se fait au sein de l'IPT (Integrated Project Team) « Computing » dans différents sous-systèmes : Sous-système « Offline » (sous contrat avec l'ESO au sein du consortium ADACE, piloté par l'IRAM : F. Viallefond 70% (responsable simulateur) ; M. Caillat 100% (les responsabilités contractuelles étant respectivement de 50 et 80%).

Sous-système « Archive » F. Viallefond 8% en tant que « subsystem scientist » et « data model/flow scientist »

Sous-système « Science Software Requirements » : F. Viallefond 2%

F. Viallefond participe également à l'IPT « Science » au niveau de 5%.

L'activité de l'équipe est soumise aux mêmes procédures que l'ensemble du projet ALMA : documentation, revues, et releases de logiciels.

### **Principales collaborations:**

L'équipe « Offline » (J. McMullin, NRAO, Etats-Unis)

L'équipe « High Level Analysis »

L'équipe Telescope Calibration (TELCAL) à l'IRAM

H. Hafok (MPIfR Bonn)

J. Pardo (CSIC Madrid) ainsi que 2 étudiants en thèse

F. Boone 20% (LERMA, année 2002) Configuration des antennes

F. Levrier (LERMA, 5%) Méthodes d'analyse pour le MIS

Pendant la période 2002-2004, l'équipe a proposé un design pour les 240 stations des antennes sur le site de Chajnantor. Elle a développé une méthode pour simuler les effets de l'atmosphère et des instabilités des récepteurs. Ces simulations ont été exportées dans le format de données du projet (« Measurement Set d'AIPS++ ») ainsi que dans le format de l'interféromètre test d'ALMA. L'équipe a également développé l'indispensable modèles de données, et mené à bien une implémentation prototype de ce modèle. Nous avons également fourni une contribution significative pour la capture des données (flot de données).

Grâce aux compétences complémentaires, à la fois scientifiques et techniques, réunies dans l'équipe, nous avons pu proposer un modèle de données pour le projet ALMA, incluant le concept, un schéma logique et une implémentation prototype. L'utilisation d'un simulateur développé durant la phase 1 d'ALMA nous permet d'utiliser, tester et affiner le modèle. Cette implémentation fait appel aux techniques d'objets distribués, aux concepts de bases de données, ceci avec divers langages (Java, C++, IDL/Corba, XML, XSLT, UML, etc.). Ce modèle et son implémentation prototype sont actuellement utilisés par les sous-systèmes CONTROL, CORRELATOR, TELCAL, QUICKLOOK, ARCHIVE et OFFLINE. Le modèle de données est donc à une position centrale et stratégique dans le projet.

L'équipe travaille en étroite collaboration avec le sous-système OFFLINE dont le pôle est a NRAO. [Dans ce contexte, la collaboration initialement prévue avec des chercheurs de l'IRAM a du être réduite, ceci à cause d'une part des conditions imposées par le projet et d'autre part d'une reconfiguration par le management en Europe des personnels et des responsabilités au niveau des "workpackages".]

## **7.3 PARTICIPATION AU SEGMENT SOL DE HERSCHEL-HIFI**

### **7.3.1 Groupe de calibration**

(M. Pérault, M. Gerin, E. Falgarone, D. Teyssier (jusqu'en 2002))

- Définition de la stratégie de calibration / contribution principale à la rédaction du plan de calibration (thèse de D. Teyssier)

- Gestion de la documentation pour la calibration (serveur de documents, JF Rabasse)

- Participation à la rédaction des "use case" définissant les tâches principales de l'étalonnage

- Etude des sources de calibration (objets du système solaire principalement) pour la calibration ; étude des spécifications requises pour l'étalonnage et comparaison aux propriétés des sources, liste des meilleures sources, répartition sur le ciel.

Observations (D. Teyssier au CSO)

- Spécifications pour la réduction des données (Participation à la rédaction du End User Requirement, environ 50%).

- Proposition, étude préliminaire et participation à la réalisation (qui a été prise en charge par l'IAS) d'une cellule d'absorption à gaz de 1m et de grandissement 1:1 pour les tests spectroscopiques de HIFI.

### **7.3.2 contribution à l'Instrument Control Center ou ICC.**

(M. Pérault, JF Rabasse, P. Hennebelle, N. Decamp vacations, AL Jestin CDD)

Simulateur de données pour l'instrument HIFI, simulation des commandes (avec KOSMA). ce simulateur permet de simuler le comportement des chaînes de réception, jusqu'aux spectromètres inclus, et les distorsions introduites par certains défauts de l'instrument dans les données. Il permet de tester les méthodes d'analyse développées dans d'autres tâches de l'ICC.

HIFI-CLASS (avec S. Guilloteau, L3AB Bordeaux) à la demande du PI T. de Graauw. Projet d'interface de l'environnement CLASS de IRAM à HIFI.

Modèle de données pour HIFI : tâche nécessaire pour HIFI-CLASS, mais aussi plus généralement pour tout système dédié à l'analyse des données HIFI. Participation au groupe (D. Kester, SRON)

Déconvolution des spectres (P. Schilke, C. Comito, P. Hennebelle, tâche de service )

Analyse des données des spectromètres, caractérisation du bruit (N. Decamp). Travail à suivre avec les tests en cours du modèle de qualification de HIFI.



# ENSEIGNEMENT



## ***8 LE LERMA ET L'ENSEIGNEMENT***

## **8.1 INTRODUCTION**

Le LERMA, dont le nombre d'enseignants-chercheurs est pratiquement identique à celui des chercheurs, est un laboratoire fortement ancré dans la vie universitaire. 27 chercheurs et enseignants-chercheurs participent aux enseignements dans les différents sites. Le LERMA contribue aux enseignements de Paris 6 et de Cergy Pontoise à tous les niveaux, depuis le 1er cycle jusqu'à l'encadrement de thèses et la formation post-DEA ; le laboratoire est également très présent dans les différentes filières d'enseignement de l'Observatoire de Paris. Il faut aussi remarquer que de nombreuses responsabilités d'enseignement sont assurées par des membres du laboratoire.

On note par ailleurs la présence d'une moyenne de 15 à 20 étudiants en thèse chaque année, ainsi que de nombreux stagiaires à tous les niveaux et dans toutes les disciplines. Il est évident que la nature pluridisciplinaire des recherches développées au LERMA joue un rôle important pour la formation des étudiants grâce à des activités novatrices très bien ancrées dans un contexte international.

Le rapport ci-après présente une synthèse des activités d'enseignement, les principales responsabilités exercées par des membres du laboratoire, ainsi que certaines perspectives dans le cadre du LMD. Des fiches plus détaillées sont mises en annexe.

## **8.2 LES ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT DU LERMA**

### **8.2.1 Observatoire de Paris/LERMA**

Enseignants-Chercheurs :

Nicole Allard (Ast), Christian Balança (MC), Fabienne Casoli (Ast), Françoise Combes (Ast), Amaury de Kertanguy (Asad), Mohammad Heydari-Malayeri (Ast), Patrick Petitjean (Ast)

Autres personnes participant à l'enseignement : Nicole Feautrier (DR), Françoise Launay (IR), Sydney Leach (DR), François Viallefond (DR)

L'enseignement de l'Observatoire de Paris est regroupé dans l'Unité de Formation et Enseignement (UFE). Elle comprend l'Ecole Doctorale d'Astronomie & Astrophysique d'Île-de-France, le DESS Outils et Systèmes de l'Astronomie et de l'Espace, le Master Sciences de l'Univers et Technologies Spatiales, la Formation des Maîtres, la Formation Permanente et les stages d'étudiants. L'Observatoire développe depuis deux ans un campus numérique Astrophysique sur Mesure (ASM), labellisé par le Ministère de l'Education Nationale, afin de mettre en place un enseignement en ligne en astronomie et astrophysique pour les étudiants des niveaux L, M et D.

Le LERMA contribue aux activités d'enseignement de l'UFE dans les thématiques de son activité et à tous les niveaux depuis le premier cycle jusqu'à l'encadrement de thèses, la formation post-DEA.

Les enseignements du LERMA dans le cadre de l'UFE concernent directement 12 chercheurs et enseignants-chercheurs (sans compter les enseignements en dehors de l'Observatoire). Parmi ceux-ci on compte la responsable du Master Sciences de l'Univers et Technologies Spatiales et le responsable de la Formation des Maîtres. L'investissement du LERMA dans les

enseignements de l'Ecole Doctorale d'Astronomie & Astrophysique d'Île-de-France est important: le LERMA compte parmi ses membres le directeur de l'Ecole Doctorale et plusieurs chercheurs et enseignant-chercheurs de l'Observatoire et de l'UPMC/ERGA qui participent aux enseignements.

Le volume d'enseignement des membres du LERMA représente 750 heures réparties à 20% pour l'Ecole Doctorale et DESS, 33% pour la formation des enseignants et 46% dans l'encadrement des stages de niveau licence à DEA.

L'enseignement à l'Ecole Doctorale concerne la structure interne et l'évolution des galaxies, les processus électromagnétiques, le transfert de rayonnement, les outils et méthodes de l'observation en astrophysique, les atomes, molécules et agrégats et enfin la cosmologie.

Au DESS, les contributions concernent la collecte et le traitement du signal, le domaine radio et l'interférométrie dans le cadre de la préparation à ALMA.

A la Formation des Maîtres, les enseignements sont destinés aux professeurs des écoles, collègues et lycées, en formation continue ou initiale. Les contributions sont très variées : stages de formation à l'astronomie, les parrainages d'enseignants, campus numérique (mise en place d'un site de formation à distance, création de cédéroms éducatifs pour les écoles, collègues et lycées), consultant astronomie de La Main à la Pâte, conférences.

Une dizaine de stages par an, de 15 jours à 3 mois suivant les niveaux, IUT, licence, maîtrise et DEA sans compter les thèses.

On notera à ce sujet la présence chaque année de 20 étudiants en thèse ce qui, tout ensemble avec ses associations à l'université P. et M. Curie, à l'université de Cergy-Pontoise et à l'ENS, confirme l'intérêt de ce département pour la formation universitaire au niveau doctoral.

## **8.2.2 UPMC/LERMA (ERGA)**

Enseignants-Chercheurs :

Marie-Christine Angonin (MC), Patrick Boissé (PR), Fabrice Debbasch (MC), Marie-Lise Dubernet (Asad), Pierre Encrenaz (PR), Jérôme Gariel (MC), Anne-Laure Melchior (MC), Jean-François Panis (MC), Benoît Semelin (MC), Lydia Tchang-Brillet (PR), Philippe Tourrenc (PR), Françoise Tran-Minh (MC)

ATER: Cécile Barbachoux, Frédéric Meynadier (2004)

Moniteur : Frédéric Meynadier (2001-2004)

### **8.2.2.1 Présentation de l'ERGA**

L'Equipe de Relativité, Gravitation et Astrophysique du LERMA regroupe notamment l'ensemble des enseignants-chercheurs de l'UPMC au LERMA. Ce regroupement est un regroupement de moyens, mais c'est aussi un lieu d'échanges et de discussions sur les divers aspects du métier d'enseignant-chercheur.

Jusqu'au printemps 2004, avant le déménagement de l'ERGA à Ivry, ce regroupement était aussi un regroupement géographique sur le lieu de l'enseignement. Il a ainsi permis aux enseignants-chercheurs d'avoir en permanence une salle de réunion pour accueillir sur place leurs collègues et des locaux pour accueillir les étudiants, soit pour des discussions individuelles, soit pour des enseignements ou évaluations en petits groupes. La bibliothèque

de l'ERGA s'est aussi adaptée à ses utilisateurs en étoffant les rayons concernant les livres de physique générale. Le matériel d'enseignement (rétroprojecteur, vidéoprojecteur, petit matériel) était ainsi à portée de main en cas de nécessité. Enfin, les bureaux à proximité des salles de cours permettaient de poursuivre un travail de recherche tout en ayant une activité soutenue d'enseignement.

La proximité géographique des enseignants-chercheurs a ainsi permis une mise en commun des problèmes liés à leur métier. Cette dynamique de groupe assez unique est à l'origine de l'investissement de l'ensemble de ses membres dans la mise en place de nouveaux enseignements et dans la prise de responsabilités à tous les niveaux.

Il est évident qu'avec son déménagement à Ivry, l'ERGA a perdu une grande part de ses moyens, mais ses membres ont réaffirmé leur volonté de maintenir cette structure afin qu'elle puisse prendre un nouvel essor à son retour à Jussieu.

### **8.2.2.2 Enseignements et responsabilités**

Les enseignants-chercheurs de l'ERGA font en moyenne chaque année un service complet d'enseignement sous forme de TDs/TPs/CM. En complément, l'ensemble des enseignants-chercheurs de l'ERGA a pris des responsabilités à tous les niveaux de l'enseignement et a participé à la création de plusieurs modules (niveau DEUG : modules méthodologiques, option PCB, cours PHYTEM, cours de DEA en astrophysique ou sur les atomes et molécules, etc.). Ainsi, l'ERGA a compté parmi ses membres, le directeur de l'UFR 924, le directeur de l'Ecole Doctorale d'Astronomie & Astrophysique d'Île-de-France, le responsable du DEA d'Astrophysique et instrumentations associées et de la préparation à l'agrégation externe de physique, le responsable de l'organisation des enseignements de physique du DEUG SCVT, ainsi que le responsable de ces enseignements au CNED, la responsable de l'association « F-HOU, l'univers à portée de main » et des enseignements en lien avec cette association.

La mobilisation a été forte autour du DEUG SCVT (biologie) où la plupart ont enseigné la physique ou la méthodologie. En plus de cela, ils se sont investis, en prenant des responsabilités lourdes, pour rendre attractif l'enseignement de la physique à des étudiants non-physiciens et ont remanié en profondeur l'organisation de l'enseignement de ce service afin qu'il soit aussi attractif pour des enseignants motivés.

Dans la continuité, les enseignants-chercheurs de l'ERGA se sont investis dans la création et la mise en place de nouvelles filières faisant la jonction entre les cursus de sciences de la vie et de physique. Ainsi, ils ont participé activement à la mise en place de la Licence Sciences de la Vie et de la Planète, parcours mixte physique/biologie et à la création du parcours Physique, Chimie et Biologie qui s'adresse aux candidats aux concours de médecine souhaitant se recycler dans un parcours universitaire.

Enfin, certains membres de l'ERGA se sont impliqués pour le développement d'enseignements à distance et multimédia (F-HOU, CNED, etc.).

### **8.2.3 Cergy/LERMA**

Enseignants-Chercheurs Cergy/LERMA :

François Dulieu (MC), Jean Hugues Fillion (MC), Anouchah Momeni (MC 2004), Jean Louis Lemaire (PR)

ATER: Franck Le Petit (2002), Anouchah Momeni (2002, 2003)

Moniteurs Cergy/LERMA :

a) Lionel Amiaud, Saoud Baouche, Gonzague Callejo, Laurence Vannier

b) Fabien Daniel, Moncef Derouich, Fabrice Dayou, Boutheina Kerkeni, Raouafi Nouredine

Les membres du LERMA/Cergy contribuent aux activités d'enseignement des différents départements disciplinaires regroupés dans l'UFR Sciences et Techniques de l'Université de Cergy-Pontoise dans les thématiques générales et aussi en relation avec leurs activités propres, à tous les niveaux depuis le premier cycle jusqu'à l'encadrement de stages de DEA et de thèses.

Les enseignements du LERMA/Cergy dans le cadre de l'UFR concernent directement 4 enseignants-chercheurs ainsi qu'un contingent régulier annuel de 3 moniteurs allocataires de recherche travaillant au laboratoire de Cergy (liste a) ou dans d'autres composantes du LERMA (liste b). L'ensemble des enseignants est rattaché au département de Physique.

Le volume total d'enseignement, devant les étudiants, des membres du LERMA/Cergy représente officiellement 768 heures pour les titulaires et 192 heures pour les moniteurs. Compte tenu des effectifs étudiants, chaque enseignant est amené, pour accomplir son service, à s'investir dans au moins trois types d'enseignements différents, augmentant ainsi la lourdeur des tâches de préparation et conduisant également à des heures supplémentaires "obligatoires" par nécessité de commensurabilité.

Les encadrements de stages ne sont pas inclus dans les services. Entre quatre et huit stagiaires sont régulièrement encadrés chaque année, pour des séjours d'une durée de un à trois mois, à tous les niveaux: IUT, Deug, Licence, Maîtrise et DEA. Notons la participation régulière de notre laboratoire à l'encadrement de projets méthodologiques dans le cadre du DEA Astrophysique et Instrumentations associées (UPMC). Un à trois étudiants en Thèse ont été présents en moyenne entre 2000 et 2005.

L'enseignement est dispensé majoritairement au département de Physique mais également au département d'Informatique et, dans le cadre d'options, aux départements des Sciences de la Terre, de Biologie et de Chimie. Des photocopiés sont parfois élaborés.

En 2004, à l'initiative de 2 d'entre nous et avec la collaboration de 2 chimistes, un cours d'Astrochemistry, dispensé en anglais, a été ouvert en option pour les étudiants de Licence et de Maîtrise de Physique et de Chimie. Cet enseignement, qui permet aux étudiants de pratiquer l'anglais scientifique, sera poursuivi.

## **8.3 PERSPECTIVES**

De nombreux projets d'enseignement seront développés durant les prochaines années. Il ya tout d'abord la mise en place de la réforme LMD détaillée un peu plus loin et qui continuera à mobiliser de nombreuses forces. Par ailleurs, les équipes du laboratoire, très présentes dans le domaine de la diffusion des connaissances en astronomie, continueront à développer ce type d'activité avec notamment le projet Global-HOU et avec les nombreux projets d'enseignement en ligne.

### **8.3.1 La réforme LMD**

À partir de la rentrée 2004-2005, la réforme LMD a été mise en place à l'Observatoire de Paris et à l'UPMC, elle sera mise en place en 2005 à l'UCP. Au sein de l'UPMC, cette réforme entraîne beaucoup de changements profonds dans l'enseignement. Augmenter le choix des étudiants dans leurs enseignements implique une disponibilité croissante des enseignants. Les volumes horaires des enseignements varient, impliquant des refontes complètes de la plupart des services des enseignants-chercheurs.

Le travail pour mettre en place cette réforme a été commencé dans les différentes équipes, il y a presque deux ans. Au niveau Licence, les enseignants-chercheurs de l'ERGA se sont mobilisés, notamment en prenant des responsabilités d'UE, pour établir les nouveaux enseignements de physique pour étudiants physiciens ou biologistes, avec toujours la même conception de l'enseignement que précédemment.

Au niveau Master, ils ont pris des responsabilités directes dans la mise en place de la mention Sciences de l'Univers, Environnement et Ecologie (responsable de mention et responsables de spécialité), plus spécifiquement, la spécialité Astronomie et Astrophysique et ses liens avec la mention Physique et Applications. L'aspect pluridisciplinaire du parcours proposé en M1 en fait une nouveauté. Au niveau M2, une large concertation a été établie au sein d'une fédération d'enseignements communs entre l'Observatoire de Paris et les Universités Paris 6, Paris 7 et Paris 11. L'Université de Cergy-Pontoise y sera associée par convention.

À l'Université de Cergy-Pontoise, une demande d'habilitation à délivrer la Licence et le Master est en cours pour la campagne 2005 de la réforme LMD. Cette réforme, qui entraîne des changements profonds dans l'offre d'enseignement ainsi que dans son organisation, a représenté en 2004 une lourde charge de réflexion et de coordination. L'équipe enseignante est fortement impliquée dans le montage de la Licence ainsi que du Master TASM Techniques avancées en Sciences des Matériaux (EC Microscopies, technologies de laboratoire, lasers et applications, Astrophysique, Acquisition et analyse de données, Matière et rayonnement III). Afin de valoriser les compétences en "Astrophysique de Laboratoire" du LERMA/CERGY, il a été veillé à ce que le choix des enseignements de M1 permette l'ouverture vers la spécialité Astronomie et Astrophysique en M2, cette dernière étant traitée à l'extérieur notamment dans le M2 "Sciences de l'Univers et Technologies Spatiales" (M2-SUTS) mis en place à l'Observatoire de Paris. Une implication (dans le cadre de leurs services) des enseignants-chercheurs du LERMA/Cergy dans l'enseignement du M2-SUTS et dans leur spécialité de recherche serait hautement souhaitable. Les responsabilités diverses prises par les enseignants-chercheurs dans le cadre du LMD ne sont pas incluses dans l'évaluation des services.

### **8.3.2 F-HOU L'Univers à Portée de main**

Le projet "F-HOU L'Univers à Portée de Main" a pour but de promouvoir une méthode d'apprentissage des sciences basée sur l'astronomie et l'astrophysique afin de pallier la désaffection des élèves pour les filières scientifiques. Il comporte des actions nationales et internationales :

- Réalisation de ressources pédagogiques « clé en main » servant de support pour l'acquisition de notions de physique et de mathématiques, au collège, au lycée et dans les premiers cycles universitaires. Ces ressources incluent un logiciel HOU-VF utilisé par 800 établissements scolaires en France et dans la plupart des pays francophones.

- Création d'une association loi 1901, intitulée "F-HOU, L'Univers à Portée de Main" destinée à offrir une meilleure visibilité à ce projet et une meilleure représentativité de sa diversité nationale.

Ce projet s'intègre dans le cadre de l'opération transdisciplinaire LUNAP "Sciences à l'Ecole" action du Ministère de l'Education Nationale et de la Recherche en direction de l'enseignement scientifique des collèges et lycées. Le Transit de Vénus devant le disque solaire (8 juin 2004) a été l'un des premiers thèmes abordés dans le cadre de cette opération. En association avec sept autres pays européens, un projet EU-HOU (European Hands-On Universe), coordonné par un membre du LERMA, a fait l'objet d'une demande MINERVA du programme SOCRATES et a été sélectionné en juillet 2004.

Le projet F-HOU bénéficie du soutien actif du LERMA, de l'Observatoire de Paris et de l'Université Pierre et Marie Curie.

## ***8.4 REMARQUES GENERALES : EVOLUTION DU METIER D'ENSEIGNAN-CHERCHEUR***

Le métier d'enseignant-chercheur a évolué de façon sensible au cours des dernières années. La charge d'enseignement, mesurée sous forme de temps de présence devant les étudiants, reste lourde, mais elle ne reflète plus l'ensemble du travail d'un enseignant-chercheur.

La création de nouveaux enseignements et le renouvellement constant de ceux qui sont déjà en place sont des activités prenant beaucoup de temps, qui ne sont pas considérées dans l'évaluation des services et dans l'évaluation des carrières. Or, c'est justement dans ce domaine qu'est mise en valeur la spécificité du métier d'enseignant couplé à celui de chercheur. À tous les niveaux de l'enseignement en université, le fait d'avoir des personnes actives en recherche peut donner une dynamique à l'enseignement, ayant pour conséquence de stimuler l'intérêt des étudiants dans les domaines concernés. Le fait de ne pas considérer cette originalité du métier d'enseignant chercheur dans l'évaluation des carrières stérilise à la fois la motivation de l'enseignant ainsi que tout attrait de l'enseignement universitaire pour ceux qui le suivent ce qui peut expliquer, au moins en partie, les baisses d'effectifs d'étudiants en physique au profit d'un enseignement plus classique mais avec plus de moyens, comme celui proposé dans les écoles d'ingénieurs.

L'évolution des supports d'enseignement a aussi un impact non négligeable sur le métier d'enseignant-chercheur. Les enseignants-chercheurs sont sollicités pour développer des cours en ligne, assumer un suivi des étudiants par e-mails. On ne conçoit plus à présent de cours sans photocopiés et les réformes des enseignements vont dans le sens d'un tutorat permanent des étudiants tout au long de leurs parcours universitaires aussi bien pour les guider dans leurs orientations que pour le choix des unités d'enseignements. Toutes ces tâches, pour le moment, ne sont pas reconnues dans l'estimation des temps d'enseignement car elles ne correspondent pas à la terminologie classique des heures TDs/TPs/CM.

Le personnel administratif universitaire disponible pour encadrer les enseignements est de moins en moins nombreux. Cela implique aussi une mobilisation des enseignants-chercheurs dans le fonctionnement même des enseignements, pour des tâches pour lesquelles ils sont surqualifiés. À cela s'ajoute une pyramide des âges défavorable impliquant une mobilisation

des jeunes enseignants-chercheurs pour des charges de responsabilités lourdes et prenantes dès les premières années.

Ces dernières années ont vu aussi le développement de l'enseignement sous forme de stages en laboratoire (dès la licence depuis 2001-2002). Or les stages antérieurs au DEA ne sont pas reconnus par les tutelles comme des activités de recherche et ne sont pas non plus reconnus en termes d'heures d'enseignement (les stages de licence n'auront une équivalence en heures d'enseignement qu'à partir de l'an prochain). Il semble pourtant que la venue d'étudiants dans les laboratoires dès le début de leurs études ait un impact non négligeable sur leurs choix futurs, tout en apportant une dynamique importante dans la vie d'un laboratoire. Les enseignants-chercheurs sont le catalyseur entre le monde universitaire et celui des laboratoires et ce n'est qu'en prenant conscience de l'apport positif des enseignants-chercheurs dans un laboratoire que leurs collègues chercheurs pourront accepter de partager leurs activités de recherche avec des collaborateurs à la mobilité moindre et à l'emploi du temps plus chargé et moins souple.

Enfin, on note qu'une demande existe, de la part des lycées des environs, pour des tutorats de projets ou des parrainages d'enseignants, à laquelle il n'est possible de répondre que très partiellement, malgré notre souhait réciproque. Nous regrettons que cette activité de diffusion des connaissances, qui nous semble importante, ne puisse être comptabilisée, au moins partiellement, dans nos services réglementaires. Une participation régulière des membres du laboratoire a lieu lors des manifestations de la "Fête de la Science" et des "Journées portes ouvertes".

# **PUBLICATIONS**



## ***9 LISTE DE PUBLICATIONS***



## 9.1 LISTE DE PUBLICATIONS

Cette liste a été réalisée à partir de la base ADS, puis complétée et vérifiée aussi bien que possible. Si l'on peut considérer que la liste des publications dans les revues à comité de lecture est pratiquement complète, nous craignons que ne nous aient échappé certaines communications ou conférences invitées n'ayant pas donné lieu à actes et donc non référencées dans ADS.

Nombre moyen par an:

- Articles publiés dans des revues à comité de lecture: **117**
- Actes de colloques: **78**
- Conférences Invitées: **23**
- Livres, Catalogues, Communications sans actes et Divers: **12**

soit un nombre moyen de **228** entrées par an,

et un nombre total de **1065** entrées dans la liste de publications 2000-2004 ci-dessous.

Le nombre moyen de chercheurs statutaires affectés au laboratoire a été pendant cette période de 47 (y compris les personnels CNAP de l'IAP formellement affectés au LERMA).

### 9.1.1 Année 2000

#### 9.1.1.1 Articles publiés dans des revues à comité de lecture

1. Abergel, A., **Miville-Deschênes, M.-A.**, Désert, F. X., **Pérault, M.**, Aussel, H., and Sauvage, M. (2000). The transient behaviour of the long wavelength channel of ISOCAM. *Experimental Astronomy*, 10:353-368.
2. Acef, O., **Bordé, C. J.**, Clairon, A., Pierre, G., and Sartakov, B. (2000). New Accurate Fit of an Extended Set of Saturation Data for the  $\nu_3$  Band of  $\text{SF}_6$ : Comparison of Hamiltonians in the Spherical and Cubic Tensor Formalisms. *Journal of Molecular Spectroscopy*, 199:188-204.
3. **Allard, N. F.**, Kielkopf, J., Drira, I., and Schmelcher, P. (2000). A collision-induced satellite in the Lyman profile due to H-H collisions. *European Physical Journal D*, 12:263-268.
4. Anantharamaiah, K. R., **Viallefond, F.**, Mohan, N. R., Goss, W. M., and Zhao, J. H. (2000). Starburst in the Ultraluminous Galaxy Arp 220: Constraints from Observations of Radio Recombination Lines and Continuum. *ApJ*, 537:613-630.
5. Baker, J. and **Launay, F.** (2000). First Observation of the Forbidden k-X Transition of  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ . *Journal of Molecular Spectroscopy*, 203:196-199.
6. Baker, J., **Launay, F.**, **Eidelsberg, M.**, and **Rostas, F.** (2000). A Reinvestigation of the  $\text{c}^3\Pi\text{-X}^1\Sigma^+$  (0-0) Absorption Band of Carbon Monoxide. *Journal of Molecular Spectroscopy*, 203:314-319.
7. Benoît, A., Zagury, F., Coron, N., De Petris, M., Désert, F.-X., Giard, M., Bernard, J.-P., Crussaire, J.-P., Dambier, G., de Bernardis, P., Delabrouille, J., De Luca, A., de Marcillac, P., Jegoudez, G., **Lamarre, J.-M.**, Leblanc, J., Lepeltier, J.-P., Leriche, B., Mainella, G., Narbonne, J., Pajot, F., Pons, R., Puget, J.-L., Pujol, S., Recouvreur, G., Serra, G., Soglasnova, V., Torre, J.-P., and Vozzi, B. (2000). Calibration and first light of the Diabolo photometer at the Millimetre and Infrared Testa Grigia Observatory. *A&AS*, 141:523-532.
8. Bianchi, S., Davies, J. I., Alton, P. B., **Gerin, M.**, and **Casoli, F.** (2000). SCUBA observations of NGC 6946. *A&A*, 353:L13-L17.

## Liste de publications

9. Böhringer, H., Soucail, G., **Mellier, Y.**, Ikebe, Y., and Schuecker, P. (2000). The X-ray morphology of the lensing galaxy cluster Cl0024+17. *A&A*, 353:124-128.
10. **Cabrit, S.** and Raga, A. (2000). Theoretical interpretation of the apparent deceleration in the HH 34 superjet. *A&A*, 354:667-673.
11. **Casoli, F., Lequeux, J.**, and David, F. (2000). Infrared space astronomy, today and tomorrow. *ISA Transactions*.
12. Cernicharo, J., Noriega-Crespo, A., Cesarsky, D., Lefloch, B., González-Alfonso, E., Najarro, F., Dartois, E., and **Cabrit, S.** (2000). Windows Through the Dusty Disks Surrounding the Youngest Low-Mass Protostellar Objects. *Science*, 288:649-652.
13. Cesarsky, D., Jones, A. P., **Lequeux, J.**, and Verstraete, L. (2000a). Silicate emission in Orion. *A&A*, 358:708-716.
14. Cesarsky, D., **Lequeux, J.**, Ryter, C., and **Gerin, M.** (2000b). ISO observations of the reflection nebula Ced 201: evolution of carbonaceous dust. *A&A*, 354:L87-L91.
15. Chardonnet, C., Marrel, T., Ziskind, M., Daussy, C., Amy-Klein, A., and **Bordé, C. J.** (2000). Spectroscopie de molécules chirales: Recherche d'un effet de violation de la parité. *Journal de Physique IV*, 10:45-54.
16. Charmandaris, V., **Combes, F.**, and van der Hulst, J. M. (2000a). First detection of molecular gas in the shells of CenA. *A&A*, 356:L1-L4.
17. Charmandaris, V., **Heydari-Malayeri, M.**, Rosa, M. R., Zinnecker, H., and Deharveng, L. (2000b). High Resolution Optical Imaging of Compact HII regions in the Magellanic Clouds. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 32:1594-+.
18. Churilov, S. S., Azarov, V. I., Ryabtsev, A. N., Tchang-Brillet, W.-\ U. L., and Wyart, J.-F. (2000). Revised and Extended Analyses of the Pd-Like Ion Spectra Sb VI, Te VII and I VIII. *Phys. Scr.*, 61:420-430.
19. Cioni, M.-R., Loup, C., Habing, H. J., Fouqué, P., **Bertin, E.**, Deul, E., Egret, D., Alard, C., de Batz, B., Borsenberger, J., Dennefeld, M., Epchtein, N., Forveille, T., Garzón, F., Hron, J., Kimeswenger, S., Lacombe, F., Le Bertre, T., Mamon, G. A., Omont, A., Paturel, G., Persi, P., Robin, A., Rouan, D., Simon, G., Tiphène, D., Vauglin, I., and Wagner, S. (2000). The DENIS Point Source Catalogue towards the Magellanic Clouds. *A&AS*, 144:235-245.
20. **Combes, F.** and Charmandaris, V. (2000). Search for molecular gas in HVCs by HCO<sup>+</sup> absorption. *A&A*, 357:75-83.
21. **Combes, F.**, Mamon, G., and Charmandaris, V. (2000). Dynamics of Galaxies: From the Early Universe to the Present. *PASP*, 112:423-423.
22. Constantin, L., Butcher, R., Amy-Klein, A., **Bordé, C. J.**, and Chardonnet, C. (2000). Franges de Ramsey à deux photons à 10  $\mu\text{m}$  : vers une nouvelle génération d'étalons de fréquence dans le domaine infrarouge. *Journal de Physique IV*, 10:199-200.
23. Contursi, A., **Lequeux, J.**, Cesarsky, D., Boulanger, F., Rubio, M., **Hanus, M.**, Sauvage, M., Tran, D., Bosma, A., Madden, S., and Vigroux, L. (2000). Mid-infrared imaging and spectrophotometry of N 66 in the SMC with ISOCAM. *A&A*, 362:310-324.
24. da Silva, M. F. A., Wang, A., Paiva, F. M., and **Santos, N. O.** (2000). Levi-Civita solutions with a cosmological constant. *Phys. Rev. D*, 61(4):044003-+.
25. Dartois, E., **Gerin, M.**, and d'Hendecourt, L. (2000). Multi-wavelength observations of the massive YSO RAFGL7009S. *A&A*, 361:1095-1111.
26. de Vega, H. J., Larsen, A. L., and **Sanchez, N. G.** (2000). Nonsingular string cosmologies from exact conformal field theories. *Phys. Rev. D*, 61(6):066003-+.

## Liste de publications

27. de Vega, H. J. and **Sanchez, N. G.** (2000). The statistical mechanics of the self-gravitating gas: equation of state and fractal dimension. *Physics Letters B*, 490:180-186.
28. Delabrouille, J., Puget, J.-L., **Lamarre, J.-M.**, and Gispert, R. (2000). Scanning Strategies for the Planck Mission. *Astrophysical Letters Communications*, 37:259-+.
29. Diaz-Miller, R. I., Allen, R. J., Cuillandre, J.-C., and **Lequeux, J.** (2000). Photodissociated Gas in the Outskirts of M31. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 32:1454-+.
30. Dimitrijevic, M. S. and **Sahal-Bréchet, S.** (2000a). Stark Broadening of F VI, Cl VII and Kr VIII Spectral Lines. *Phys. Scr*, 61:319-322.
31. Dimitrijevic, M. S. and **Sahal-Bréchet, S.** (2000b). Stark Broadening Parameter Tables for in II. *Serbian Astronomical Journal*, 162:57-+.
32. Dimitrijevic, M. S. and **Sahal-Bréchet, S.** (2000c). Stark Broadening Parameter Tables for Neutral Calcium Spectral Lines. I. *Serbian Astronomical Journal*, 161:39-+.
33. Dinh-V-Trung and **Nguyen-Quang-Rieu** (2000). Excitation of HCN in the circumstellar envelope of carbon stars. Maser emission and hyperfine line interaction. *A&A*, 361:601-613.
34. Dougados, C., **Cabrit, S.**, Lavalley, C., and Ménard, F. (2000). T Tauri stars microjets resolved by adaptive optics. *A&A*, 357:L61-L64.
35. Emslie, A. G., Miller, J. A., Vogt, E., Hénoux, J.-C., and **Sahal-Bréchet, S.** (2000a). H $\alpha$  Polarization during a Well-observed Solar Flare: Proton Energetics and Implications for Particle Acceleration Processes. *ApJ*, 542:513-520.
36. Emslie, A. G., Miller, J. A., Vogt, E., Hénoux, J.-C., and **Sahal-Bréchet, S.** (2000b). H $\alpha$  Polarization Observations and Flare Energetics. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 32:820-+.
37. Erben, T., van Waerbeke, L., **Mellier, Y.**, Schneider, P., Cuillandre, J.-C., Castander, F. J., and **Dantel-Fort, M.** (2000). Mass-detection of a matter concentration projected near the cluster Abell 1942: Dark clump or high-redshift cluster? *A&A*, 355:23-36.
38. Fouqué, P., Chevallier, L., Cohen, M., Galliano, E., Loup, C., Alard, C., de Batz, B., **Bertin, E.**, Borsenberger, J., Cioni, M. R., Copet, E., Dennefeld, M., Derriere, S., Deul, E., Duc, P.-A., Egret, D., Epchtein, N., Forveille, T., Garzón, F., Habing, H. J., Hron, J., Kimeswenger, S., Lacombe, F., **Le Bertre, T.**, Mamon, G. A., Omont, A., Paturel, G., Pau, S., Persi, P., Robin, A. C., Rouan, D., Schultheis, M., Simon, G., Tiphène, D., Vauglin, I., and Wagner, S. J. (2000). An absolute calibration of DENIS (deep near infrared southern sky survey). *A&AS*, 141:313-317.
39. Fuente, A., Martn-Pintado, J., Rodríguez-Fernández, N. J., Cernicharo, J., and **Gerin, M.** (2000). ISO SWS-LWS observations of the prototypical reflection nebula NGC 7023. *A&A*, 354:1053-1061.
40. García-Burillo, S., Sempere, M. J., **Combes, F.**, Hunt, L. K., and Neri, R. (2000). Anatomy of the counterrotating molecular disk in the spiral NGC 3593.  $^{12}\text{CO}(1-0)$  interferometer observations and numerical simulations. *A&A*, 363:869-886.
41. **Gariel, J.**, Marcilhacy, G., and **Santos, N. O.** (2000). On the Lewis metric. *Journal of Mathematical Physics*, 41:7535-7543.
42. Gautret, L., Fort, B., and **Mellier, Y.** (2000). Constraining ( $\Omega$ ,  $\lambda$ ) from weak lensing in clusters: the triplet statistics. *A&A*, 353:10-24.
43. **Gerin, M.** and Phillips, T. G. (2000). Atomic Carbon in Galaxies. *ApJ*, 537:644-653.
44. **Hennebelle, P.** and **Pérault, M.** (2000). Dynamical condensation in a magnetized and thermally bistable flow. Application to interstellar cirrus. *A&A*, 359:1124-1138.
45. Herrera, L., Paiva, F. M., and **Santos, N. O.** (2000a). Gyroscope precession in cylindrically symmetric spacetimes. *Classical and Quantum Gravity*, 17:1549-1557.

## Liste de publications

46. Herrera, L., Paiva, F. M., **Santos, N. O.**, and Ferrari, V. (2000b). Geodesics in the  $\gamma$  Spacetime. *International Journal of Modern Physics D*, 9:649-659.
47. **Heydari-Malayeri, M.**, Royer, P., Rauw, G., and Walborn, N. R. (2000a). Compact star clusters of the LMC H II region N11 C. *A&A*, 361:877-887.
48. **Heydari-Malayeri, M.**, Royer, P., Rauw, G., and Walborn, N. R. (2000b). Erratum: Compact star clusters of the LMC H II region N11 C. *A&A*, 364:923-923.
49. Holleville, D., Fils, J., Petit, P., Dimarcq, A., Clairon, A., Bouyer, P., **Bordé, C. J.**, and Salomon, C. (2000). Réalisation d'un gyromètre à atomes froids. *Journal de Physique IV*, 10:171-172.
50. Infante, M. P. and **Sanchez, N. G.** (2000). Primordial gravitational wave background in string cosmology. *Phys. Rev. D*, 61(8):083515-+.
51. Justtanont, K., Barlow, M. J., Tielens, A. G. G. M., Hollenbach, D., Latter, W. B., Liu, X.-W., Sylvester, R. J., Cox, P., and **Nguyen-Quang-Rieu** (2000). ISO-LWS observations of rotational CO lines from C-rich objects: AFGL 2688, AFGL 618 and NGC 7027. *A&A*, 360:1117-1125.
52. Kerkeni, B., **Spielfiedel, A.**, and **Feautrier, N.** (2000a). Ab initio calculation of the transfer and multipole rates of the Na ground state hyperfine levels perturbed by atomic hydrogen. *A&A*, 358:373-377.
53. Kerkeni, B., **Spielfiedel, A.**, and **Feautrier, N.** (2000b). Erratum: Ab initio calculation of the transfer and multipole rates of the Na ground state hyperfine levels perturbed by atomic hydrogen. *A&A*, 364:937-937.
54. Kielkopf, J. and **Allard, N. F.** (2000). The Effects of Multiple Perturbers on the Far Wing of Lyman  $\alpha$ . *APS Meeting Abstracts*, pages 945-+.
55. Koester, D. and **Allard, N. F.** (2000). The ZZ Ceti Instability Strip Revisited. *Baltic Astronomy*, 9:119-124.
56. **Lamarre, J.-M.**, Ade, P. R., Benoît, A., de Bernardis, P., Bock, J., Bouchet, F., Bradshaw, T., Charra, J., Church, S., Couchot, F., Delabrouille, J., Efstathiou, G., Giard, M., Giraud-Héraud, Y., Gispert, R., Griffin, M., Lange, A., Murphy, A., Pajot, F., Puget, J.-L., and Ristorcelli, I. (2000). The High Frequency Instrument of Planck: Design and Performances. *Astrophysical Letters Communications*, 37:161-+.
57. Larsen, A. L. and **Sanchez, N. G.** (2000). Quantum coherent string states in AdS<sub>3</sub> and the SL(2,R) Wess-Zumino-Witten-Novikov model. *Phys. Rev. D*, 62(4):046003-+.
58. Lavalley-Fouquet, C., **Cabrit, S.**, and Dougados, C. (2000). DG Tau: A shocking jet. *A&A*, 356:L41-L44.
59. Le Fèvre, O., **Mellier, Y.**, McCracken, H., **Bertin, E.**, Radovich, M., Cuillandre, J.-C., Fort, B., Mathez, G., Mazure, A., Picat, J. P., Pierre, M., Pello, R., Tresse, L., Veillet, C., and Vigroux, L. (2000). The CFH12K Deep Survey. *Bulletin d'information du telescope Canada-France-Hawaii*, 42:10-13.
60. Leon, S., Meylan, G., and **Combes, F.** (2000). Tidal tails around 20 Galactic globular clusters. Observational evidence for gravitational disk/bulge shocking. *A&A*, 359:907-931.
61. **Lequeux, J.** (2000). Silicate and carbonaceous grains from stars to the heliosphere: Recent progresses from the Infrared Space Observatory. *J. Geophys. Res.*, (14):10249-10256.
62. Lim, J., Leon, S., **Combes, F.**, and Dinh-V-Trung (2000). Molecular Gas in the Powerful Radio Galaxies 3C 31 and 3C 264: Major or Minor Mergers? *ApJ*, 545:L93-L97.
63. Márquez, I., Pécontal, E., Durret, F., and **Petitjean, P.** (2000). Integral field spectroscopy of the radio galaxy 3C 171. *A&A*, 361:5-12.

## Liste de publications

64. Mashhoon, B. and **Santos, N. O.** (2000). Rotating cylindrical systems and gravitomagnetism. *Annalen der Physik*, 9:49-63.
65. **Melchior, A.-L.**, Hughes, S. M. G., and Guibert, J. (2000a). AGAPEROS: Searching for variable stars in the LMC Bar with the Pixel Method. I. Detection, astrometry and cross-identification. *A&AS*, 145:11-49.
66. **Melchior, A.-L.**, **Viallefond, F.**, Guélin, M., and Neiningner, N. (2000b). Detection of CO in the inner part of the bulge of M31. *MNRAS*, 312:L29-L33.
67. **Mellier, Y.** (2000). Highlights of the Minisymposium 14. *Nuclear Physics B Proceedings Supplements*, 80:211-213.
68. **Michard, R.** (2000). Colour distributions in E-S0 galaxies - VI. A discussion of colour gradients in ellipticals. *A&A*, 360:85-91.
69. **Michard, R.** and Poulain, P. (2000). Colour distributions in E-S0 galaxies. V. Colour data for strongly inclined lenticulars. *A&AS*, 141:1-22.
70. **Nguyen-Quang-Rieu** (2000). Simple Radio-Astronomy Equipment. *Astronomy for Developing Countries, 24th meeting of the IAU, Special Session, August 2000, Manchester, England., 24.*
71. Pardo, J. R., **Pagani, L.**, Olofsson, G., Febvre, P., and Tauber, J. (2000). Balloon-borne submillimeter observations of upper stratospheric O<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 67:169-180.
72. Park, Y.-S., **Panis, J.-F.**, Ohashi, N., Choi, M., and Minh, Y. C. (2000). Interferometric Observation of the L483 Molecular Core. *ApJ*, 542:344-351.
73. Persi, P., Marenzi, A. R., Olofsson, G., Kaas, A. A., Nordh, L., Hultgren, M., Abergel, A., André, P., Bontemps, S., Boulanger, F., Burgdorf, M., Casali, M. M., Cesarsky, C. J., Copet, E., Davies, J., **Falgarone, E.**, Montmerle, T., **Péroult, M.**, Prusti, T., Puget, J. L., and Sibille, F. (2000). ISOCAM observations of the Chamaeleon I dark cloud. *A&A*, 357:219-224.
74. **Petitjean, P.**, Aracil, B., Srianand, R., and Ibata, R. (2000a). Structure of the Mg bt II and damped Lyman-alpha systems along the line of sight to APM 08279+5255 and damped Lyman-alpha systems along the line of sight to APM 08279+5255. *A&A*, 359:457-470.
75. **Petitjean, P.**, Srianand, R., and Ledoux, C. (2000b). Molecular hydrogen and the nature of damped Lyman-alpha systems. *A&A*, 364:L26-L30.
76. **Pety, J.** and **Falgarone, E.** (2000). The elusive structure of the diffuse molecular gas: shocks or vortices in compressible turbulence? *A&A*, 356:279-286.
77. Piat, M., Leriche, B., Torre, J.-P., **Lamarre, J.-M.**, Benoît, A., and Crussaire, J.-P. (2000). Thermal architecture design tests for the Planck/HFI instrument. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 444:413-418.
78. **Prigent, C.**, Wigneron, J.-P., Rossow, W. B., and Pardo-Carrion, J. R. (2000). Frequency and angular variations of land surface microwave emissivities: Can we estimate SSM/T and AMSU emissivities from SSM/I emissivities? *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38:2373-2386.
79. Puy, D., Grenacher, L., Jetzer, P., and **Signore, M.** (2000). Asphericity of galaxy clusters and the Sunyaev-Zel'dovich effect. *A&A*, 363:415-424.
80. Ramón Medrano, M. and **Sanchez, N. G.** (2000). Hawking radiation in string theory and the string phase of black holes. *Phys. Rev. D*, 61(8):084030-+.
81. Reach, W. T., Boulanger, F., Contursi, A., and **Lequeux, J.** (2000). Detection of mid-infrared aromatic hydrocarbon emission features from the Small Magellanic Cloud. *A&A*, 361:895-900.

## Liste de publications

82. Roberge, A., Feldman, P. D., Lagrange, A. M., Vidal-Madjar, A., Ferlet, R., Jolly, A., **Lemaire, J.-L.**, and **Rostas, F.** (2000). High-Resolution Hubble Space Telescope STIS Spectra of C I and CO in the  $\beta$  Pictoris Circumstellar Disk. *ApJ*, 538:904-910.
83. **Rostas, F.**, **Eidelsberg, M.**, Jolly, A., **Lemaire, J.-L.**, Le Floch, A., and Rostas, J. (2000). Band oscillator strengths of the intersystem transitions of CO. *J. Chem. Phys.*, 112:4591-4603.
84. Roueff, E., Tiné, S., Coudert, L. H., Pineau des Forêts, G., **Falgarone, E.**, and **Gerin, M.** (2000). Detection of doubly deuterated ammonia in L134N. *A&A*, 354:L63-L66.
85. Rousseau, J., Paturel, G., Vauglin, I., Schröder, A., de Batz, B., Borsenberger, J., Epchtein, N., Fouqué, P., Kimeswenger, S., Lacombe, F., **Le Bertre, T.**, Mamon, G., Rouan, D., Simon, G., and Tiphène, D. (2000). Some noteworthy DENIS galaxies near the galactic plane. *A&A*, 363:62-68.
86. Rubio, M., Contursi, A., **Lequeux, J.**, Probst, R., Barbá, R., Boulanger, F., Cesarsky, D., and Maoli, R. (2000). Multiwavelength observations of N 66 in the SMC: unveiling photodissociation interfaces and star formation. *A&A*, 359:1139-1146.
87. **Semelin, B.** and **Combes, F.** (2000). N-body simulations of self-gravitating gas in stationary fragmented state. *A&A*, 360:1096-1106.
88. Soucail, G., Ota, N., Böhringer, H., Czoske, O., Hattori, M., and **Mellier, Y.** (2000). X-ray observations and mass determinations in the cluster of galaxies Cl0024+17. *A&A*, 355:433-442.
89. Srianand, R. and **Petitjean, P.** (2000). Physical conditions in broad and associated narrow absorption-line systems toward APM 08279+5255. *A&A*, 357:414-428.
90. Srianand, R., **Petitjean, P.**, and Ledoux, C. (2000). The cosmic microwave background radiation temperature at a redshift of 2.34. *Nature*, 408:931-935.
91. Tiné, S., Roueff, E., **Falgarone, E.**, **Gerin, M.**, and Pineau des Forêts, G. (2000). Deuterium fractionation in dense ammonia cores. *A&A*, 356:1039-1049.
92. **Tourenç, P.** and Balakin, A. (2000a). Erratum: Clarification about ``A preliminary discussion of Dulkyn interferometer. *European Physical Journal Applied Physics*, 10:239-239.
93. **Tourenç, P.** and Balakin, A. B. (2000b). A preliminary discussion of Dulkyn interferometer. *European Physical Journal Applied Physics*, 9:37-42.
94. van Driel, W., Arnaboldi, M., **Combes, F.**, and Sparke, L. S. (2000). A neutral hydrogen survey of polar ring galaxies. III. Nançay observations and comparison with published data. *A&AS*, 141:385-408.
95. Van Waerbeke, L., **Mellier, Y.**, Erben, T., Cuillandre, J. C., Bernardeau, F., Maoli, R., **Bertin, E.**, Mc Cracken, H. J., Le Fèvre, O., Fort, B., **Dantel-Fort, M.**, Jain, B., and Schneider, P. (2000). Detection of correlated galaxy ellipticities from CFHT data: first evidence for gravitational lensing by large-scale structures. *A&A*, 358:30-44.
96. Vidal-Madjar, A., Kunth, D., Lecavelier des Etangs, A., **Lequeux, J.**, André, M., BenJaffel, L., Ferlet, R., Hébrard, G., Howk, J. C., Kruk, J. W., Lemoine, M., Moos, H. W., Roth, K. C., Sonneborn, G., and York, D. G. (2000). No Diffuse H<sub>2</sub> in the Metal-deficient Galaxy I ZW 18. *ApJ*, 538:L77-L80.
97. Wilgenbus, D., **Cabrit, S.**, Pineau des Forêts, G., and Flower, D. R. (2000). The ortho:para-H<sub>2</sub> ratio in C- and J-type shocks. *A&A*, 356:1010-1022.
98. Winters, J. M., **Le Bertre, T.**, Jeong, K. S., Helling, C., and Sedlmayr, E. (2000). A systematic investigation of the mass loss mechanism in dust forming long-period variable stars. *A&A*, 361:641-659.
99. Zanganeh, A. H., **Fillion, J.-H.**, Ruiz, J., Castillejo, M., Lemaire, J.-L., Shafizadeh, N., and **Rostas, F.** (2000). Photodissociation of H<sub>2</sub>O and D<sub>2</sub>O below 132 nm. *J. Chem. Phys.*, 112:5660-5671.

### 9.1.1.2 Actes de colloques

## Liste de publications

1. Abergel, A., Bernard, J. P., Boulanger, F., Miville-Deschênes, M.-A., Puget, J.-L., Nordh, L., Olofsson, G., Hultgren, M., Kaas, A. A., **Falgarone, E.**, **P  rault, M.**, André, P., Montmerle, T., Copet, E., Persi, P., and Sibille, F. (2000). The Extended Infrared Emission of the Southern Parts Of Orion B. In *ESA SP-455: ISO Beyond Point Sources: Studies of Extended Infrared Emission*, pages 119-+.
2. Badia, F., **Caillat, M.**, and **Viallefond, F.** (2000). R&D of Visualization Tools for Aperture Synthesis Observations. In *ASP Conf. Ser. 217: Imaging at Radio through Submillimeter Wavelengths*, pages 352-+.
3. Bingham, R. and et al. (2000). HYPER, Hyper-Precision Cold Atom Interferometry in Space. In *Assessment Study Report, ESA-SCI*, page 10.
4. **Boone, F.** (2000). A new method to optimize antenna positions of an interferometer for a given fourier plane samples distribution. Application to ALMA design. In *Abstracts from a conference held in Granada, 17-20 of September 2000 and hosted by the Instituto de Radioastronomia Millimetrica (URAM), Universidad de Granada and Instituto de Astrofisica de Andalucia (IAA)*.
5. **Bordé, C. J.** and Chardonnet, C. (2000). The Pauli principle and ultrahigh resolution spectroscopy of polyatomic molecules. In *Spin-Statistics Connection and Commutation Relations*, pages 274-280. American Institute of Physics.
6. Bouchet, F., Puget, J.-L., and **Lamarre, J.-M.** (2000). The cosmic microwave background: from detector signals to constraints on the early universe physics. In *The primordial universe*, pages 103-220. EDP sciences, Les Ulis, Paris.
7. Boulade, O., Charlot, X., Abbon, P., Aune, S., Borgeaud, P., Carton, P., Carty, M., Desforge, D., Eppele, D., Gallais, P., Gosset, L., Granelli, R., Gros, M., de Kat, J., Loiseau, D., **Mellier, Y.**, Ritou, J. L., Rousse, J. Y., Starzynski, P., Vignal, N., and Vigroux, L. G. (2000). Development of MegaCam, the next-generation wide-field imaging camera for the 3.6-m Canada-France-Hawaii Telescope. In *Proc. SPIE Vol. 4008, p. 657-668, Optical and IR Telescope Instrumentation and Detectors, Masanori Iye; Alan F. Moorwood; Eds.*, pages 657-668.
8. Bruston, J., Schlecht, E., **Maestrini, A.**, Maiwald, F., Martin, S. C., Smith, R. P., Mehdi, I., Siegel, P. H., and Pearson, J. C. (2000). Development of 200-GHz to 2.7-THz multiplier chains for submillimeter-wave heterodyne receivers. In *Proc. SPIE Vol. 4013, p. 285-295, UV, Optical, and IR Space Telescopes and Instruments, James B. Breckinridge; Peter Jakobsen; Eds.*, pages 285-295.
9. **Casoli, F.** and Loinard, L. (2000). Molecular Gas in Nearby Quasars. In *ASP Conf. Ser. 221: Stars, Gas and Dust in Galaxies: Exploring the Links*, pages 27-+.
10. Charmandaris, V. and **Combes, F.** (2000). Minor Mergers and the Formation of Shell Galaxies. In *ASP Conf. Ser. 209: IAU Colloq. 174: Small Galaxy Groups*, pages 273-+.
11. Chung, M.-H. and **Salez, M.** (2000). Design and Analysis of a Hybrid Feed Antenna for a Flux-Flow Oscillator Integrated 460 GHz SIS Receiver. In *Proceedings of the 11th International Symposium on Space Terahertz Technology, the Univ. of Michigan, Ann Arbor*.
12. Cognard, I., **Lestrade, J.-F.**, Backer, D. C., Ray, P. S., Foster, R. S., and Cadwell, B. J. (2000). High-Precision NBPP Timing Measurements at Nancay. In *ASP Conf. Ser. 202: IAU Colloq. 177: Pulsar Astronomy - 2000 and Beyond*, pages 55-+.
13. **Combes, F.** and Charmandaris, V. (2000). Formation of Gaseous Shells. In *ASP Conf. Ser. 197: Dynamics of Galaxies: from the Early Universe to the Present*, pages 339-+.
14. **Coulais, A.** and **Viallefond, F.** (2000). A Simulation Tool for Aperture Synthesis. In *ASP Conf. Ser. 217: Imaging at Radio through Submillimeter Wavelengths*, pages 350-+.
15. Dayou, F., Tchang-Brillet, W.   . L., **Spielfiedel, A.**, Feautrier, N., and Monnerville, M. (2000). Nonadiabatic effects in the photodissociation of SiO. In *Atomic and Molecular Data for Astrophysics: New Developments, Case Studies and Future Needs, 24th meeting of the IAU, Joint Discussion 1, August 2000, Manchester, England.*, volume 1.

## Liste de publications

16. de Petris, M., Melchiorri, F., de Bernardis, P., de Micco, A., Lamagna, L., Masi, S., Orlando, A., Pisano, G., Romano, F., Siringo, G., Colafrancesco, S., Rephaeli, Y., **Signore, M.**, and Kreysa, E. (2000). MITO: A 2.6 m mm/sub-mm ground based telescope. In *Astronomy and Astrophysics at Sub Millimeter Wavelengths*, pages 85-+.
17. de Vega, H. J., **Sanchez, N. G.**, and **Combes, F.** (2000). Fractal Structures and Scaling Laws in the Universe. Statistical Mechanics of the Self-gravitating Gas. In *New Vistas in Astrophysics*, pages 123-+.
18. Dimitrijevic, M. S. and **Sahal-Bréchet, S.** (2000). A Project for large-scale Stark broadening Data Calculation: Cd I. In *Atomic and Molecular Data for Astrophysics: New Developments, Case Studies and Future Needs, 24th meeting of the IAU, Joint Discussion 1, August 2000, Manchester, England.*, volume 1.
19. Dinh-Van-Trung, Forster, R., and **Nguyen-Quang-Rieu** (2000). Hcn j=1-0 maser in the carbon star y cvn. In et al., B., editor, *Advances in Optics and Spectroscopy*, page 323.
20. Dore, O., Bouchet, F. R., and **Mellier, Y.** (2000). A Co-Analysis Method of Weak Gravitational Lensing and Sunyaev-Zel'dovich Observations. In *Constructing the Universe with Clusters of Galaxies*.
21. Dougados, C., Lavalley, C., and **Cabrit, S.** (2000). Probing the Origin of Mass-Loss in Young T-Tauri Stars. In *ASP Conf. Ser. 195: Imaging the Universe in Three Dimensions*, pages 356-+.
22. **Eidelsberg, M.**, **Rostas, F.**, and **Lemaire, J.-L.** (2000). Line by Line Spectra of the Intersystem Bands of CO in the 130-160 nm Range. In *Atomic and Molecular Data for Astrophysics: New Developments, Case Studies and Future Needs, 24th meeting of the IAU, Joint Discussion 1, August 2000, Manchester, England.*, volume 1.
23. **Fossé, D.**, Cesarsky, D., **Gerin, M.**, **Lequeux, J.**, and Tiné, S. (2000). AIBs and carbon chains in PDRs. In *ESA SP-456: ISO Beyond the Peaks: The 2nd ISO Workshop on Analytical Spectroscopy*, pages 91-+.
24. Fuente, A., Martin-Pintado, J., **Rodriguez-Fernandez, N. J.**, Cernicharo, J., and **Gerin, M.** (2000). ISO SWS-LWS observations of the prototypical reflection nebula NGC 7023. In *ESA SP-456: ISO Beyond the Peaks: The 2nd ISO Workshop on Analytical Spectroscopy*, pages 95-+.
25. García-Barreto, J. A., **Combes, F.**, Koribalski, B., and Franco, J. (2000). The H I Spatial Distribution in the Barred Galaxy NGC3783. In *ASP Conf. Ser. 218: Mapping the Hidden Universe: The Universe behind the Milky Way - The Universe in HI*, pages 291-+.
26. Gerbaldi, M., Kielkopf, J. F., **Allard, N. F.**, Tremine, S., Gros, M., and Decrette, A. (2000). Satellites on Balmer  $\alpha$  due to H-H<sup>+</sup> collisions. In *Atomic and Molecular Data for Astrophysics: New Developments, Case Studies and Future Needs, 24th meeting of the IAU, Joint Discussion 1, August 2000, Manchester, England.*, volume 1.
27. **Gheudin, M.** (2000). Applications des techniques quasi optiques en millimétrique et submillimétrique. In *Réseau Micro-ondes île-de-France; Optique et microondes, MENRT, Paris*. MENRT.
28. Guirado, J., Ros, E., Jones, D. L., **Lestrade, J.-F.**, Marcaide, J. M., Perez-Torres, M. A., and Preston, R. A. (2000). In *EVN Symposium 2000, Proceedings of the 5th european VLBI Network Symposium held at Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, June 29 - July 1, 2000, Eds.: J.E. Conway, A.G. Polatidis, R.S. Booth and Y.M. Pihlström, published Onsala Space Observatory, p. 221*, pages 221-+.
29. Gulkis, S., Forget, F., Allen, M., **Beaudin, G.**, Clancy, T., Encrenaz, T., Hartogh, P., Janssen, M., and Riley, A. L. (2000). The Potential for Microwave Remote Sensing of the Martian Atmosphere and Surface from an Orbiting Spacecraft. In *Workshop on Concepts and Approaches for Mars Exploration, July 18-20, 2000, Houston, Texas, abstract no.6033*, pages 6033-+.
30. Habart, H., Boulanger, F., Verstraete, L., Pineau des Forêts, G., **Falgarone, E.**, and Abergel, A. (2000). H<sub>2</sub> infrared line emission across the bright side of the  $\rho$  Ophiuchi main cloud. In *ESA SP-456: ISO Beyond the Peaks: The 2nd ISO Workshop on Analytical Spectroscopy*, pages 103-+.

## Liste de publications

31. Hamana, T., Colombi, S., and **Mellier, Y.** (2000). Numerical Study of the Cosmic Shears. In *Constructing the Universe with Clusters of Galaxies*.
32. Hamidouche, M., Cognard, I., and **Lestrade, J.-F.** (2000). The Timing of millisecond Pulsars at The Nançay radio telescope (France) for The Cosmology. In *Abstracts from a conference held in Granada, 17-20 of September 2000 and hosted by the Instituto de Radioastronomia Millimetrica (URAM), Universidad de Granada and Instituto de Astrofisica de Andalucia (IAA)*.
33. **Hennebelle, P.**, Teyssier, D., and **Pérault, M.** (2000). Infrared Dark Clouds from the ISOGAL Survey. In *ESA SP-455: ISO Beyond Point Sources: Studies of Extended Infrared Emission*, pages 125-+.
34. **Hily-Blant, P.** (2000). General presentation of the I.R.A.M. 30-m telescope. In *Abstracts from a conference held in Granada, 17-20 of September 2000 and hosted by the Instituto de Radioastronomia Millimetrica (URAM), Universidad de Granada and Instituto de Astrofisica de Andalucia (IAA)*.
35. Horellou, C. and **Combes, F.** (2000). Modelling Gas and Stars in Cartwheel-like Systems. In *ASP Conf. Ser. 197: Dynamics of Galaxies: from the Early Universe to the Present*, pages 351-+.
36. Iodice, E., Arnaboldi, M., Capaccioli, M., **Combes, F.**, Freeman, K., Salucci, P., and Sparke, L. (2000). Photometric Properties of the Polar Ring Galaxy NGC 4650A in the NIR. In *ASP Conf. Ser. 197: Dynamics of Galaxies: from the Early Universe to the Present*, pages 133-+.
37. Jungwiert, B., Palous, J., and **Combes, F.** (2000). Galactic Models with Star Formation and Gas Recycling. In *ASP Conf. Ser. 197: Dynamics of Galaxies: from the Early Universe to the Present*, pages 59-+.
38. Kaas, A. A., Olofsson, G., Bontemps, S., André, P., Nordh, L., Hultgren, M., Prusti, T., Abergel, A., Boulanger, F., Burgdorf, M., Casali, M. M., Cesarsky, C. J., Davies, J., **Falgarone, E.**, Montmerle, T., **Pérault, M.**, Persi, P., Puget, J. L., and Sibille, F. (2000). An Extremely Young Embedded Cluster? In *ESA SP-445: Star Formation from the Small to the Large Scale*, pages 425-+.
39. **Le Bertre, T.**, Boulanger, F., Lagache, G., Maun, N., Désert, F.-X., Epchtein, N., and Le Sidaner, P. (2000). Extended IR Emission at Proximity of Red Giants. In *ESA SP-455: ISO Beyond Point Sources: Studies of Extended Infrared Emission*, pages 79-+.
40. Le Fevre, O., Saisse, M., Mancini, D., Vettolani, G. P., Maccagni, D., Picat, J. P., **Mellier, Y.**, Mazure, A., Cuby, J. G., Delabre, B., Garilli, B., Hill, L., Prieto, E., Voet, C., Arnold, L., Brau-Nogue, S., Cascone, E., Conconi, P., Finger, G., Huster, G., Laloge, A., Lucuix, C., Mattaini, E., Schipani, P., Waultier, G., Zerbi, F. M., Avila, G., Beletic, J. W., D'Odorico, S., Moorwood, A. F., Monnet, G. J., and Reyes Moreno, J. (2000). VIMOS and NIRMOS multi-object spectrographs for the ESO VLT. In *Proc. SPIE Vol. 4008, p. 546-557, Optical and IR Telescope Instrumentation and Detectors, Masanori Iye; Alan F. Moorwood; Eds.*, pages 546-557.
41. Leon, S., **Combes, F.**, and Friedli, D. (2000). Single CO Peak in the Double Bar Galaxy NGC 5850. In *ASP Conf. Ser. 197: Dynamics of Galaxies: from the Early Universe to the Present*, pages 61-+.
42. **Lequeux, J.** (2000). Properties of dust in M31. In *The interstellar medium in M31 and M33. Proceedings 232. WE-Heraeus Seminar, 22-25 May 2000, Bad Honnef, Germany. Edited by Elly M. Berkhuijsen, Rainer Beck, and Rene A. M. Walterbos. Shaker, Aachen, 2000, p. 63-68*, pages 63-68.
43. Medrano, M. R. and **Sanchez, N. G.** (2000). Hawking Radiation in String Theory and the String Phase of Black Holes. In Bergmann, P. G., de Sabbata, V., and Goldberg, N. J., editors, *International School of Cosmology and Gravitation XVI course: Classical and Quantum Nonlocality. Held in Erice, Italy, 27 April - 4 May, 1999.*, pages 178-+. World Scientific, Singapore.
44. **Mellier, Y.**, van Waerbeke, L., Erben, T., Schneider, P., Bernardeau, F., Jain, B., **Bertin, E.**, Maoli, R., Fort, B., **Dantel-Fort, M.**, Cuillandre, J.-C., McCracken, H., and Le Fevre, O. (2000). Cosmic Shear and Clusters of Galaxies. In *Constructing the Universe with Clusters of Galaxies*.
45. Meny, C., Serra, G., **Lamarre, J.-M.**, Ristorcelli, I., Bernard, J.-P., Giard, M., Pajot, F., Stepnik, B., and Torre, J. P. (2000). Extended Galactic Emission and Colour Variations in the Submillimetre Range:

## Liste de publications

- PRNAOS Results. In *ESA SP-455: ISO Beyond Point Sources: Studies of Extended Infrared Emission*, pages 105-+.
46. Meylan, G., Leon, S., and **Combes, F.** (2000). Tidal Tails Around Galactic Globular Clusters. In *From Extrasolar Planets to Cosmology: The VLT Opening Symposium, Proceedings of the ESO Symposium held at Antofagasta, Chile, 1-4 March 1999*. Edited by Jacqueline Bergeron and Alvio Renzini. Berlin: Springer-Verlag, 2000. p. 369., pages 369-+.
  47. Miller, T. J., Walmsley, C. M., Rebrion Rowe, C., D'Hendecourt, L., Saito, S., and **Rostas, F.** (2000). Molecular Data Needs in Astrochemistry. In *Astrochemistry: From Molecular Clouds to Planetary*, pages 303-+.
  48. **Munier, J., Maestrini, A., Salez, M. C.**, Guillon, M., and Marchand, B. (2000). Novel low-cost technique to manufacture submillimeter corrugated feedhorns. In *Proc. SPIE Vol. 4015, p. 500-514, Radio Telescopes, Harvey R. Butcher; Ed.*, pages 500-514.
  49. **Nguyen-Quang-Rieu** (2000a). Investigation de l'Univers lointain et de l'Environnement par la Spectroscopie. page 36. CNRS.
  50. **Nguyen-Quang-Rieu** (2000b). Probing the universe and the earth environment with spectroscopy advances in optics and spectroscopy. page 71.
  51. Olofsson, G., Kaas, A. A., Bontemps, S., Nordh, L., Hultgren, M., Abergel, A., André, P., Boulanger, F., Burgdorf, M., Cabrit, S., Casali, M.M., Cesarsky, C. J., Copet, E., Davies, J., **Falgarone, E.**, Montmerle, T., **Pérault, M.**, Persi, P., Prusti, T., Puget, J. L., and Sibille, F. (2000). ISOCAM Observations of Nearby Star Formation Regions. In *ESA SP-445: Star Formation from the Small to the Large Scale*, pages 201-+.
  52. Ott, S., Gastaud, R., Ali, B., Delaney, M., Guest, S., Abergel, A., Altieri, B., Auguères, J.-L., Aussel, H., Bernard, J.-P., Biviano, A., Blommaert, J., Boulade, O., Boulanger, F., Cesarsky, C., Cesarsky, D., Chaniai, P., Charmandaris, V., Chary, R.-R., Claret, A., **Coulais, A.**, Delattre, C., Désert, F.-X., Deschamps, T., Didelon, P., Elbaz, D., Fuchs, Y., Gallais, P., Ganga, K., Helou, G., Kong, M., Lacombe, F., Landriu, D., Laurent, O., Le Coupanec, P., Li, J., Metcalfe, L., **Miville-Deschênes, M. - A.**, Okumura, K., **Pérault, M.**, Peschke, S., Pollock, A., Roman, P., Rouan, D., Rupen, M., Lone, J. S., Sauvage, M., Siebenmorgen, R., Starck, J.-L., Tran, D., Tuffs, R., van Buren, D., Vigroux, L., Vivares, F., and Wozniak, H. (2000). CIA V4. 0 - News about Data Analysis with the ISOCAM Interactive Analysis System. In *ASP Conf. Ser. 216: Astronomical Data Analysis Software and Systems IX*, pages 599-+.
  53. **Pagani, L.**, Guibert, J., Hamilton, J.-C., Simon, G., and Viala, Y. P. (2000). An Automated Search for Galaxies in the ZOA. In *ASP Conf. Ser. 218: Mapping the Hidden Universe: The Universe behind the Milky Way - The Universe in HI*, pages 55-+.
  54. Pelló, R., Fort, B., Kneib, J.-P., Le Borgne, J.-F., **Mellier, Y.**, Appenzeller, I., Bender, R., Campusano, L., **Dantel-Fort, M.**, Ellis, R. S., Moorwood, A., and Seitz, S. (2000). Probing Distant Galaxies with Lensing Clusters. In *From Extrasolar Planets to Cosmology: The VLT Opening Symposium, Proceedings of the ESO Symposium held at Antofagasta, Chile, 1-4 March 1999*. Edited by Jacqueline Bergeron and Alvio Renzini. Berlin: Springer-Verlag, 2000. p. 131., pages 131-+.
  55. Petit, F. L., **Boissé, P.**, Roueff, E., Gry, C., and Le Brun, V. (2000). H<sub>2</sub> excitation in HD 34078 from FUSE observations. In *First Results from the FUSE Mission, 24th meeting of the IAU, Joint Discussion 11, August 2000, Manchester, England.*, volume 11.
  56. **Petitjean, P.**, Colombi, S., Pichon, C., and Vergely, J.-L. (2000). Spatial Distribution of the Intergalactic Medium from Intervening Ly $\alpha$  Absorption in the Spectra of High Redshift QSOs. In *ASP Conf. Ser. 200: Clustering at High Redshift*, pages 266-+.
  57. **Pety, J.** and **Falgarone, E.** (2000a). Kinematic localization of the dissipative structures of interstellar turbulence. In *Abstracts from a conference held in Granada, 17-20 of September 2000 and hosted by the Instituto de Radioastronomía Millimétrica (URAM), Universidad de Granada and Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA)*.

## Liste de publications

58. **Pety, J. and Falgarone, E.** (2000b). The structure of the cold neutral matter: shocks or vortices? In *Abstracts from a conference held in Granada, 17-20 of September 2000 and hosted by the Instituto de Radioastronomia Millimetrica (URAM), Universidad de Granada and Instituto de Astrofisica de Andalucia (IAA)*.
59. Pierini, D., Boselli, A., Leech, K. J., **Lequeux, J.**, Tuffs, R. J., and Völk, H. J. (2000). Gas heating and cooling in normal late-type galaxies. In *Atomic and Molecular Data for Astrophysics: New Developments, Case Studies and Future Needs, 24th meeting of the IAU, Joint Discussion 1, August 2000, Manchester, England.*, volume 1.
60. Pointecouteau, E., Giard, M., Serra, G., Ristorcelli, I., Lamarre, J.-M., Bernard, J.-P., Désert, F. X., Torre, J. P., Coron, N., Puget, J.-L., Church, S., and Bock, J. J. (2000). The Abell 2163 Spectrum from Infrared to Millimetre Wavelengths. In *ESA SP-455: ISO Beyond Point Sources: Studies of Extended Infrared Emission*, pages 171-+.
61. Rubio, M., Contursi, A., Probst, R., **Lequeux, J.**, and Barba, R. (2000). Multiwavelength Observations of N66 in the Small Magellanic Cloud. In *ASP Conf. Ser. 221: Stars, Gas and Dust in Galaxies: Exploring the Links*, pages 9-+.
62. **Salez, M., Delorme, Y., Chung, M.-H., Boussaha, F., and Dauplay, F.** (2000a). Simulated Performance of Multi-junction Parallel Array SIS Mixers for Ultra Broadband Submillimeter-Wave Applications. In *Proceedings of the 11th International Symposium on Space Terahertz Technology, the Univ. of Michigan, Ann Arbor, May 1-3, 2000*.
63. **Salez, M., Delorme, Y., Dauplay, F., Marchand, B., Lecomte, B., Péron, I., and Schuster, K.** (2000b). Design and evaluation of a fix-tuned 30% bandwidth SIS receiver for FIRST/HIFI band 1 (480-640 GHz) and other space applications. In *Proceedings of 4th European Workshop on Low-temperature Electronics, WOLTE 4, ESTEC, Noordwijk, Netherlands*.
64. **Sanchez, N. G.** (2000). Recent Progress in String Cosmology. In *New Vistas in Astrophysics*, pages 173-+.
65. **Tchang-Brillet, W.-U. L.** and Wyart, J.-F. (2000). Laboratory Studies of Atomic Ion VUV Emission Spectra of Astrophysical Interest. In *Atomic and Molecular Data for Astrophysics: New Developments, Case Studies and Future Needs, 24th meeting of the IAU, Joint Discussion 1, August 2000, Manchester, England.*, volume 1.
66. Teyssier, D. and **Péroul, M.** (2000). Some optimisation methods for spectroscopic and continuum mapping modes. In *Abstracts from a conference held in Granada, 17-20 of September 2000 and hosted by the Instituto de Radioastronomia Millimetrica (URAM), Universidad de Granada and Instituto de Astrofisica de Andalucia (IAA)*.
67. Teyssier, D., **Péroul, M.**, and **Hennebelle, P.** (2000). Dark Clouds in the ISOGAL survey: Observational Results. In *Abstracts from a conference held in Granada, 17-20 of September 2000 and hosted by the Instituto de Radioastronomia Millimetrica (URAM), Universidad de Granada and Instituto de Astrofisica de Andalucia (IAA)*.
68. **Thomas, B.** (2000). Heterodyne receiver technologies. In *Abstracts from a conference held in Granada, 17-20 of September 2000 and hosted by the Instituto de Radioastronomia Millimetrica (IRAM), Universidad de Granada and Instituto de Astrofisica de Andalucia (IAA)*.
69. **Tourenç, P.** (2000). General Relativity and Gravitational Waves. In *Experimental Physics of Gravitational Waves*, pages 1-02.
70. Vannier, L., **Lemaire, J.-L.**, Pineau des Forêts, G., Rouan, D., **Rostas, F.**, Field, D., and Pijpers, F. (2000). H<sub>2</sub> IR Emission and the Formation of dense Structures in the Orion Molecular Cloud (OMC1). In *Atomic and Molecular Data for Astrophysics: New Developments, Case Studies and Future Needs, 24th meeting of the IAU, Joint Discussion 1, August 2000, Manchester, England.*, volume 1.
71. Willey, D. R., Zanganeh, A., **Lemaire, J.-L.**, Shafizadeh, N., Rostas, F., Castillejo, M., and Ruiz, J. (2000). Comparison of Low Temperature NH<sub>3</sub> Collisions with He and H<sub>2</sub> via Pressure Broadening. In

## Liste de publications

*Atomic and Molecular Data for Astrophysics: New Developments, Case Studies and Future Needs, 24th meeting of the IAU, Joint Discussion 1, August 2000, Manchester, England., volume 1.*

72. Winters, J. M., Fleischer, A. J., **Le Bertre, T.**, and Sedlmayr, E. (2000). Optical Appearance of Dynamical Models for Circumstellar Dust Shells around Long-Period Variables: AFGL 3068. In *IAU Symposium*, pages 590-+.

### 9.1.1.3 Conférences Invitées

1. **Bommier, V.** Compte rendu de l'Atelier THÉMIS. In *Colloque du Programme National Soleil-Terre du C.N.R.S., Nouan-le-Fuzelier (France), 1-3 février 2000.*
2. **Bommier, V.** Observations et méthodes de dépouillement de données MTR de THÉMIS. In *Atelier THÉMIS-MTR du Programme National Soleil-Terre du C.N.R.S., Nice (France), 28 mars-1 avril 2000.*
3. **Bommier, V.** and Landi Degl'innocenti, E. NLTE polarized radiative transfer codes based on the density matrix formalism. In *Thémis International Workshop on Radiative Transfer and Inversion Codes organisée par le Groupement de Recherche Magnétodynamique Solaire et Stellaire et l'U.P.S. Thémis du C.N.R.S., 9-11 février 1998, Tenerife (Îles Canaries, Espagne), 1998, Paris Observatory Publ., C. Briand (ed.), pp. 17-26 Republié dans le compte-rendu de la première réunion du GRETA (GRoupE Transfert en Astrophysique) Le transfert de rayonnement en Astrophysique, Nice (France), 17-19 mai 1999 2000, Observatoire de la Côte d'Azur Publ., P. Stee (ed.)pp. 100-110.*
4. Buta, R. and **Combes, F.** (2000). Numerical Simulations of Ringed Disk Galaxies. In *ASP Conf. Ser. 197: Dynamics of Galaxies: from the Early Universe to the Present*, pages 11-+.
5. **Combes, F.** (2000a). Astrophysical Fractals: Interstellar Medium and Galaxies. In *The Chaotic Universe, Proceedings of the Second ICRA Network Workshop, Advanced Series in Astrophysics and Cosmology, vol.10, Edited by V. G. Gurzadyan and R. Ruffini, World Scientific, 2000, p.143, pages 143-+.*
6. **Combes, F.** (2000b). Bar-driven Galaxy Evolution and Time-scales to Feed AGN. In *ASP Conf. Ser. 197: Dynamics of Galaxies: from the Early Universe to the Present*, pages 15-+.
7. **Combes, F.** (2000c). Bulge formation. In *Building Galaxies; from the Primordial Universe to the Present*, pages 413-+.
8. **Combes, F.** (2000d). Small Group Dynamics and Extended Gas. In *ASP Conf. Ser. 209: IAU Colloq. 174: Small Galaxy Groups*, pages 148-+.
9. **Combes, F.** (2000e). Spiral galaxies and tracers of mass accretion. In *Building Galaxies; from the Primordial Universe to the Present*, pages 99-+.
10. Dulieu, F. Photophysics of large ring compounds. In *SALA, Synchrotron Accelerators and Laboratory Astrophysics, Université d'Aarhus (Danemark), 30 Aout-1 Sept.2000.*
11. **Falgarone, E.** (2000a). Dissipation of interstellar turbulence: observed signatures of vortex structures. Astrophysical turbulence, session of the Institute for Theoretical Physics in Santa Barbara, California (Sans Actes).
12. **Falgarone, E.** (2000b). Non-equilibrium chemistry in the dissipative structures of interstellar turbulence. Mixing and reactive turbulence workshop, National Center for Atmospheric Research, Boulder (Sans Actes).
13. **Fillion, J.-H.**, Zanganeh, A., **Lemaire, J.-L.**, Shafizadeh, N., **Rostas, F.**, Castillejo, M., and Ruiz, J. (2000). Photodissociation of H<sub>2</sub>O and D<sub>2</sub>O using VUV Laser or Synchrotron Radiation. In *Atomic and Molecular Data for Astrophysics: New Developments, Case Studies and Future Needs, 24th meeting of the IAU, Joint Discussion 1, August 2000, Manchester, England., volume 1.*
14. J.-H., F. Photodissociation of H<sub>2</sub>O and D<sub>2</sub>O below 132 am. In *International Workshop on optics and spectroscopy, Hanoi, Vietnam, 30 mars-1er avril 2000.*

## Liste de publications

15. **Lamarre, J.-M.** (2000). Photon detectors for astronomy. In *Extragalactic Astronomy and Cosmology from Space, Summer school of the European Space Agency, Alpbach (Austria) July 18-27 (2000)*.
16. Le Floch, A. Numerical treatment of some San Fernando observations of planets. In *IV Meeting of the Spanish Astronomical Society, Santiago de Compostela (Espagne), 11-24 Septembre 2000*.
17. **Leach, S.** L'apport chimique du milieu interstellaire. In *La vie dans l'univers ‡ l'aube du millénaire : origine et distribution, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 12-13 octobre 2000*.
18. **Leach, S.** Photophysics of PAHs. In *Workshop on the Origin and evolution of interstellar PAHs, Leiden, Netherlands, 18-23 June 2000*.
19. **Leach, S.** Photostability of prebiotic molecules. In *Brijuni Conference VII : important problems for the XXIst Century, Brijuni, Croatia, 27 august-1 september 2000*.
20. **Leach, S.** Reflections on training and research in science in Europe from 1946-2000 a personal study in contexts and contrasts. In *Conference on investing in Europe's human research potential, Heraklion, Crete, Greece, 4-7 october 2000, 2001, The European Commission Research Directorate-General. Proc. Conf. pp. 20-24*.
21. **Leach, S.** Reflections on training and research in science in Europe from 1946-2000 a personal study in contexts and contrasts. In *Conference on investing in Europe's human research potential, Crete, Greece, 4-7 october 2000 The European Commission Research Directorate-General. Proc. Conf. pp. 20-24*.
22. **Lemaire, J.-L., Dulieu, F., and Fillion, J.-H.** Formation de H<sub>2</sub> sur des surfaces d'intérêt astrophysique ‡ trÈs basse température. In *revue de projet PCMI, Mai 2000*.
23. **Lestrade, J.-F.** (2000). Stellar VLBI. In *EVN Symposium 2000, Proceedings of the 5th european VLBI Network Symposium held at Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, June 29 - July 1, 2000, Eds.: J.E. Conway, A.G. Polatidis, R.S. Booth and Y.M. Pihlström, published Onsala Space Observatory, p. 155, pages 155-+*.
24. Richer, J. S., Shepherd, D. S., **Cabrit, S.**, Bachiller, R., and Churchwell, E. (2000). Molecular Outflows from Young Stellar Objects. In *Protostars and Planets IV*, pages 867-+.

### 9.1.1.4 Livres, Catalogues, Communications sans actes et Divers

1. Cioni, M.-R., Loup, C., Habing, H. J., Fouque, P., **Bertin, E.**, Deul, E., Egret, D., Alard, C., de Batz, B., Borsenberger, J., Dennefeld, M., Epchtein, N., Forveille, T., Garzon, F., Hron, J., Kimeswenger, S., Lacombe, F., **Le Bertre, T.**, Mamon, G. A., Omont, A., Paturel, G., Persi, P., Robin, A., Rouan, D., Simon, G., Tiphene, D., Vauglin, I., and Wagner, S. (2000). DENIS Catalogue toward Magellanic Clouds (DCMC) (Cioni+ 2000). Catalogue VizieR.
2. **Falgarone, E., Panis, J.-F.**, Heithausen, A., **Péroult, M.**, Stutzki, J., Puget, J.-L., and Bensch, F. (2000). IRAM observations in pre-star forming regions (Falgarone+ 1998-2001). Catalogue VizieR.
3. Grenacher, L., Piffaretti, R., Jetzer, P., and **Signore, M.** (2000). Shape and geometry of galaxy clusters and the SZ effect. astro-ph/0010512, in "Proceedings of the SZ Workshop in Toulouse" ( sans actes ).
4. **Melchior, A.-L.** (2000). F-HOU, un programme éducatif pour l'enseignement secondaire.
5. **Melchior, A.-L.**, Hughes, S. M. G., and Guibert, J. (2000). AGAPEROS: variable stars in the LMC Bar (Melchior+, 2000). Catalogue VizieR.
6. Olofsson, G., Hultgren, M., Kaas, A. A., Bontemps, S., Nordh, L., Abergel, A., Andre, P., Boulanger, F., Burgdorf, M., Casali, M. M., Cesarsky, C. J., Davies, J., **Falgarone, E.**, Montmerle, T., **Péroult, M.**, Persi, P., Prusti, T., Puget, J. L., and Sibille, F. (2000). R CrA ISOCAM observations (Olofsson+, 1999). Catalogue VizieR.
7. Persi, P., Marenzi, A. M., Olofsson, G., Kaas, A. A., Nordh, L., Hultgren, M., Abergel, A., Andre Philippe, M., Bontemps, S., Boulanger, F., Burgdorf, M., Casali, M. M., Cesarsky, C., Copet, E.,

## Liste de publications

- Davies, J. I., **Falgarone, E.**, Montmerle, T., **Pérault, M.**, Prusti, T., Puget, J. L., and Sibille, F. (2000). ISOCAM observations in Cha I. (Persi+, 2000). Catalogue VizierR.
8. Wentzel, D., **Nguyen-Quang-Rieu**, Pham-Viet-Trinh, Nguyen-Dinh-Noan, and Nguyen-Dinh-Huan (2000). *Astrophysics (Livre de classe bilingue anglais-vietnamien)*. Maison de l'Education, Hanoi.
  9. Wilgenbus, D., **Cabrit, S.**, Pineau des Forêts, G., and Flower, D. (2000). Ortho:para-H<sub>2</sub> ratio in C and J shocks (Wilgenbus+, 2000). Catalogue VizierR.
  10. Winters, J. M., **Le Bertre, T.**, Jeong, K. S., Helling, C., and Sedlmayr, E. (2000). Investigation of mass loss mechanism of LPVs (Winters+, 2000). Catalogue VizierR.
  11. **Sanchez, N. G. and de Vega, H. J.** "6th Paris Cosmology Colloquium", Chalonge School, Editors N. G. Sanchez and H. J. de Vega, Actes publiées par l'Observatoire de Paris (2000)

### 9.1.2 Année 2001

#### 9.1.2.1 Articles publiés dans des revues à comité de lecture

1. Aires, F., **Prigent, C.**, Rossow, W. B., and Rothstein, M. (2001). A new neural network approach including first guess for retrieval of atmospheric water vapor, cloud liquid water path, surface temperature, and emissivities over land from satellite microwave observations. *J. Geophys. Res.*, 106(15):14887-14908.
2. Alard, C., Blommaert, J. A. D. L., Cesarsky, C., Epchtein, N., Felli, M., Fouque, P., Ganesh, S., Genzel, R., Gilmore, G., Glass, I. S., Habing, H., Omont, A., **Pérault, M.**, Price, S., Robin, A., Schultheis, M., Simon, G., van Loon, J. T., Alcock, C., Allsman, R. A., Alves, D. R., Axelrod, T. S., Becker, A. C., Bennett, D. P., Cook, K. H., Drake, A. J., Freeman, K. C., Geha, M., Griest, K., Lehner, M. J., Marshall, S. L., Minniti, D., Nelson, C., Peterson, B. A., Popowski, P., Pratt, M. R., Quinn, P. J., Sutherland, W., Tomaney, A. B., Vandehei, T., and Welch, D. L. (2001). Mass-losing Semiregular Variable Stars in Baade's Windows. *ApJ*, 552:289-308.
3. Alton, P. B., **Lequeux, J.**, Bianchi, S., Churches, D., Davies, J., and **Combes, F.** (2001). Deep submillimeter images of NGC 7331; dust at the periphery of spiral disks. *A&A*, 366:451-465.
4. Appleton, P., Charmandaris, V., Gao, Y., **Combes, F.**, Ghigo, F., Horellou, C., Mirabel, I. F., COLA North Collaboration, and COLA South Collaboration (2001). The State of Gas in Collisional Galaxies containing AGN. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 33:1412-+.
5. Aurière, M., Baillon, P., Bouquet, A., Carr, B. J., Crézé, M., Evans, N. W., Giraud-Héraud, Y., Gould, A., Hewett, P. C., Kaplan, J., Kerins, E., Lastennet, E., Le Du, Y., **Melchior, A.-L.**, Paulin-Henriksson, S., Smartt, S. J., and Valls-Gabaud, D. (2001). A Short-Timescale Candidate Microlensing Event in the POINT-AGAPE Pixel Lensing Survey of M31. *ApJ*, 553:L137-L140.
6. Azarov, V. I., **Tchang-Brillet, W.-U. L.**, Wyart, J.-F., **Launay, F.**, and Benharrous, M. (2001). Determination of the 3d34d and 3d35s Configurations of Fe V. *Phys. Scr.*, 63:438-461.
7. Bacon, R., Emsellem, E., **Combes, F.**, Copin, Y., Monnet, G., and Martin, P. (2001). The M 31 double nucleus probed with OASIS. A natural vec m = 1 mode? *A&A*, 371:409-428.
8. Barbachoux, C., **Debbasch, F.**, and Rivet, J. P. (2001a). Covariant Kolmogorov equation and entropy current for the relativistic Ornstein-Uhlenbeck process. *European Physical Journal B*, 23:487-496.
9. Barbachoux, C., **Debbasch, F.**, and Rivet, J. P. (2001b). The spatially one-dimensional relativistic Ornstein-Uhlenbeck process in an arbitrary inertial frame. *European Physical Journal B*, 19:37-47.
10. Bensch, F., **Panis, J.-F.**, Stutzki, J., Heithausen, A., and Falgarone, E. (2001). The IRAM key-project: Small-scale structure of pre-star forming regions. III. Influence of and correction for the error beam pick-up. *A&A*, 365:275-284.

## Liste de publications

11. Bergeat, A., Calvo, T., Caralp, F., **Fillion, J.-H.**, Dorthe, G., and Loison, J.-C. (2001). Determination of the CH+O<sub>2</sub> Products Channels. *Faraday Disc.*, 119:67.
12. Blum, R. D., Schaerer, D., Pasquali, A., **Heydari-Malayeri, M.**, Conti, P. S., and Schmutz, W. (2001). 2 Micron Narrowband Adaptive Optics Imaging in the Arches Cluster. *AJ*, 122:1875-1887.
13. Bontemps, S., André, P., Kaas, A. A., Nordh, L., Olofsson, G., Hultgren, M., Abergel, A., Blommaert, J., Boulanger, F., Burgdorf, M., Cesarsky, C. J., Cesarsky, D., Copet, E., Davies, J., **Falgarone, E.**, Lagache, G., Montmerle, T., **Pérault, M.**, Persi, P., Prusti, T., Puget, J. L., and Sibille, F. (2001). ISOCAM observations of the rho Ophiuchi cloud: Luminosity and mass functions of the pre-main sequence embedded cluster. *A&A*, 372:173-194.
14. **Boone, F.** (2001). Interferometric array design: Optimizing the locations of the antenna pads. *A&A*, 377:368-376.
15. **Bordé, C. J.** (2001). Theoretical tools for atom optics and interferometry. *C.R. Acad. Sci. Paris, Série IV*, 2:509-530.
16. **Bordé, C. J.**, **Houard, J.**, and Karasiewicz, A. (2001). Relativistic Phase Shifts for Dirac Particles Interacting with Weak Gravitational Fields in Matter-Wave Interferometers. *LNP Vol. 562: Gyros, Clocks, Interferometers ...: Testing Relativistic Gravity in Space*, pages 403-+.
17. **Bordé, C. J.** and Touboul, P. (2001). Missions spatiales en physique Fondamentale: Avant-propos. *C.R. Acad. Sci. Paris, Série IV*, 2:1243-1248.
18. Buta, R., Ryder, S. D., Madsen, G. J., Wesson, K., Crocker, D. A., and **Combes, F.** (2001). Dynamics of Ringed Barred Spiral Galaxies. I. Surface Photometry and Kinematics of NGC 1433 and NGC 6300. *AJ*, 121:225-243.
19. Campos, A., Boyé, A., Douin, S., Fellows, C., **Fillion, J.-H.**, Shafizadeh, N., and Gauyacq, D. (2001). The 5s-4d Rydberg States of C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> and C<sub>2</sub>D<sub>2</sub> Studied by Resonant Multiphoton Ionization and Synchrotron Radiation : Structure and Stability. *J. Phys. Chem. A*, 105(40):9104-9110.
20. Campusano, L. E., Pelló, R., Kneib, J.-P., Le Borgne, J.-F., Fort, B., Ellis, R., **Mellier, Y.**, and Smail, I. (2001). VLT spectroscopy of galaxies lensed by the AC 114 cluster: Implications for the mass model and the study of low-luminosity galaxies at high-redshift. *A&A*, 378:394-407.
21. Charmandaris, V., **Heydari-Malayeri, M.**, Deharveng, L., Rosa, M. R., Schaerer, D., and Zinnecker, H. (2001). HST imaging and spectroscopy of Compact HII regions in the Magellanic Clouds: Revealing the youngest massive star clusters. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 33:1488-+.
22. **Cissoko, M.** (2001). Wave fronts in a mixture of two relativistic perfect fluids flowing with two distinct four-velocities. *Phys. Rev. D*, 63(8):083516-+.
23. **Combes, F.** (2001a). Book Review: Molecular hydrogen in space / Cambridge University Press, 2000. *The Observatory*, 121:346-+.
24. **Combes, F.** (2001b). Book Review: XVth IAP Meeting : dynamics of galaxies from the early universe to the present / Astronomical Society of the Pacific, 1999. *The Observatory*, 121:111-+.
25. **Combes, F.**, **Melchior, A.-L.**, and Gould, A. (2001). New estimate of the Local Interstellar Radiation Field. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 33:1182-+.
26. **Combes, F.** and Terlevich, R. (2001). Structure, Dynamics and Environment of Galaxies. *Astrophysics and Space Science Supplement*, 277:501-504.
27. Contursi, A., Boselli, A., Gavazzi, G., Bertagna, E., Tuffs, R., and **Lequeux, J.** (2001). Mid and Far IR properties of late-type galaxies in the Coma and A1367 clusters: ISOCAM and ISOPHOT observations. *A&A*, 365:11-27.
28. Cossart-Magos, C., Jungen, M., and **Launay, F.** (2001). High resolution absorption spectrum of N<sub>2</sub>O between 75 000 and 104 000 cm<sup>-1</sup>. *J. Chem. Phys.*, 114:7368-7378.

## Liste de publications

29. Cuillandre, J., **Lequeux, J.**, Allen, R. J., **Mellier, Y.**, and Bertin, E. (2001). Gas, Dust, and Young Stars in the Outer Disk of M31. *ApJ*, 554:190-201.
30. Czoske, O., Kneib, J.-P., Soucail, G., Bridges, T. J., **Mellier, Y.**, and Cuillandre, J.-C. (2001). A wide-field spectroscopic survey of the cluster of galaxies Cl0024+1654. I. The catalogue. *A&A*, 372:391-405.
31. D'Alba, L., Melchiorri, F., De Petris, M., Orlando, A., Lamagna, L., Rephaeli, Y., Colafrancesco, S., **Signore, M.**, and Kreysa, E. (2001). The Sunyaev-Zeldovich MITO project. *New Astronomy Review*, 45:329-335.
32. de Petris, M., Melchiorri, F., Orlando, A., Lamagna, L., D'Alba, L., Colafrancesco, S., Rephaeli, Y., **Signore, M.**, Kreysa, E., Castagnoli, C., Romero, A., Vernetto, P. V. S., and Saavedra, O. (2001). Millimetric observations with a high-altitude 2.6 m ground-based telescope. *Nuovo Cimento C Geophysics Space Physics C*, 24:651-+.
33. de Vega, H. J., Larsen, A. L., and **Sanchez, N. G.** (2001). Non-singular string-cosmologies from exact conformal field theories. *Nuclear Physics B Proceedings Supplements*, 102:201-208.
34. Dimitrijevic, M. S. and **Sahal-Bréchet, S.** (2001). Stark Broadening Parameter Tables for in II (Part II). *Serbian Astronomical Journal*, 163:35-+.
35. D'Odorico, V. and **Petitjean, P.** (2001). Inhomogeneous metal enrichment at  $z \sim 1.9$ : The Lyman limit systems in the spectrum of the HDF-S quasar. *A&A*, 370:729-742.
36. Doré, O., Bouchet, F. R., **Mellier, Y.**, and Teyssier, R. (2001). Cluster physics from joint weak gravitational lensing and Sunyaev-Zel'dovich data. *A&A*, 375:14-24.
37. du Burck, F., Wallerand, J.-P., Mercier, B., Goncharov, A., Himbert, M., and **Bordé, C. J.** (2001). Resolving power and sensitivity in modulated resonant Raman spectroscopy. *IEEE J. of Quant. Electron*, 37:837-843.
38. Dupac, X., Giard, M., Bernard, J.-P., **Lamarre, J.-M.**, Mény, C., Pajot, F., Ristorcelli, I., Serra, G., and Torre, J.-P. (2001). Submillimeter Mapping and Analysis of Cold Dust Condensations in the Orion M42 Star-forming Complex. *ApJ*, 553:604-612.
39. Emsellem, E., Greusard, D., **Combes, F.**, Friedli, D., Leon, S., Pécontal, E., and Wozniak, H. (2001a). Dynamics of embedded bars and the connection with AGN. I. ISAAC/VLT stellar kinematics. *A&A*, 368:52-63.
40. Emsellem, E., Greusard, D., Friedli, D., and **Combes, F.** (2001b). 2D kinematics of nuclear bars. *Astrophysics and Space Science Supplement*, 277:455-455.
41. Encrenaz, T., Coradini, A., **Beaudin, G.**, Crovisier, J., Drossart, P., Erard, S., Germain, B., Gulkis, S., Langevin, Y., and Lellouch, E. (2001). The Mars flyby of ROSETTA: an opportunity for infrared and microwave high-resolution sounding. *Planet. Space Sci.*, 49:673-687.
42. Erben, T., Van Waerbeke, L., **Bertin, E.**, **Mellier, Y.**, and Schneider, P. (2001). How accurately can we measure weak gravitational shear? *A&A*, 366:717-735.
43. **Falgarone, E.**, **Pety, J.**, and Phillips, T. G. (2001). Filamentary Structure and Helical Magnetic Fields in the Environment of a Starless Dense Core. *ApJ*, 555:178-190.
44. **Fillion, J.-H.**, van Harrevelt, R., Ruiz, J., Castillejo, M., Zanganeh, A. H., **Lemaire, J.-L.**, van Hemert, M., and **Rostas, F.** (2001). Photodissociation of H<sub>2</sub>O and D<sub>2</sub>O in B, C, and D States (134 nm-119 nm). Comparison between Experiment and Ab initio Calculations. *J. Phys Chem. A*, 105:11414.
45. **Fossé, D.**, Cernicharo, J., **Gerin, M.**, and Cox, P. (2001). Molecular Carbon Chains and Rings in TMC-1. *ApJ*, 552:168-174.
46. Garcia, P. J. V., **Cabrit, S.**, Ferreira, J., and Binette, L. (2001a). Atomic T Tauri disk winds heated by ambipolar diffusion. II. Observational tests. *A&A*, 377:609-616.

## Liste de publications

47. Garcia, P. J. V., Ferreira, J., **Cabrit, S.**, and Binette, L. (2001b). Atomic T Tauri disk winds heated by ambipolar diffusion. I. Thermal structure. *A&A*, 377:589-608.
48. García-Sánchez, J., Weissman, P. R., Preston, R. A., Jones, D. L., **Lestrade, J.-F.**, Latham, D. W., Stefanik, R. P., and Paredes, J. M. (2001). Stellar encounters with the solar system. *A&A*, 379:634-659.
49. **Gariel, J.**, Marcilhacy, G., and **Santos, N. O.** (2001). The Kerr solution obtained by the Euclidon method. *General Relativity and Gravitation*, 7:333-335.
50. **Gerin, M.**, Pearson, J. C., Roueff, E., **Falgarone, E.**, and Phillips, T. G. (2001). Determination of the Hyperfine Structure of  $N_2D^+$ . *ApJ*, 551:L193-L197.
51. **Gerin, M.** and Phillips, T. G. (2001). Submillimeter CI and CO Lines in Galaxies. *Astrophysics and Space Science Supplement*, 277:75-78.
52. Greusard, D., Emsellem, E., **Combes, F.**, Friedli, D., Pfenniger, D., and Wozniak, H. (2001). Sub-kpc stellar kinematics of AGN as revealed by ISAAC (VLT/ANTU) spectroscopy. *Astrophysics and Space Science Supplement*, 277:469-469.
53. Guirado, J. C., Ros, E., Jones, D. L., **Lestrade, J.-F.**, Marcaide, J. M., Pérez-Torres, M. A., and Preston, R. A. (2001). Space-VLBI phase-reference mapping and astrometry. *A&A*, 371:766-770.
54. Hamana, T. and **Mellier, Y.** (2001). Numerical study of the statistical properties of the lensing excursion angles. *MNRAS*, 327:169-176.
55. **Hennebelle, P.** (2001). Exact solutions of the aspherical axisymmetric gravo-magnetic condensation. *A&A*, 378:214-227.
56. **Hennebelle, P.**, **Pérault, M.**, Teyssier, D., and Ganesh, S. (2001). Infrared dark clouds from the ISOGAL survey. Constraints on the interstellar extinction curve. *A&A*, 365:598-611.
57. Herrera, L., Ruifernández, J., and **Santos, N. O.** (2001a). The Static Cylinder, Gyroscopes and the C-Metric. *General Relativity and Gravitation*, 33:515-529.
58. Herrera, L. and **Santos, N. O.** (2001). On the gravitomagnetic effects in cylindrically symmetric spacetimes. *Journal of Mathematical Physics*, 42:4956-4962.
59. Herrera, L., **Santos, N. O.**, Teixeira, A. F. F., and Wang, A. Z. (2001b). On the interpretation of cylindrically symmetric Levi-Civita spacetime for  $0 \leq \sigma < \infty$ . *Classical and Quantum Gravity*, 18:3847-3855.
60. **Heydari-Malayeri, M.**, Charmandaris, V., Deharveng, L., Rosa, M. R., Schaerer, D., and Zinnecker, H. (2001a). HST observations of the LMC compact  $\{H\} \{II\}$  region N 11A. *A&A*, 372:527-534.
61. **Heydari-Malayeri, M.**, Charmandaris, V., Deharveng, L., Rosa, M. R., Schaerer, D., and Zinnecker, H. (2001b). HST study of the LMC compact star-forming region N83B. *A&A*, 372:495-507.
62. Hong, F., Ye, J., Ma, L., Picard, S., **Bordé, C. J.**, and Hall, J. L. (2001). Rotation dependence of electric quadrupole hyperfine interaction in the ground state of molecular iodine by high-resolution laser spectroscopy. *Optical Society of America Journal B Optical Physics*, 18:379-387.
63. Horellou, C., Black, J. H., van Gorkom, J. H., **Combes, F.**, van der Hulst, J. M., and Charmandaris, V. (2001). Atomic and molecular gas in the merger galaxy NGC 1316 (Fornax A) and its environment. *A&A*, 376:837-852.
64. Horellou, C. and **Combes, F.** (2001). A Model for the Cartwheel Ring Galaxy. *Ap&SS*, 276:1141-1149.
65. Jungwiert, B., **Combes, F.**, and Palous, J. (2001). Continuous stellar mass-loss in N-body models of galaxies. *A&A*, 376:85-97.
66. Kalirai, J. S., Richer, H. B., Fahlman, G. G., Cuillandre, J., Ventura, P., D'Antona, F., **Bertin, E.**, Marconi, G., and Durrell, P. R. (2001a). The CFHT Open Star Cluster Survey. I. Cluster Selection and Data Reduction. *AJ*, 122:257-265.

## Liste de publications

67. Kalirai, J. S., Richer, H. B., Fahlman, G. G., Cuillandre, J., Ventura, P., D'Antona, F., **Bertin, E.**, Marconi, G., and Durrell, P. R. (2001b). The CFHT Open Star Cluster Survey. II. Deep CCD Photometry of the Old Open Star Cluster NGC 6819. *AJ*, 122:266-282.
68. Kalirai, J. S., Richer, H. B., Fahlman, G. G., Cuillandre, J.-C., Ventura, P., D'Antona, F., **Bertin, E.**, Marconi, G., and Durrell, P. R. (2001c). Deep CCD Photometry of the Rich, Old Open Star Cluster NGC 6819. *Bulletin d'information du telescope Canada-France-Hawaii*, 43:5-7.
69. Kanekar, N., Chengalur, J. N., Subrahmanyan, R., and **Petitjean, P.** (2001). ATCA search for 21 cm emission from a candidate damped Ly-alpha absorber at  $z = 0.101$ . *A&A*, 367:46-50.
70. Kerins, E., Carr, B. J., Evans, N. W., Hewett, P., Lastennet, E., Le Du, Y., **Melchior, A.-L.**, Smartt, S. J., and Valls-Gabaud, D. (2001). Theory of pixel lensing towards M31 - I. The density contribution and mass of MACHOs. *MNRAS*, 323:13-33.
71. Konstantaki, M., Koudoumas, E., Couris, S., Laine, P., Amouyal, E., and **Leach, S.** (2001a). Substantial Non-linear Optical Response of New Polyads Based on Ru and Os Complexes of Modified Terpyridines. *J. Phys. Chem. B.*, 105(50):12688-12688.
72. Konstantaki, M., Koudoumas, E., Couris, S., Laine, P., Amouyal, E., and **Leach, S.** (2001b). Substantial Non-linear Optical Response of New Polyads Based on Ru and Os Complexes of Modified Terpyridines. *J. Phys. Chem. B.*, 105(44):10797-10804.
73. Koudoumas, E., Konstantaki, M., Mavromanolakis, A., Michaut, X., Couris, S., and **Leach, S.** (2001). Transient and instantaneous third-order nonlinear optical response of  $C_{60}$  and the higher fullerenes  $C_{70}$ ,  $C_{76}$  and  $C_{84}$ . *Journal of Physics B Atomic Molecular Physics*, 34:4983-4996.
74. **Lamarre, J.-M.** and Puget, J.-L. (2001). The Cosmic Microwave Background. *Europhysics News*, page 212.
75. Lämmerzahl, C. and **Bordé, C. J.** (2001). Testing the Dirac Equation. *LNP Vol. 562: Gyros, Clocks, Interferometers ...: Testing Relativistic Gravity in Space*, pages 463-+.
76. Larsen, A.L. and **Sanchez, N. G.** (2001). New coherent string states and minimal uncertainty in WZWN models. *Nuclear Physics B*, 618:301-311.
77. **Le Bertre, T.** and Gérard, E. (2001). Cold H I in IRC +10216. *A&A*, 378:L29-L32.
78. **Le Bertre, T.**, Matsuura, M., Winters, J. M., Murakami, H., Yamamura, I., Freund, M., and Tanaka, M. (2001). Galactic mass-losing AGB stars probed with the IRTS. I. *A&A*, 376:997-1010.
79. **Leach, S.** (2001a). Fire in the Sky. *S&T*, 102(2):12-+.
80. **Leach, S.** (2001b). Ionization energies of multicharged fullerenes: Application and validity of an electrostatic model. *Canadian Journal of Physics*, 79:501-517.
81. Litzén, U., Lundberg, H., **Tchang-Brillet, W.-U. L.**, Launay, F., and Engleman, R. (2001). Analysis of the Pd II Spectrum in the Ultraviolet and Infrared Regions. *Phys. Scr*, 64:63-73.
82. Maoli, R., Van Waerbeke, L., **Mellier, Y.**, Schneider, P., Jain, B., Bernardeau, F., Erben, T., and Fort, B. (2001). Cosmic shear analysis in 50 uncorrelated VLT fields. Implications for  $\Omega_0$ ,  $\sigma_8$ . *A&A*, 368:766-775.
83. Márquez, I., **Petitjean, P.**, Théodore, B., Bremer, M., Monnet, G., and Beuzit, J.-L. (2001). Adaptive optics imaging of low and intermediate redshift quasars. *A&A*, 371:97-106.
84. McCracken, H. J., Le Fèvre, O., Brodwin, M., Foucaud, S., Lilly, S. J., Crampton, D., and **Mellier, Y.** (2001). The Canada-France deep fields survey. *A&A*, 376:756-774.
85. Miguelote, A. Y., da Silva, M.F. A., Wang, A. Z., and **Santos, N. O.** (2001). Levi-Civita solutions coupled with electromagnetic fields. *Classical and Quantum Gravity*, 18:4569-4588.

## Liste de publications

86. Murphy, M. T., Webb, J. K., Flambaum, V. V., Drinkwater, M.J., **Combes, F.**, and Wiklind, T. (2001). Improved constraints on possible variation of physical constants from H i 21-cm and molecular QSO absorption lines. *MNRAS*, 327:1244-1248.
87. **Pagani, L.**, Gallego, A. T., and Apponi, A. J. (2001). On the frequency of the CS ( $J: 2^{-1}$ ) and ( $J: 5^{-4}$ ) transitions. *A&A*, 380:384-387.
88. Paletou, F., López Ariste, A., **Bommier, V.**, and Semel, M. (2001). Full-Stokes spectropolarimetry of solar prominences. *A&A*, 375:L39-L42.
89. Pelló, R., Bolzonella, M., Campusano, L. E., **Dantel-Fort, M.**, Fort, B., Kneib, J.-P., Le Borgne, J.-F., **Mellier, Y.**, Ellis, R. S., and Smail, I. (2001). Properties of high- $z$  galaxies seen through lensing clusters. *Astrophysics and Space Science Supplement*, 277:547-550.
90. **Péron, I.**, Pasturel, P., and Schuster, K.-F. (2001). Fabrication of SIS junctions for space borne submillimeter wave mixers using negative resist e-beam lithography. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 11(1):377-380.
91. **Petitjean, P.** (2001a). Le bain était plus chaud il y a 12 milliards d'années. *La Recherche*, 340:18-19.
92. **Petitjean, P.** (2001b). Metals at high redshifts. *Astrophysics and Space Science Supplement*, 277:517-525.
93. Piat, M., Torre, J.-P., **Lamarre, J.-M.**, Beeman, J., and Bhatia, R. (2001). Modelling and optimising high sensitivity semiconducting thermistors at low temperature. *Journal of Low Temperature Physics*, 125(5/6).
94. Pichon, C., Vergely, J. L., Rollinde, E., Colombi, S., and Petitjean, P. (2001). Inversion of the Lyman  $\alpha$  forest: three-dimensional investigation of the intergalactic medium. *MNRAS*, 326:597-620.
95. Pierini, D., **Lequeux, J.**, Boselli, A., Leech, K. J., and Völk, H. J. (2001). Gas cooling within the diffuse ISM of late-type galaxies. *A&A*, 373:827-835.
96. Pierre, M., Alloin, D., Altieri, B., Birkinshaw, M., Bremer, M., Böhringer, H., Hjorth, J., Jones, L., Le Fèvre, O., Maccagni, D., McBreen, B., **Mellier, Y.**, Molinari, E., Quintana, H., Röttgering, H., Surdej, J., Vigroux, L., White, S., and Lonsdale, C. (2001). The XMM Large Scale Structure Survey and its multi- $\lambda$  follow-up. *The Messenger*, 105:32-+.
97. Pointecouteau, E., Giard, M., Benoît, A., Désert, F. X., Bernard, J.-P., Coron, N., and **Lamarre, J.-M.** (2001). Extended Sunyaev-Zeldovich Map of the Most Luminous X-Ray Cluster, RX J1347-1145. *ApJ*, 552:42-48.
98. **Prigent, C.**, Aires, F., Rossow, W., and Matthews, E. (2001a). Joint characterization of vegetation by satellite observations from visible to microwave wavelengths: A sensitivity analysis. *J. Geophys. Res.*, (15):20665-20686.
99. **Prigent, C.**, Matthews, E., Aires, F., and Rossow, W. B. (2001b). Remote sensing of global wetland dynamics with multiple satellite data sets. *Geophys. Res. Lett.*, 28:4631-4634.
100. **Prigent, C.**, Pardo, J. R., Mishchenko, M. I., and Rossow, W. B. (2001c). Microwave polarized signatures generated within cloud systems: Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) observations interpreted with radiative transfer simulations. *J. Geophys. Res.*, 106(15):28243-28258.
101. Puy, D., Grenacher, L., Jetzer, P., and **Signore, M.** (2001). Erratum: Asphericity of galaxy clusters and Sunyaev-Zel'dovich effect. *A&A*, 368:15-+.
102. Raga, A., **Cabrit, S.**, Dougados, C., and Lavalley, C. (2001). A precessing, variable velocity jet model for DG Tauri. *A&A*, 367:959-966.
103. Rollinde, E., **Petitjean, P.**, and Pichon, C. (2001). Physical properties and small-scale structure of the Lyman-alpha forest: Inversion of the HE 1122-1628 UVES spectrum. *A&A*, 376:28-42.

## Liste de publications

104. Roussel, H., Vigroux, L., Bosma, A., Sauvage, M., Bonoli, C., Gallais, P., Hawarden, T., **Lequeux, J.**, Madden, S., and Mazzei, P. (2001). An atlas of mid-infrared dust emission in spiral galaxies. *A&A*, 369:473-509.
105. Rubio, M., Contursi, A., **Lequeux, J.**, Barbá, R., and Probst, R. (2001). Multiwavelength Studies of Star Forming Regions in the Magellanic Clouds. *Astrophysics and Space Science Supplement*, 277:113-113.
106. Rudolph, A. L., Bachiller, R., **Nguyen-Quang-Rieu**, Van Trung, D., Palmer, P., and Welch, W. J. (2001). A Molecular Line Study of the HH 7-11 Outflow. *ApJ*, 558:204-215.
107. **Sahal-Bréchet, S.** (2001). The Polarization of Light and Astronomical Observation Advances in Astronomy and Astrophysics Series, Vol. 4 - J.-L. Leroy; Gordon and Breach Publishing, London, 226pp., cloth. *Planet. Space Sci.*, 49:1393-1394.
108. **Sanchez, N. G.** (2001). Book Review: Current topics in astrophysical physics : the Cosmic microwave background / Kluwer, 2001. *The Observatory*, 121:402-+.
109. Sassara, A., Zerza, G., Chergui, M., and **Leach, S.** (2001). Absorption Wavelengths and Bandwidths for Interstellar Searches of C<sub>60</sub> in the 2400-4100 Å Region. *ApJS*, 135:263-273.
110. Schaerer, D., Blum, R. D., **Heydari-Malayeri, M.**, and Martins, F. (2001). Narrow-band Adaptive Optics Imaging in the Arches Cluster. *Bulletin d'information du telescope Canada-France-Hawaii*, 43:8-10.
111. **Semelin, B.**, **Sanchez, N. G.**, and de Vega, H. J. (2001). Self-gravitating fluid dynamics, instabilities, and solitons. *Phys. Rev. D*, 63(8):084005-+.
112. **Signore, M.** and Puy, D. (2001). Supernovae and cosmology. *New Astronomy Review*, 45:409-423.
113. Srianand, R. and **Petitjean, P.** (2001). A near-solar metallicity damped Lyman-alpha system toward the BAL quasar Tol 1037-2703. *A&A*, 373:816-826.
114. Tran, Q. D., Lutz, D., Genzel, R., Rigopoulou, D., Spoon, H. W. W., Sturm, E., **Gerin, M.**, Hines, D. C., Moorwood, A. F. M., Sanders, D. B., Scoville, N., Taniguchi, Y., and Ward, M. (2001). ISOCAM-CVF 5-12 micron spectroscopy of ultraluminous infrared galaxies. *ApJ*, 552:527-543.
115. van Gorkom, J. H., Horellou, C., Black, J. H., **Combes, F.**, van der Hulst, J. M., and Charmandaris, V. (2001). Atomic and Molecular Gas in the Merger Galaxy NGC 1316 (Fornax A) and its Environment. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 33:1175-+.
116. Van Waerbeke, L., **Mellier, Y.**, Radovich, M., **Bertin, E.**, Dantel-Fort, M., McCracken, H. J., Le Fèvre, O., Foucaud, S., Cuillandre, J.-C., Erben, T., Jain, B., Schneider, P., Bernardeau, F., and Fort, B. (2001). Cosmic shear statistics and cosmology. *A&A*, 374:757-769.
117. Vannier, L., **Lemaire, J.-L.**, Field, D., Pineau des Forêts, G., Pijpers, F. P., and Rouan, D. (2001). H<sub>2</sub> infrared emission and the formation of dense structures in the Orion molecular cloud. *A&A*, 366:651-661.
118. Varshalovich, D. A., Ivanchik, A. V., **Petitjean, P.**, Srianand, R., and Ledoux, C. (2001). HD Molecular Lines in an Absorption System at Redshift z=2.3377. *Astronomy Letters*, 27:683-685.
119. Vogt, E., **Sahal-Bréchet, S.** and **Bommier, V.** (2001). Polarization of the hydrogen H $\alpha$  line in solar flares. Contribution of the local polarized radiation field and effect of the spectral index of the proton energy distribution. *A&A*, 374:1127-1134.
120. Willaime, M.-C., **Casoli, F.**, and **Gerin, M.** (2001a). Molecular Gas in the Merging System ARP 299. *Ap&SS*, 276:931-938.
121. Willaime, M.-C., **Lequeux, J.**, and **Hanus, M.** (2001b). ISOCAM Observations of the Centre of M31. *Ap&SS*, 276:383-387.
122. Wolff, B., Kruk, J. W., Koester, D., **Allard, N. F.**, Ferlet, R., and Vidal-Madjar, A. (2001). FUSE observations of hot white dwarfs. *A&A*, 373:674-682.

## Liste de publications

123. Wyart, J. T. W. L., **Tchang-Brillet, W.-U. L.**, Spector, N., Palmeri, P., Quinet, P., Biémont, E., and Biémont, E. (2001). Extended Analysis of the Spectrum of Triply-ionized Ytterbium (Yb IV) and Transition Probabilities. *Phys. Scr.*, 63:113-121.
124. Xanthopoulos, E., **Combes, F.**, and Wiklind, T. (2001). IRAM observations of JVAS/CLASS gravitational lenses. *MNRAS*, 325:273-277.
125. Yurchenko, V., Murphy, J., and **Lamarre, J.-M.** (2001). Fast Physical Optics Simulations of the Multi-Beam Dual-Reflector Submillimeter Wave Telescope on the ESA Planck Surveyor. *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 22(1).
126. Yurchenko, V. B., Murphy, J. A., and **Lamarre, J.-M.** (2001). Simulations of the Submillimeter-Wave Telescope on the ESA Planck Surveyor. *Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society*, pages 791-+.
127. Zhou, H.-L., Manson, S. T., Vo Ky, L., **Feautrier, N.**, and Hibbert, A. (2001a). Dramatic Structure in the Photodetachment of Inner Shells of Negative Ions:  $\text{Li}^-$ . *Physical Review Letters*, 87(2):023001-+.
128. Zhou, H. L., Manson, S. T., Vo Ky, L., Hibbert, A., and **Feautrier, N.** (2001b). Photodetachment of  $\text{He}^- 1s2s2p \ ^4P^o$  in the region of the 1s threshold. *Phys. Rev. A*, 64(1):012714-+.

### 9.1.2.2 Actes de colloques

1. Athreya, R. M., Hoekstra, H., **Mellier, Y.**, Cuillandre, J.-C., and Narasimha, D. (2001). Mass Distribution in Abell 370 from Weak Lensing. In *ASP Conf. Ser. 237: Gravitational Lensing: Recent Progress and Future Go*, pages 303-+.
2. Bagnasco, G., Bingham, R., **Bordé, C. J.**, and et al. (2001). High Precision Atom Interferometry in Space : the HYPER Project. In *Proceedings of the 52nd International Astronautical Congress, Toulouse, France*. the International Astronautical Federation or the International Academy of Astronautics.
3. Balança, C. and Dubois, A. (2001). Impact Polarization of the  $\text{D}_2$  Line of Sodium Atom. In *ASP Conf. Ser. 236: Advanced Solar Polarimetry - Theory, Observation, and Instrumentation*, pages 221-+.
4. Bernard, J.-P., Abergel, A., Boulanger, F., Dupac, X., Giard, M., Lagache, G., **Lamarre, J.-M.**, Mény, C., Ristorcelli, I., and Stepnik, B. (2001a). Implications of the PRONAOS observations for the large scale surveys with FIRST. In *ESA SP-460: The Promise of the Herschel Space Observatory*, pages 297-+.
5. Bernard, J.-P., Dupac, X., Giard, M., **Lamarre, J.-M.**, Mény, C., Pajot, F., Ristorcelli, I., Stepnik, B., and Torre, J. P. (2001b). Astronomical results from the PRONAOS experiment. In *ESA SP-471: European Rocket and Balloon Programmes and Related Research*, pages 439-+.
6. **Bertin, E.** (2001). Mining Pixels: The Extraction and Classification of Astronomical Sources. In *Mining the Sky*, pages 353-+.
7. **Bertin, E.**, Thion, A., **Mellier, Y.**, and van Waerbeke, L. (2001). Weak Lensing Analysis with SExtractor. In *ASP Conf. Ser. 237: Gravitational Lensing: Recent Progress and Future Go*, pages 365-+.
8. Binette, L., Raga, A. C., Canto, J., and **Cabrit, S.** (2001). The Optical Spectra of Atomic/ionic Mixing Layers. In *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series*, pages 53-+.
9. Boër, M., Thiébaud, C., Klotz, A., Buchholtz, G., Melchior, A.-L., Pennypaker, C., Isaac, M., and Ebisuzaki, T. (2001a). Hands-On TAROT: Intercontinental Use of the TAROT for Education and Public Outreach. In *ASP Conf. Ser. 238: Astronomical Data Analysis Software and Systems X*, pages 111-+.
10. Boër, M., Thiébaud, C., Pack, H., Pennypaker, C., Isaac, M., **Melchior, A.-L.**, Faye, S., and Ebisuzaki, T. (2001b). Hands-On Universe: A Global Program for Education and Public Outreach in Astronomy. In *ASP Conf. Ser. 238: Astronomical Data Analysis Software and Systems X*, pages 103-+.

## Liste de publications

11. **Boissé, P.**, Thoraval, S., Cuillandre, J. C., Duvert, G., and **Pagani, L.** (2001). The Small Scale Structure of H<sub>2</sub> Clouds. In *Molecular Hydrogen in Space*, pages 221-+.
12. Boulanger, F., Habart, E., Abergel, A., **Falgarone, E.**, Pineau Des Forêts, G., and Verstraete, L. (2001). Spatial Structure of a Photo-Dissociation Region in Ophiucus. In *Molecular Hydrogen in Space*, pages 211-+.
13. **Casoli, F.** and Loinard, L. (2001). Molecular Gas in Nearby Quasars. In *ASP Conf. Ser. 235: Science with the Atacama Large Millimeter Array*, pages 305-+.
14. Chardonnet, C., Ziskind, M., Marrel, T., Daussy, C., Bordé, C. J., Grain, C., Constantin, L. F., Nguyen, C. T., Shelkownikov, A., Butcher, R. J., and Amy-Klein, A. (2001). Search for a frequency difference in the spectrum of the enantiomers of chiral molecules: How to reach a sensitivity better than 10<sup>-14</sup>? In *Proc. SPIE Vol. 4269, p. 8-17, Laser Frequency Stabilization, Standards, Measurement, and Applications*, John L. Hall; Jun Ye; Eds., pages 8-17.
15. Clénet, Y., Le Coarer, E., Joncas, G., Beuzit, J.-L., Rouan, D., Chalabaev, A., Rabou, P., Arsenault, R., Delage, C., Marlot, C., Vallée, P., Grundseth, B., Thomas, J., Forveille, T., Lai, O., Lacombe, F., **Lemaire, J.-L.**, and Field, D. (2001). First results of the CFHT GrIF 3D spectrograph. In *SF2A-2001: Semaine de l'Astrophysique Française*, pages 603-+.
16. Czoske, O., Soucail, G., Kneib, J.-P., Bridges, T., Cuillandre, J.-C., and **Mellier, Y.** (2001). A Wide-Field Spectroscopic Survey in the Cluster Lens C10024+17. In *ASP Conf. Ser. 237: Gravitational Lensing: Recent Progress and Future Go*, pages 309-+.
17. de Vega, H. J. and **Sanchez, N. G.** (2001a). Phase Transitions and Galaxy Clustering . In *Phase Transitions in the Early Universe: Theory and Observations*, pages 303-+.
18. de Vega, H. J. and **Sanchez, N. G.** (2001b). The Statistical Mechanics of the Self-Gravitating Gas: Equation of State and Fractal Dimension. In *Current Topics in Astrofundamental Physics: the Cosmic Microwave Background*, pages 433-+.
19. Emsellem, E., Greusard, D., Friedli, D., and **Combes, F.** (2001). Dynamical Evidence for the Existence of Nuclear Bars: OASIS Observations and N-Body Models. In *ASP Conf. Ser. 230: Galaxy Disks and Disk Galaxies*, pages 235-236.
20. Eymard, L., **Gheudin, M.**, Laborie, P., Sirou, F., Le Gac, C., Vinson, J., Franquet, S., Desbois, M., Karbou, F., Roca, R., Scott, N., and Waldteufel, P. (2001). The SAPHIR humidity sounder. In *2nd scientific workshop on MEGHA-TROPIQUES, CNES, Paris*. CNES.
21. **Falgarone, E.**, Verstraete, L., **Hily-Blant, P.**, and Pineau Des Forêts, G. (2001). Hot Chemistry in the Cold Diffuse Medium: Spectral Signature in the H<sub>2</sub> Rotational Lines. In *Molecular Hydrogen in Space*, pages 225-+.
22. Field, D., Lemaire, J. L., Maillard, J. P., **Leach, S.**, Pineau Des Forêts, G., **Falgarone, E.**, Pijpers, F. P., **Gerin, M.**, Rostas, F., Rouan, D., and Vannier, L. (2001). Hydrogen in Photodissociation Regions: NGC2023 and NGC7023. In *Molecular Hydrogen in Space*, pages 155-+.
23. García-Burillo, S., Sempere, M. J., **Combes, F.**, and Hunt, L. K. (2001a). Counterrotating Molecular Gas Disks: Observations and Numerical Simulations. In *ASP Conf. Ser. 230: Galaxy Disks and Disk Galaxies*, pages 443-444.
24. García-Burillo, S., Sempere, M. J., **Combes, F.**, Hunt, L. K., and Neri, R. (2001b). Anatomy of the counterrotating molecular disk in the spiral NGC 3593. In *Highlights of Spanish astrophysics II*, pages 374-+.
25. **Gerin, M.**, **Miville-Deschênes, M.-A.**, and **Hennebelle, P.** (2001). The Diffuse Interstellar Medium with the Herschel Space Observatory. In *ESA SP-460: The Promise of the Herschel Space Observatory*, pages 195-+.

## Liste de publications

26. Habart, E., Boulanger, F., Verstraete, L., Pineau des Forêts, G., **Falgarone, E.**, and Abergel, A. (2001). Dust and Gas Emission Across the Bright Side of the rho-Ophiuchi Main Cloud. In *ESA SP-460: The Promise of the Herschel Space Observatory*, pages 227-+.
27. Hamana, T., Colombi, S., and **Mellier, Y.** (2001). Numerical Study of the Cosmic Shear. In *Deep Fields*, pages 266-+.
28. **Heydari-Malayeri, M.**, Charmandaris, V., Deharveng, L., Rosa, M. R., Shaerer, D., and Zinnecker, H. (2001). The youngest massive star clusters in the Magellanic Clouds. In *Proceedings of the 17th IAP Astrophysics Colloquium held in Paris, France on 19-23 June 2001 entitled: "Gaseous matter in Galaxies and Intergalactic Space"*, p. 195, 2001, eds R. Ferlet, M. Lemoine, J.-M. Desert, & B. Raban (Frontier Group, ISBN: 2-914601-02-6), pages 195-+.
29. Infante, M. P. and **Sanchez, N. G.** (2001). Minimal String Driven Cosmology and its Predictions. In *Current Topics in Astrofundamental Physics: the Cosmic Microwave Background*, pages 97-+.
30. Kunth, D., Vidal-Madjar, A., Lecavelier Des Etangs, A., Benjaffel, L., Ferlet, R., Hébrard, G., Lemoine, M., **Lequeux, J.**, Howk, J. C., Kruk, J. W., Moos, H. W., Roth, K. C., Sonneborn, G., and York, D. G. (2001). No diffuse H<sub>2</sub> in the metal deficient galaxy I Zw 18. In *Cosmic evolution*, pages 271-+.
31. **Launay, F.** (2001). Jules Janssen's in and out correspondence. In *Miklós Konkoly Thege (1842-1916). 100 Years of Observational Astronomy and Astrophysics*, pages 159-+.
32. Le Fèvre, O., Vettolani, G., Maccagni, D., Mancini, D., Mazure, A., **Mellier, Y.**, Picat, J. P., Arnaboldi, M., Bardelli, S., Bertin, E., Busarello, G., Cappi, A., Charlot, S., Colombi, S., Garilli, B., Guzzo, L., Iovino, A., Le Brun, V., Mathez, G., Merluzzi, P., McCracken, H. J., Pellò, R., Pozzetti, L., Radovich, M., Ripepi, V., Saracco, P., Scaramella, R., Scodreggio, M., Tresse, L., Zamorani, G., and Zucca, E. (2001). The VIRMOS-VLT Deep Survey. In *Deep Fields*, pages 236-+.
33. Lefloch, B., Cernicharo, J., Cesarsky, D., Demyk, K., Rodriguez, L. F., and **Miville-Deschênes, M.-A.** (2001). Warm Dust around Hot Stars in the Trifid Nebula. In *ESA SP-460: The Promise of the Herschel Space Observatory*, pages 443-+.
34. Leon, S., Lim, J., **Combes, F.**, and van-Trung, D. (2001). Molecular gas in nearby powerful radio galaxies. In *QSO Hosts and Their Environments*, pages 185-+.
35. Leseignoux, M., Lupo, X., Pereira, C., Pierens, A., **Allard, N. F.**, Kielkopf, J. F., and **Spielfiedel, A.** (2001). Quasi-molecular line satellites in the far wing of the atomic hydrogen Balmer  $\alpha$  spectral line. In *SF2A-2001: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 212-+.
36. Leseignoux, M., Lupo, X., Pereira, C., Pierens, A., **Allard, N. F.**, Kielkopf, J. F., and **Spielfiedel, A.** (2001). Quasi-molecular line satellites in the far wing of the atomic hydrogen Balmer alpha spectral line. In *SF2A-2001: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 213-+.
37. **Lestrade, J.-F.** (2001a). Astrometry at millimeter waves with ALMA for studies of extrasolar planets. In *Techniques for the detection of planets and life beyond the solar system, 4th Annual ROE Workshop, held at Royal Observatory Edinburgh, Scotland, Nov 7-8, 2001. Edited by W.R.F. Dent. Edinburgh, Scotland: Royal Observatory, 2001, p.4*, pages 4-+.
38. **Lestrade, J.-F.** (2001b). Search for extra-solar planets by astrometry with the future interferometers ALMA and VLTI. In *SF2A-2001: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 523-+.
39. Márquez, I., **Petitjean, P.**, Theodore, B., Bremer, M., Monnet, G., and Beuzit, J. L. (2001). Adaptive-optics imaging of low and intermediate redshift quasars. In *QSO Hosts and Their Environments*, pages 101-+.
40. Maurette, M., **Leach, S.**, Engrand, C., and Matrajt, G. (2001). Search for Sites of Low Temperature Ion-Molecule Reactions in the Early Solar System. In *Lunar and Planetary Institute Conference Abstracts*, pages 1605-+.

## Liste de publications

41. Medrano, M. R. and **Sanchez, N. G.** (2001). New Dual Relations Between Quantum Field Theory and String Regimes in Curved Backgrounds. In *Current Topics in Astrofundamental Physics: the Cosmic Microwave Background*, pages 121-+.
42. **Melchior, A.-L., Combes, F.,** and Gould, A. (2001a). A new determination of the local interstellar radiation field (LISRF). In *SF2A-2001: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 63-+.
43. **Melchior, A.-L., Combes, F.,** Guiderdoni, B., and Hatton, S. (2001b). Mergers and starbursts in high-z galaxies. In *SF2A-2001: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 243-+.
44. **Melchior, A.-L., Combes, F.,** Guiderdoni, B., and Hatton, S. (2001c). Simulating Galaxy Surveys with FIRST (PACS & SPIRE). In *ESA SP-460: The Promise of the Herschel Space Observatory*, pages 467-+.
45. Melchiorri, F., Melchiorri, B., **Encrenaz, P.,** Maoli, R., and Signore, M. (2001). Ecography of the Early Universe. In *ASP Conf. Ser. 235: Science with the Atacama Large Millimeter Array*, pages 325-+.
46. **Mellier, Y.,** van Waerbeke, L., Maoli, R., Schneider, P., Jain, B., Bernardeau, F., Erben, T., and Fort, B. (2001a). Cosmic Shear Surveys. In *Deep Fields*, pages 252-+.
47. **Mellier, Y.,** van Waerbeke, L., Radovich, M., **Bertin, E.,** Dantel-Fort, M., Cuillandre, J.-C., McCracken, H., Le Fèvre, O., Didelon, P., Morin, B., Maoli, R., Erben, T., Bernardeau, F., Schneider, P., Fort, B., and Jain, B. (2001b). Terapixel Surveys for Cosmic Shear. In *Mining the Sky*, pages 540-+.
48. Meylan, G., Leon, S., and **Combes, F.** (2001). Tidal Tails around Galactic Globular Clusters: Observations and Simulations. In *ASP Conf. Ser. 228: Dynamics of Star Clusters and the Milky Way*, pages 53-+.
49. **Miville-Deschênes, M.-A.,** Abergel, A., and Boulanger, F. (2001). Dust Evolution in the Cold and Diffuse Interstellar Medium: The Herschel Perspective. In *ESA SP-460: The Promise of the Herschel Space Observatory*, pages 471-+.
50. Navarrini, A., Billon-Pierron, D., **Péron, I.,** and Lazareff, B. (2001). Design and characterization of 225-370 GHz DSB and 247-360 GHz SSB waveguide SIS mixers. In *26th International Conference on Infrared and Millimeter Waves, Toulouse, France, Sept 10-14, 2001*.
51. Orlando, A., de Petris, M., D'Alba, L., Lamagna, L., Melchiorri, F., Rephaeli, Y., Colafrancesco, S., **Signore, M.,** Kreysa, E., and Castagnoli, C. (2001). Search for the Sunyaev-Zeldovich Effect in the Coma Cluster with the MITO Experiment. In *AIP Conf. Proc. 555: Cosmology and Particle Physics*, pages 116-+.
52. Ott, S., Gastaud, R., Ali, B., Delaney, M., Miville-Deschênes, M.-A., Okumura, K., Sauvage, M., and Guest, S. (2001a). CIA V5.0-the Legacy Package for ISOCAM Interactive Analysis. In *ASP Conf. Ser. 238: Astronomical Data Analysis Software and Systems X*, pages 170-+.
53. Ott, S., Starck, J., Scharrel, N., Siebenmorgen, R., Vo, T., Aussel, H., and **Bertin, E.** (2001b). Source detection for the ISOCAM parallel survey. In *Proc. SPIE Vol. 4477, p. 289-300, Astronomical Data Analysis, Jean-Luc Starck; Fionn D. Murtagh; Eds.,* pages 289-300.
54. **Pagani, L.** and et al. (2001). Stars and Galaxies in the Galactic Plane: the Scheherazade Project. In *ASP Conf. Ser. 232: The New Era of Wide Field Astronomy*, pages 300-+.
55. **Pagani, L.,** Pardo-Carrion, J. R., and Stepnik, B. (2001). L134N Revisited. In *ESA SP-460: The Promise of the Herschel Space Observatory*, pages 479-+.
56. Pardo, J. R., **Encrenaz, P.J.,** and Breton, D. (2001). Utilization of the Radiofrequency Spectrum above 1 GHz by Passive Services. In *IAU Symposium*, pages 255-+.
57. Pelló, R., Kneib, J.-P., Fort, B., **Mellier, Y.,** and Maoli, R. (2001). Distant Galaxies as seen through Lensing Clusters. In *ASP Conf. Ser. 237: Gravitational Lensing: Recent Progress and Future Go*, pages 335-+.

## Liste de publications

58. Pierens, A., **Allard, N. F.**, Schmelcher, P., and **Spielfiedel, A.** (2001). Quasi-molecular Lyman beta satellites due to H-H and H-H<sup>+</sup> collisions. In *SF2A-2001: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 223-+.
59. Pons, P., Grenier, K., Rabbia, L., Graffeuil, J., Plana, R., Combes, P., Pascal, O., Caudrillier, P., Baudrand, H., Aubert, H., Takacs, A., **Salez, M.**, and Gol'tsman, G. (2001). Membrane supported circuits for millimetric and sub-millimetric waves-length. In *26th Int. Conf. IR and millimeter waves; Toulouse; France; 10-14 Septembre 2001*.
60. Radovich, M., **Mellier, Y.**, **Bertin, E.**, Missonnier, G., Didelon, P., Morin, B., **Dantel-Fort, M.**, and McCracken, H. (2001). The TERAPIX Tool for the Reduction of Wide-Field Images. In *Mining the Sky*, pages 554-+.
61. Raulin, F., Brack, A., Commeyras, A., Despois, D., Engrand, C., Forterre, P., Gautier, D., Guillemin, J. C., Jaeger, L., **Leach, S.**, Léger, A., L' eon, S., Maurel, M. C., Maurette, M., Prieur, D., Robert, F., Schneider, J., and Westhof, E. (2001). The French GDR Exobio. In *ESA SP-496: Exo-/Astro-Biology*, pages 3-+.
62. Ristorcelli, I., Bernard, J.-P., Stepnik, B., Abergel, A., Boulanger, F., Giard, M., Lagache, G., **Lamarre, J.-M.**, Mény, C., Torre, J.-P., and Serra, G. (2001a). ELISA: A small balloon-borne experiment to guide future observations with FIRST. In *ESA SP-460: The Promise of the Herschel Space Observatory*, pages 301-+.
63. Ristorcelli, I., Bernard, J.-P., Stepnik, B., Abergel, A., Boulanger, F., Giard, M., Lagache, G., **Lamarre, J.-M.**, Mény, C., Torre, J. P., Serra, G., Armengaud, M., Crussaire, J. P., Leriche, B., and Longval, Y. (2001b). ELISA: a small balloon-borne experiment for a large sub-millimeter survey of the Galaxy. In *ESA SP-471: European Rocket and Balloon Programmes and Related Research*, pages 447-+.
64. **Salez, M.**, **Delorme, Y.**, **Péron, I.**, **Dauplay, F.**, **Lecomte, B.**, Chung, M.-H., Spatazza, J., Guillon, M., Schuster, K., Krieg, J.-M., and **Deschamps, A.** (2001). Development of a 480-640 GHz tunerless SIS mixer for FIRST HIFI/Band 1. In *12th Int. Symp. on Space THz Technology; San Diego; 14-16 février 2001* .
65. **Sanchez, N. G.** (2001a). Black Hole Astrophysics . In *Phase Transitions in the Early Universe: Theory and Observations*, pages 399-+.
66. **Sanchez, N. G.** (2001b). Primordial Black Holes as a Probe of the Early Universe and a Varying Gravitational Constant . In *Phase Transitions in the Early Universe: Theory and Observations*, pages 429-+.
67. Schwell, M., **Dulieu, F.**, and **Leach, S.** (2001). VUV response of prebiotic and biotic molecules. In *ESA SP-496: Exo-/Astro-Biology*, pages 133-+.
68. **Semelin, B.**, de Vega, H. J., Sánchez, N., and **Combes, F.** (2001). Renormalization Group Flow and Fragmentation in the Self-Gravitating Thermal Gas. In *Current Topics in Astrofundamental Physics: the Cosmic Microwave Background*, pages 449-+.
69. Stepnik, B., Abergel, A., Bernard, J.-P., Boulanger, F., Cambrésy, L., Giard, M., Jones, A., Lagache, G., Lamarre, J.-M., Mény, C., Pajot, F., Le Peintre, F., Ristorcelli, I., Serra, G., and Torre, J.-P. (2001). Evolution of the Dust Properties in a Translucent Cloud. In *ESA SP-460: The Promise of the Herschel Space Observatory*, pages 269-+.
70. Thion, A., **Mellier, Y.**, Bernardeau, F., **Bertin, E.**, Erben, T., and van Waerbeke, L. (2001). Simulation of Wide-Field Lensing Surveys. In *Mining the Sky*, pages 551-+.
71. Vettolani, G., Lefevre, O., Maccagni, D., Mancini, D., Picat, J. P., Garilli, B., **Mellier, Y.**, Mazure, A., Arnaboldi, M., Charlot, S., Guzzo, L., Scaramella, R., and Zamorani, G. (2001). VLT-VIRMOS Spectrographs and Deep Survey. In *Science with the Large Binocular Telescope*, pages 75-+.
72. Wilgenbus, D., **Cabrit, S.**, Pineau Des For<sup>^</sup> ets, G., and Flower, D. (2001). Characteristics of Shocks in Bipolar Outflows Observed in Pure Rotational Lines of H<sub>2</sub> with ISOCAM. In *ASP Conf. Ser. 243: From Darkness to Light: Origin and Evolution of Young Stellar Clusters*, pages 347-+.

## Liste de publications

73. Willaime, M.-C., **Lequeux, J.**, **Melchior, A.-L.**, and **Hanus, M.** (2001). ISOCAM Observations of M31. In *ESA SP-460: The Promise of the Herschel Space Observatory*, pages 519-+.
74. Winters, J. M. and **Le Bertre, T.** (2001). Mass Loss Characteristics of Dust Forming Long-Period Variable Stars. In *Post-AGB Objects as a Phase of Stellar Evolution*, pages 93-+.
75. Wolf, P., Bize, S., Clairon, A., Landragin, A., Laurent, A., Lemonde, P., and **Bordé, C. J.** (2001). Recoil effects in microwave atomic frequency standards: Preliminary results. In *Proceedings of the 2001 IEEE International Frequency Control Symposium, Seattle, IEEE*, pages 37-45.
76. Wolff, B., Koester, D., Kruk, J. W., **Allard, N. F.**, Ferlet, R., and Vidal-Madjar, A. (2001). FUSE Observations of Hot White Dwarfs. In *Astronomische Gesellschaft Meeting Abstracts*, pages 108-+.

### 9.1.2.3 Conférences Invitées

1. **Combes, F.** (2001a). Detecting Molecules in High-z Mergers with ALMA. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 33:832-+.
2. **Combes, F.** (2001b). Dynamical Evolution: Spirals and Bars. In *ASP Conf. Ser. 230: Galaxy Disks and Disk Galaxies*, pages 213-220.
3. **Combes, F.** (2001c). Fueling the AGN. In *Advanced Lectures on the Starburst-AGN*, pages 223-+.
4. **Combes, F.** (2001d). Galaxy Evolution with ALMA. In *SF2A-2001: Semaine de l'Astrophysique Française*, pages 237-+.
5. **Combes, F.** (2001e). Global versus Nuclear Starbursts. In *ASP Conf. Ser. 249: The Central Kiloparsec of Starbursts and AGN: The La Palma Connection*, pages 475-+.
6. **Combes, F.** (2001f). H<sub>2</sub> in Galaxies. In *Molecular Hydrogen in Space*, pages 275-+.
7. **Combes, F.** (2001g). High Redshift CO Line Emission: Perspectives. In *Deep Millimeter Surveys: Implications for Galaxy Formation and Evolution*, pages 109-+.
8. **Combes, F.** (2001h). Molecular Gas in Galaxies. *Astrophysics and Space Science Supplement*, 277:29-38.
9. **Falgarone, E.** (2001a). The parsec scale environment of a low mass dense core. Star formation in the galactic context, session 2001 du Center for Star Formation Studies, Santa-Cruz, California, dirs. F. Shu & D. Hollenbach (Sans Actes).
10. **Falgarone, E.** (2001b). Turbulence dans le milieu interstellaire. conférence d'ouverture du colloque annuel du GDR Turbulence, Toulouse (Sans Actes).
11. **Falgarone, E.** and **Pety, J.** (2001). Turbulence in the Environment of two Starless Dense Cores. In *ASP Conf. Ser. 243: From Darkness to Light: Origin and Evolution of Young Stellar Clusters*, pages 53-65.
12. **Falgarone, E.**, Verstraete, L., **Hily-Blant, P.**, and Pineau Des Forêts, G. (2001). Hot Chemistry in the Cold Diffuse Medium: Spectral Signature in the H<sub>2</sub> Rotational Lines. In *Molecular Hydrogen in Space*, pages 225-+.
13. **Fillion, J.-H.**, Zanganeh, A., Ruiz, J., Castillejo, M., **Lemaire, J.-L.**, and **Rostas, F.** (2001). Photodissociation of H<sub>2</sub>O and D<sub>2</sub>O using VUV laser or Synchrotron radiation. In Giacobino, E., Brechignac, P., Hieu, N., and Dai Hung, N., editors, *International Workshop on Optics and Spectroscopy (IWOS 2000, Hanoi), Proceedings of Advances in Optics and Spectroscopy*, pages 312-321. Hanoi University Press.
14. **Lamarre, J.-M.** (2001a). Planck-HFI Instrument: Design and performances. 1st Planck Science Meeting, Noordwijk, Jan.30-Feb.2, 2001.
15. **Lamarre, J.-M.** (2001b). PRONAOS, ‡ la dÈcouverte de l'Univers froid et lointain. SociÈtÈ Astronomique de France, 25 avril 2001.

## Liste de publications

16. **Lamarre, J.-M.** (2001c). Vous avez dit Astrophysique ? In *ConfÈrences introductives de l'Ecole Nationale SupÈrieure de l'AÈronautique et de l'Espace, Toulouse, 14 septembre 2001*.
17. **Lamarre, J.-M.** and et al. (2001). Planck-HFI: Requirements and design. In *2K1BC, Experimental Cosmology at millimetre wavelengths, Cervinia (Italy), July 9-12, 2001*.
18. **Lestrade, J.-F.** (2004). Ionospheric and Tropospheric Phase Calibration in VLBI. In Montovani, F. and Kus, A., editors, *NATO school on The Role of VLBI in Astrophysics, Astrometry and Geodesy, NATO Science Series held at San Pietro di Castello (Italy) in september 2001*, volume 135, pages 383-401. Kluwer.
19. **Spielfiedel, A.** Ab initio Calculations of Electronic Transition Moments for Excited States of H<sub>2</sub>. In *Workshop Excited States of Small Molecules, February 07, Orsay 2001, Laboratoire Aimé Cotton*.
20. **Tchang-Brillet, W.-U. L.** Survey of recent laboratory studies of multiply charged ion spectra using High Resolution VUV spectrographs. In *7th Int. Colloquium on Atomic Spectra and Oscillator strengths, Belfast, Irlande du Nord, 5-9 Ao<sup>t</sup> 2001*.
21. Wiklind, T. and **Combes, F.** (2001). Time Delay of PKS 1830-211 Using Molecular Absorption Lines. In *ASP Conf. Ser. 237: Gravitational Lensing: Recent Progress and Future Go*, pages 155-+.
22. Wilgenbus, D., **Cabrit, S.**, Pineau Des For<sup>^</sup> ets, G., and Flower, D. (2001). The Ortho/Para Ratio in C and J-type Shocks. In *Molecular Hydrogen in Space*, pages 123-+.

### 9.1.2.4 Livres, Catalogues, Communications sans actes et Divers

1. Bontemps, S., Andre, P., Kaas, A. A., Nordh, L., Olofsson, G., Hultgren, M., Abergel, A., Blommaert, J., Boulanger, F., Burgdorf, M., Cesarsky, C. J., Cesarsky, D., Copet, E., Davies, J., **Falgarone, E.**, Lagache, G., Montmerle, T., **Pèrault, M.**, Persi, P., Prusti, T., Puget, J. L., and Sibille, F. (2001). ISOCAM observations of the rho Ophiuchi cloud (Bontemps+, 2001). Catalogue VizierR.
2. **Bordé, C. J.**, Bouyer, P., Clairon, A., Dimarcq, N., Featonby, P., Fils, J., Holleville, D., Landragin, A., and Salomon, C. (2001). Gyromètre à ondes de matière, brevet d'invention No 0108112 déposé le 20 Juin 2001.
3. **Boussaha, F.**, **Delorme, Y.**, **Lecomte, B.**, **Dauplay, F.**, Thevenet, V., and **Salez, M.** (2001). Parallel arrays of superconducting tunnel junctions optimized for wide B and submillimeter reception.
4. Buesch, N., **Casoli, F.** (2001). "L'astronomie", Larousse jeunesse
5. **Casoli, F.** (2001). *Graines de sciences 3*, chapter les mouvements de la Terre. Editions du Pommier.
6. **Casoli, F.** (2001) "L'astronomie", La documentation par l'image, Nathan
7. Czoske, O., Kneib, J.-P., Soucail, G., Bridges, T. J., **Mellier, Y.**, and Cuillandre, J.-C. (2001). Spectroscopic Survey of Cl 0024+1654 (Czoske+, 2001). Catalogue VizierR.
8. **Le Bertre, T.**, Matsuura, M., Winters, J. M., Murakami, H., Yamamura, I., Freund, M., and Tanaka, M. (2001). Galactic mass-losing AGB stars (Le Bertre+, 2001). Catalogue VizierR.
9. **Leach, S.** (2001). De la chimie du milieu interstellaire à la Nébuleuse protostellaire.
10. **Prigent-Benoit, C.** (2001). Radiométrie microonde pour la télédétection de l'atmosphère et de la surface terrestre. Habilitation à Diriger des Recherches.
11. Rollinde, E., **Petitjean, P.**, and Pichon, C. (2001). Inversion of the HE 1122-1648 UVES spectrum (Rollinde+ 2001). Catalogue VizierR.
12. Rousseau, J., Paturel, G., Vauglin, I., Schroeder, A., de Batz, B., Borsenberger, J., Epchtein, N., Fouque, P., Kimeswenger, S., Lacombe, F., **Le Bertre, T.**, Mamon, G., Rouan, D., Simon, G., and Tiphene, D. (2001). DENIS galaxies around 16h15m -30deg (Rousseau+, 2000). Catalogue VizierR.

## Liste de publications

13. **Sanchez, N. G.** (2001) "Current Topics in Astrofundamental Physics: The Cosmic Microwave Background". Proceedings of the 7th Chalonge School. Editor N. G. Sanchez, Kluwer Pub. NATO Science Series vol 562 (2001)
14. **Sanchez, N. G.** (2001) "Phase Transitions in the Early Universe: Theory and Observations", Proceedings of the 8th Chalonge School, NATO ASI: Editors N.G. Sanchez, H. J. de Vega, I. M. Khalatnikov, Kluwer Pub, NATO Science Series vol 40 (2001)

### 9.1.3 Année 2002

#### 9.1.3.1 Articles publiés dans des revues à comité de lecture

1. Abergel, A., Bernard, J. P., Boulanger, F., Cesarsky, D., Falgarone, E., Jones, A., **Miville-Deschênes, M.-A., Pérault, M.**, Puget, J.-L., Hultgren, M., Kaas, A. A., Nordh, L., Olofsson, G., André, P., Bontemps, S., Casali, M. M., Cesarsky, C. J., Copet, M. E., Davies, J., Montmerle, T., Persi, P., and Sibille, F. (2002). Evolution of very small particles in the southern part of Orion B observed by ISOCAM. *A&A*, 389:239-251.
2. Alton, P. B., Bianchi, S., Richer, J., Pierce-Price, D., and Combes, F. (2002). Mapping the submillimeter spiral wave in NGC 6946. *A&A*, 388:446-457.
3. Appleton, P. N., Charmandaris, V., Gao, Y., **Combes, F.**, Ghigo, F., Horellou, C., and Mirabel, I. F. (2002). Mid-Infrared and CO Observations of the Infrared/X-Ray Luminous Seyfert 1 Galaxy NGC 985: The Making or Breaking of a ULIRG? *ApJ*, 566:682-698.
4. Aracil, B., **Petitjean, P.**, Smette, A., Surdej, J., Mückel, J. P., and Cristiani, S. (2002). HST STIS observations of four QSO pairs. *A&A*, 391:1-12.
5. Athreya, R. M., **Mellier, Y.**, van Waerbeke, L., Pelló, R., Fort, B., and **Dantel-Fort, M.** (2002). Weak lensing analysis of MS 1008-1224 with the VLT. *A&A*, 384:743-762.
6. Barbachoux, C. and Fabbri, A. (2002). Semiclassical zero temperature black holes in spherically reduced theories. *Phys. Rev. D*, 66(2):024012-+.
7. Barbachoux, C., **Gariel, J.**, Marcihacy, G., **Santos, N. O.**, and Ferrari, V. (2002). Reduction of the Geometrical Mass of the Reissner-Nordström Spacetime. *International Journal of Modern Physics D*, 11:1255-1263.
8. Benoît, A., Ade, P., Amblard, A., Ansari, R., Aubourg, E., Bartlett, J., Bernard, J.-P., Bhatia, R. S., Blanchard, A., Bock, J. J., Boscaleri, A., Bouchet, F. R., Bourrachot, A., Camus, P., Couchot, F., de Bernardis, P., Delabrouille, J., Désert, F.-X., Doré, O., Douspis, M., Dumoulin, L., Dupac, X., Filliatre, P., Ganga, K., Gannaway, F., Gautier, B., Giard, M., Giraud-Héraud, Y., Gispert, R., Guglielmi, L., Hamilton, J.-C., Hanany, S., Henrot-Versillé, S., Hristov, V. V., Kaplan, J., Lagache, G., **Lamarre, J.-M.**, Lange, A. E., Madet, K., Maffei, B., Marrone, D., Masi, S., Murphy, J. A., Naraghi, F., Nati, F., Perrin, G., Piat, M., Puget, J.-L., Santos, D., Sudiwala, R. V., Vanel, J.-C., Vibert, D., Wakui, E., and Yvon, D. (2002). Archeops: a high resolution, large sky coverage balloon experiment for mapping cosmic microwave background anisotropies. *Astroparticle Physics*, 17:101-124.
9. Bergeron, J., Aracil, B., **Petitjean, P.**, and Pichon, C. (2002). The warm-hot intergalactic medium at  $z \sim 2.2$ : Metal enrichment and ionization source. *A&A*, 396:L11-L15.
10. Bernardeau, F., **Mellier, Y.**, and van Waerbeke, L. (2002). Detection of non-Gaussian signatures in the VIRMOS-DESCART lensing survey. *A&A*, 389:L28-L32.
11. Block, D. L., **Bournaud, F.**, **Combes, F.**, Puerari, I., and Buta, R. (2002). Gravitational torques in spiral galaxies: Gas accretion as a driving mechanism of galactic evolution. *A&A*, 394:L35-L38.
12. **Bommier, V.** and Molodij, G. (2002a). Some THÉMIS-MTR observations of the second solar spectrum. *Nuovo Cimento C Geophysics Space Physics C*, 25:803-+.

## Liste de publications

13. **Bommier, V.** and Molodij, G. (2002b). Some THEMIS-MTR observations of the second solar spectrum (2000 campaign). *A&A*, 381:241-252.
14. **Bommier, V.** and Rayrole, J. (2002). Search for polarimetric sensitivity in the first observations with THEMIS spectropolarimetric mode MTR (August 1998 campaign). *A&A*, 381:227-240.
15. **Boone, F.** (2002). Interferometric array design: Distributions of Fourier samples for imaging. *A&A*, 386:1160-1171.
16. **Bordé, C. J.** (2002). Atomic clocks and inertial sensors. *Metrologia*, 39:435-463.
17. Boselli, A., Gavazzi, G., **Lequeux, J.**, and Pierini, D. (2002a). [CII] at 158  $\mu$  m as a star formation tracer in late-type galaxies. *A&A*, 385:454-463.
18. Boselli, A., **Lequeux, J.**, and Gavazzi, G. (2002b). Molecular gas in normal late-type galaxies. *A&A*, 384:33-47.
19. Boselli, A., **Lequeux, J.**, and Gavazzi, G. (2002c). The CO to H<sub>2</sub> Conversion Factor in Normal Late-Type Galaxies. *Ap&SS*, 281:127-128.
20. **Bournaud, F.** and **Combes, F.** (2002). Gas accretion on spiral galaxies: Bar formation and renewal. *A&A*, 392:83-102.
21. Caux, E., Ceccarelli, C., **Pagani, L.**, Maret, S., Castets, A., and Pardo, J. R. (2002). HD 112  $\mu$  m in absorption and extreme CO depletion in a cold molecular cloud. *A&A*, 383:L9-L13.
22. Chagnon, G., Mennesson, B., Perrin, G., Coudé du Foresto, V., Salomé, P., Bordé, P., Lacasse, M., and Traub, W. (2002). L'-Band Interferometric Observations of Evolved Stars. *AJ*, 124:2821-2832.
23. Churilov, S. S., Ryabtsev, A. N., **Tchang-Brillet, W.-U. L.**, and Wyart, J.-F. (2002a). Analysis of the Spectra of Pd-like Ions from Xe IX Through Ce XIII. *Phys. Scr*, 66:293-307.
24. Churilov, S. S., Ryabtsev, A. N., **Tchang-Brillet, W.-U. L.**, and Wyart, J.-F. (2002b). Spectroscopy of Pd-like Ions. *Physica Scripta Volume T*, 100:98-103.
25. **Combes, F.** (2002a). Book Review: Molecular hydrogen in space / eds.: F. Combes, G. Pineau des Forêts. Cambridge University Press, XIX+326 pp., 2000, ISBN 0-521-78224-4. *Orion*, 310:41-+.
26. **Combes, F.** (2002b). Properties of dark matter haloes. *New Astronomy Review*, 46:755-766.
27. **Combes, F.** and **Melchior, A.-L.** (2002). Chemodynamical evolution of interacting galaxies. *Ap&SS*, 281:383-387.
28. da Silva, M. F. A., Herrera, L., **Santos, N. O.**, and Wang, A. Z. (2002). Rotating cylindrical shell source for Lewis spacetime. *Classical and Quantum Gravity*, 19:3809-3819.
29. De Petris, M., D'Alba, L., Lamagna, L., Melchiorri, F., Orlando, A., Palladino, E., Rephaeli, Y., Colafrancesco, S., Kreysa, E., and **Signore, M.** (2002). MITO Measurements of the Sunyaev-Zeldovich Effect in the Coma Cluster of Galaxies. *ApJ*, 574:L119-L122.
30. de Vega, H. J. and **Sanchez, N. G.** (2002a). Statistical mechanics of the self-gravitating gas: I. Thermodynamic limit and phase diagrams. *Nuclear Physics B*, 625:409-459.
31. de Vega, H. J. and **Sanchez, N. G.** (2002b). Statistical mechanics of the self-gravitating gas: II. Local physical magnitudes and fractal structures. *Nuclear Physics B*, 625:460-494.
32. Dimitrijevic, M. S., Dacic, M., Cvetkovic, Z., and **Sahal-Bréchet, S.** (2002). Stark broadening parameter tables for Be III. *Serbian Astronomical Journal*, 165:67-+.
33. Dimitrijevic, M. S. and **Sahal-Bréchet, S.** (2002). Stark Broadening of In II Spectral Lines. *Phys. Scr*, 65:83-95.

## Liste de publications

34. D'Odorico, V., **Petitjean, P.**, and Cristiani, S. (2002). High matter density peaks from UVES observations of QSO pairs: Correlation properties and chemical abundances. *A&A*, 390:13-25.
35. **Dubernet, M.-L.** and Grosjean, A. (2002). Collisional excitation rates of H<sub>2</sub>O with H<sub>2</sub>. I. Pure rotational excitation rates with para-H<sub>2</sub> at very low temperature. *A&A*, 390:793-800.
36. Dupac, X., Giard, M., Bernard, J.-P., Boudet, N., **Lamarre, J.-M.**, Mény, C., Pajot, F., Pointecouteau, E., Ristorcelli, I., Serra, G., Stepnik, B., and Torre, J.-P. (2002). Submillimeter dust emission of the M 17 complex measured with PRONAOS. *A&A*, 392:691-698.
37. Fich, M., Curry, C. L., **Pagani, L.**, and ODIN Team (2002). The Search for O<sub>2</sub> with the Odin Satellite. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 34:1229-+.
38. Garay, G., Johansson, L. E. B., Nyman, L. -Å., Booth, R. S., Israel, F. P., Kutner, M. L., **Lequeux, J.**, and Rubio, M. (2002). Results of the SEST Key Programme: CO in the Magellanic Clouds. VIII. The giant molecular complex No. 37 of the LMC. *A&A*, 389:977-992.
39. **Gariel, J.**, Marcilhacy, G., and **Santos, N. O.** (2002a). Some axisymmetric stationary solutions generated by the euclidon method. *General Relativity and Gravitation*, 8:209-212.
40. **Gariel, J.**, Marcilhacy, G., and **Santos, N. O.** (2002b). Some properties of a solution of the Ernst equation . *Classical and Quantum Gravity*, 19:2157-2169.
41. Gague, A., Ulysse, C., Adam, A., **Beaudin, G.**, and Kreisler, A. (2002). High-T<sub>c</sub> hot electron superconducting bolometer for terahertz applications. *Physica C Superconductivity*, 372:383-386.
42. Gautier, D., **Gerin, M.**, and Roueff, E. (2002). Special issue on Deuterium in the Universe. *Planet. Space Sci.*, 50:1123-1123.
43. Gry, C., Boulanger, F., Nehmé, C., Pineau des Forêts, G., Habart, E., and **Falgarone, E.** (2002). H<sub>2</sub> formation and excitation in the diffuse interstellar medium. *A&A*, 391:675-680.
44. Hamana, T., Colombi, S. T., Thion, A., Devriendt, J. E. G. T., **Mellier, Y.**, and Bernardeau, F. (2002). Source-lens clustering effects on the skewness of the lensing convergence. *MNRAS*, 330:365-377.
45. Hébrard, G., **Allard, N. F.**, Chayer, P., Dupuis, J., Kruk, J. W., and Kielkopf, J. (2002a). Quasi-molecular satellites of Lyman lines observed in the spectra of white dwarfs. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 34:1300-+.
46. Hébrard, G., **Allard, N. F.**, Hubeny, I., Lacour, S., Ferlet, R., and Vidal-Madjar, A. (2002b). Quasi-molecular lines in Lyman wings of cool DA white dwarfs. Application to FUSE observations of G 231-40. *A&A*, 394:647-651.
47. Herrera, L., Barreto, W., di Prisco, A., and **Santos, N. O.** (2002). Relativistic gravitational collapse in noncomoving coordinates: The post-quasistatic approximation. *Phys. Rev. D*, 65(10):104004-+.
48. Heupel, T., Mei, M., Niering, M., Gross, B., Weitz, M., Hänsch, T. W., and **Bordé, C. J.** (2002). Hydrogen atom interferometer with short light pulses. *Europhysics Letters*, 57:158-163.
49. **Heydari-Malayeri, M.**, Charmandaris, V., Deharveng, L., **Meynadier, F.**, Rosa, M. R., Schaerer, D., and Zinnecker, H. (2002a). Resolving the compact H II regions in N160A with HST. *A&A*, 381:941-950.
50. **Heydari-Malayeri, M.**, Rosa, M. R., Schaerer, D., Martins, F., and Charmandaris, V. (2002b). STIS spectroscopy of newborn massive stars in SMC N81. *A&A*, 381:951-958.
51. Hoekstra, H., van Waerbeke, L., Gladders, M. D., **Mellier, Y.**, and Yee, H. K. C. (2002). Weak Lensing Study of Galaxy Biasing. *ApJ*, 577:604-614.
52. Idiart, T. P., **Michard, R.**, and de Freitas Pacheco, J. A. (2002). New UBVRi colour distributions in E-type galaxies . I. The data. *A&A*, 383:30-45.

## Liste de publications

53. Ivanchik, A. V., Rodriguez, E., **Petitjean, P.**, and Varshalovich, D. A. (2002). Do the Fundamental Constants Vary in the Course of Cosmological Evolution? *Astronomy Letters*, 28:423-427.
54. Kalus, G., Litzén, U., **Launay, F.**, and Tchang-Brillet, W.-\| U. L. (2002). Revised and Extended Analysis of the Ag II Spectrum and Term System. *Phys. Scr*, 65:46-55.
55. Kerkeni, B. and **Bommier, V.** (2002). Theoretical study of the collisional depolarization and of the Hanle effect in the Na I D<sub>2</sub> line observed on the solar limb. *A&A*, 394:707-715.
56. Kielkopf, J. F., **Allard, N. F.**, and Decret, A. (2002). Study of the far wing of the Balmer  $\alpha$  line of hydrogen perturbed by collisions with protons . Balmer  $\alpha$ . *European Physical Journal D*, 18:51-59.
57. Lazareff, B., Billon-Pierron, D., Navarrini, A., and **Péron, I.** (2002). Design and characterization of 225-370GHz DSB and 247-360GHz SSB full height waveguide SIS mixers. *Journal de Physique IV*, 12:161-164.
58. Le Bourlot, J., Pineau des Forêts, G., Flower, D. R., and Cabrit, S. (2002). New determinations of the critical velocities of C-type shock waves in dense molecular clouds: application to the outflow source in Orion. *MNRAS*, 332:985-993.
59. Lebzelter, T., Schultheis, M., and **Melchior, A.-L.** (2002). AGAPEROS: Searching for variable stars in the LMC Bar. II. Temporal and near-IR analysis of Long-Period Variables. *A&A*, 393:573-583.
60. Ledoux, C., Bergeron, J., and **Petitjean, P.** (2002a). Dust depletion and abundance pattern in damped Ly  $\alpha$  systems: A sample of Mn and Ti abundances at  $z < 2.2$ . *A&A*, 385:802-815.
61. Ledoux, C., Srianand, R., and **Petitjean, P.** (2002b). Detection of molecular hydrogen in a near Solar-metallicity damped Lyman-alpha system at  $z_{\text{abs}} \sim 2$  toward Q 0551-366  $\sim 2$ . *A&A*, 392:781-789.
62. Ledoux, C., Srianand, R., and **Petitjean, P.** (2002c). Erratum: Detection of molecular hydrogen in a near Solar-metallicity damped Lyman-alpha system at  $z_{\text{abs}} \sim 2$  toward Q 0551-366  $\sim 2$ . *A&A*, 396:429-+.
63. Lefloch, B., Cernicharo, J., Rodríguez, L. F., **Miville-Deschênes, M. -A.**, Cesarsky, D., and Heras, A. (2002). The Photoionization of a Star-forming Core in the Trifid Nebula. *ApJ*, 581:335-356.
64. Lewis, G. F., Ibata, R. A., Ellison, S. L., Aracil, B., Petitjean, P., Pettini, M., and Srianand, R. (2002). Spatially resolved STIS spectra of the gravitationally lensed broad absorption line quasar APM08279+5255: the nature of component C and evidence for microlensing. *MNRAS*, 334:L7-L10.
65. Lis, D. C., **Gerin, M.**, Phillips, T. G., and Motte, F. (2002a). The Role of Outflows and C Shocks in the Strong Deuteration of L1689N. *ApJ*, 569:322-333.
66. Lis, D. C., Roueff, E., **Gerin, M.**, Phillips, T. G., Coudert, L. H., van der Tak, F. F. S., and Schilke, P. (2002b). Detection of Triply Deuterated Ammonia in the Barnard 1 Cloud. *ApJ*, 571:L55-L58.
67. Melchiorri, B., Melchiorri, F., and **Signore, M.** (2002). The dipole anisotropy of the cosmic microwave background radiation. *New Astronomy Review*, 46:693-698.
68. **Mellier, Y.** (2002). Dark Matter from Weak Gravitational Lensing. *Space Science Reviews*, 100:73-87.
69. **Mellier, Y.** and van Waerbeke, L. (2002). Cosmological weak lensing . *Classical and Quantum Gravity*, 19:3505-3515.
70. Mennesson, B., Perrin, G., Chagnon, G., Foresto, V. C. d., Ridgway, S., Merand, A., **Salome, P.**, Borde, P., Cotton, W., Morel, S., Kervella, P., Traub, W., and Lacasse, M. (2002). Evidence for Very Extended Gaseous Layers around O-rich Mira Variables and M Giants. *ApJ*, 579:446-454.
71. **Michard, R.** (2002). PSF far wings and red halo in the photometry of galaxies. One more source of errors. *A&A*, 384:763-771.

## Liste de publications

72. **Miville-Deschênes, M.-A.**, Boulanger, F., Joncas, G., and Falgarone, E. (2002a). ISOCAM observations of the Ursa Major cirrus: Evidence for large abundance variations of small dust grains. *A&A*, 381:209-218.
73. **Miville-Deschênes, M.-A.**, Lagache, G., and Puget, J.-L. (2002b). Power spectrum of the cosmic infrared background at 60 and 100  $\mu$  m with IRAS. *A&A*, 393:749-756.
74. **Pagani, L.**, Gallego, A. T., and Apponi, A. J. (2002). On the frequency of the CS ( $J: 2^{-1}$ ) and ( $J: 5^{-4}$ ) transitions. *A&A*, 381:1094+.
75. Parise, B., Ceccarelli, C., Tielens, A. G. G. M., Herbst, E., Lefloch, B., Caux, E., Castets, A., Mukhopadhyay, I., **Pagani, L.**, and Loinard, L. (2002). Detection of doubly-deuterated methanol in the solar-type protostar IRAS 16293-2422. *A&A*, 393:L49-L53.
76. Paulin-Henriksson, S., Baillon, P., Bouquet, A., Carr, B. J., Crézé, M., Evans, N. W., Giraud-Héraud, Y., Gould, A., Hewett, P., Kaplan, J., Kerins, E., Lastennet, E., Le Du, Y., **Melchior, A.-L.**, Smartt, S. J., and Valls-Gabaud, D. (2002). A Candidate M31/M32 Intergalactic Microlensing Event. *ApJ*, 576:L121-L124.
77. Pen, U., Van Waerbeke, L., and **Mellier, Y.** (2002). Gravity and Nongravity Modes in the VIRMOS-DESCART Weak-Lensing Survey. *ApJ*, 567:31-36.
78. **Péron, I.**, Faury, G., **Delorme, Y.**, **Dauplay, F.**, **Lecomte, B.**, **Salez, M.**, and Schuster, K.-F. (2002). Investigation of radiation hardness of SIS junctions for space borne radio astronomy. *Journal de Physique IV*, 12:169-172.
79. Péroux, C., **Petitjean, P.**, Aracil, B., and Srianand, R. (2002). A new measurement of zinc metallicity in a DLA at  $z \sim 3.35$ . *New Astronomy*, 7:577-586.
80. **Petitjean, P.** (2002). Molecular Hydrogen in high redshift Damped Lyman- $\alpha$  systems. *Ap&SS*, 281:467-470.
81. **Petitjean, P.**, Srianand, R., and Ledoux, C. (2002). Molecular hydrogen at  $z_{\text{abs}} = 1.973$  toward Q0013-004: dust depletion pattern in damped Lyman  $\alpha$  systems. *MNRAS*, 332:383-391.
82. Pettini, M., Ellison, S. L., Bergeron, J., and **Petitjean, P.** (2002). The abundances of nitrogen and oxygen in damped Lyman alpha systems. *A&A*, 391:21-34.
83. Phillips, S. (2002). Book Review: Galaxies and cosmology. - 2nd ed. / Springer, 2002. *The Observatory*, 122:227+.
84. Puy, D. and **Signore, M.** (2002). From nuclei to atoms and molecules: the chemical history of the early Universe. *New Astronomy Review*, 46:709-723.
85. Ransom, R. R., Bartel, N., Bietenholz, M. F., Lebach, D. E., Ratner, M. I., Shapiro, I. I., and **Lestrade, J.-F.** (2002). Possible Corotation of the Milliarcsecond Radio Structure of the Close Binary HR 1099. *ApJ*, 572:487-502.
86. Raouafi, N.-E., **Sahal-Bréchet, S.**, and Lemaire, P. (2002a). Linear polarization of the O VI lambda 1031.92 coronal line. II. Constraints on the magnetic field and the solar wind velocity field vectors in the coronal polar holes. *A&A*, 396:1019-1028.
87. Raouafi, N.-E., **Sahal-Bréchet, S.**, Lemaire, P., and **Bommier, V.** (2002b). Linear polarization of the O VI lambda 1031.92 coronal line. I. Constraints on the solar wind velocity field vector in the polar holes. *A&A*, 390:691-706.
88. Reshetnikov, V., Battaner, E., **Combes, F.**, and Jiménez-Vicente, J. (2002). Statistics of galaxy warps in the HDF North and South. *A&A*, 382:513-521.
89. Ridal, M., Murtagh, D. P., Merino, F., Pardo, J. R., and **Pagani, L.** (2002). Microwave temperature and pressure measurements with the Odin satellite: II. Retrieval method. *Canadian Journal of Physics*, 80:455+.

## Liste de publications

90. Rodriguez, S., Paillou, P., Dobrijevic, M., Ruffie, G., Coll, P., Bernard, J. M., and **Encrenaz, P.** (2002). Impact of aerosols present in Titan's atmosphere on The Cassini Radar experiment. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 34:879-+.
91. Scannapieco, E., **Petitjean, P.**, and Broadhurst, T. (2002). The emptiest places. *Scientific American*, 287:32-39.
92. Schneider, P., van Waerbeke, L., Kilbinger, M., and **Mellier, Y.** (2002a). Analysis of two-point statistics of cosmic shear. I. Estimators and covariances. *A&A*, 396:1-19.
93. Schneider, P., van Waerbeke, L., and **Mellier, Y.** (2002b). B-modes in cosmic shear from source redshift clustering. *A&A*, 389:729-741.
94. Schwell, M., **Dulieu, F.**, Jochims, H.-W., **Fillion, J.-H.**, **Lemaire, J.-L.**, Baumgärtel, H., and Leach, S. (2002). Photophysical Studies of Formic Acid in the Vacuum UV: Fragmentation, Fluorescence, and Ionization in the 6-23 eV Photon Energy Range. *J. Phys. Chem. A*, 106:10908.
95. **Semelin, B.** and **Combes, F.** (2002a). Dynamical friction on cold fractal gas clouds. Applications to disc formation. *A&A*, 387:98-107.
96. **Semelin, B.** and **Combes, F.** (2002b). Formation and evolution of galactic disks with a multiphase numerical model. *A&A*, 388:826-841.
97. Serra, G., Giard, M., Bouchou, F., Dupac, X., Gabarrot, F., Meny, C., Ristorcelli, I., **Lamarre, J.-M.**, Bernard, J.-P., Pajot, F., Stepnick, B., and Torre, J. P. (2002). PRONAOS : a two meter submillimeter balloon borne telescope. *Advances in Space Research*, 30:1297-1305.
98. Sinanian, A., Kunth, D., **Lequeux, J.**, Comte, G., and Petrosian, A. (2002). H<sub>gamma</sub> and H<sub>delta</sub> absorption lines and the Initial Mass Function in extragalactic star forming regions. I. Data. *A&A*, 390:47-58.
99. Srikanand, R., **Petitjean, P.**, Ledoux, C., and Hazard, C. (2002). A collimated flow driven by radiative pressure from the nucleus of quasar Q1511 + 091. *MNRAS*, 336:753-758.
100. **Tchang-Brillet, W.-U. L.** and Azarov, V. I. (2002). Recent Laboratory Studies of Multiply Charged Ion Spectra Using High Resolution VUV Spectrographs. *Physica Scripta Volume T*, 100:104-113.
101. Teyssier, D., **Hennebelle, P.**, and **Pérault, M.** (2002). Radio-millimetre investigation of galactic infrared dark clouds. *A&A*, 382:624-638.
102. Tzortzakis, S., Méchain, G., Patalano, G., André, Y.-B., Prade, B., Franco, M., Mysyrowicz, A., **Munier, J.-M.**, **Gheudin, M.**, **Beaudin, G.**, and **Encrenaz, P.** (2002). Coherent subterahertz radiation from femtosecond infrared filaments in air. *Optics Letters*, 27:1944-1946.
103. van der Tak, F. F. S., Schilke, P., Müller, H. S. P., Lis, D. C., Phillips, T. G., **Gerin, M.**, and Roueff, E. (2002). Triply deuterated ammonia in NGC 1333. *A&A*, 388:L53-L56.
104. van Driel, W., **Combes, F.**, Arnaboldi, M., and Sparke, L. S. (2002). A neutral hydrogen survey of polar ring galaxies. IV. Parkes observations. *A&A*, 386:140-148.
105. Van Waerbeke, L., **Mellier, Y.**, Pelló, R., Pen, U.-L., McCracken, H. J., and Jain, B. (2002). Likelihood analysis of cosmic shear on simulated and VIRMOS-DESCART data. *A&A*, 393:369-379.
106. Vanzella, E., Cristiani, S., Arnouts, S., Dennefeld, M., Fontana, A., Grazian, A., Nonino, M., **Petitjean, P.**, and Saracco, P. (2002). A VLT/FORS2 spectroscopic survey in the HDF-S. *A&A*, 396:847-855.
107. Vauglin, I., Rousseau, J., Paturel, G., Borsenberger, J., Epchtein, N., Fouqué, P., Kimeswenger, S., **Le Bertre, T.**, and Mamon, G. A. (2002). Serendipitous detection of galaxies behind the Milky Way from the DENIS survey. *A&A*, 387:1-7.
108. Winters, J. M., **Le Bertre, T.**, Nyman, L.-Å., Omont, A., and Jeong, K. S. (2002). The hydrodynamical structure of circumstellar envelopes around low mass-loss rate, low outflow velocity AGB stars. *A&A*, 388:609-614.

## Liste de publications

### 9.1.3.2 Actes de colloques

1. Abergel, A., Bernard, J. P., Boulanger, F., Cesarsky, D., Jones, A. P., Puget, J.-L., **Miville-Deschênes, M.-A.**, Nordh, L., Olofsson, G., Kaas, A. A., Hultgren, M., **Falgarone, E.**, **Pérault, M.**, André, P., Montmerle, T., Cesarsky, C. J., Persi, P., Bontemps, S., Sibille, F., and Casali, M. M. (2002). The evolution of very small dust particles in molecular clouds observed with ISOCAM. In Giard, M., Bernanrd, J., Klotz, A., and Ristorcelli, I., editors, *Proceedings of Infrared and Submillimeter Space Astronomy*, volume 4, pages 79-83. EAS, EAS Publications Series. held 11-13 June, 2001.
2. Aracil, B., **Petitjean, P.**, Smette, A., Surdej, J., Mucket, J. P., and Cristiani, S. (2002). Extension of Lyman-alpha Complexes from HST Observations of Four Pairs of Quasars. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 37-+.
3. Bacon, R., Adam, G., **Cabrit, S.**, **Combes, F.**, Davies, R. L., Emsellem, E., Ferruit, P., Franx, M., Gilmore, G., Guiderdoni, B., Lefèvre, O., Morris, S., Pécontal, E., Prieto, E., Sharples, R., van der Werf, P., and de Zeeuw, P. T. (2002). IGER Bacon R., et al., 1995, A&AS, 113, 347. In *Scientific Drivers for ESO Future VLT/VLTI Instrumentation Proceedings of the ESO Workshop held in Garching, Germany, 11-15 June, 2001*. p. 108., pages 108-+.
4. **Balanca, C.** and **Feautrier, N.** (2002). Polarization and collisions in the solar atmosphere. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 121-+.
5. **Baouche, S.**, **Fillion, J.-H.**, **Dulieu, F.**, **Callejo, G.**, and Lemaire, J.-L. (2002). Probing the H<sub>2</sub> formation on the surface of grains in the laboratory, in connection with observations of H<sub>2</sub> emission in the interstellar medium. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 23-+.
6. Barbier, B., Coll, P., Cottin, H., **Leach, S.**, Maurel, M.-C., Raulin, F., Tepfer, D., and Brack, A. (2002). The AMINO experiment on expose. In *ESA SP-518: Exo-Astrobiology*, pages 59-+.
7. Bernard, J.-P., Ristorcelli, I., Armengaud, M., Crussaire, J. P., Giard, M., Lagache, G., **Lamarre, J.-M.**, Leriche, B., Longval, Y., Meny, C., Stepnik, B., and Torre, J.-P. (2002a). ELISA, a Small Experiment For a Large Sub-millimeter Survey. In Giard, M., Bernard, J.-P., Klotz, A., and Ristorcelli, I., editors, *Proceedings of Infrared and Submillimeter Space Astronomy*, volume 4, pages 245-245. EAS, EAS Publications Series. held 11-13 June, 2001.
8. Bernard, J.-P., Ristorcelli, I., Stepnik, B., Abergel, A., Boulanger, F., Giard, M., Lagache, G., **Lamarre, J.-M.**, Meny, C., Torre, J. P., Armengaud, M., Crussaire, J. P., Leriche, B., and Longval, Y. (2002b). ELISA: A small balloon Experiment for a Large Scale Survey in the Sub-millimeter. In *AIP Conf. Proc. 609: Astrophysical Polarized Backgrounds*, pages 129-134.
9. **Bertin, E.**, **Mellier, Y.**, Radovich, M., Missonnier, G., Didelon, P., and Morin, B. (2002). The TERAPIX Pipeline. In *ASP Conf. Ser. 281: Astronomical Data Analysis Software and Systems XI*, pages 228-+.
10. **Bommier, V.** and Kerkeni, B. (2002). Theoretical study of the collisional depolarization and of the Hanle effect in the line Na I D2 observed on the solar limb. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 125-+.
11. **Bordé, C. J.** (2002a). Atomic Clocks and Atom Interferometry. In *Advances in the Interplay between Quantum and Gravity Physics, Proceedings of the NATO Advances Study Institute on Advances in the Interplay between Quantum and Gravity Physics, held in Erice, Italy, 30 April-10 May, 2001. Edited by Peter G. Bergmann and Venzo de Sabbata. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers*, pages 27-+.
12. **Bordé, C. J.** (2002b). Relativistic quantum theory of microwave and optical atomic clocks. In Gill, P., editor, *Frequency Standards and Metrology*, pages 18-25. World Scientific.
13. **Bordé, C. J.**, du Burck, F., and Goncharov, A. (2002). A new accurate fit of the hyperfine structure of molecular iodine. In Gill, P., editor, *Frequency Standards and Metrology*, pages 524-526. World Scientific.
14. Boselli, A., **Lequeux, J.**, and Gavazzi, G. (2002). The <sup>12</sup>CO(1-0) to H<sub>2</sub> conversion factor in normal late-type galaxies. In Giard, M., Bernanrd, J., Klotz, A., and Ristorcelli, I., editors, *Proceedings of*

## Liste de publications

- Infrared and Submillimeter Space Astronomy*, volume 4, pages 393-393. EAS, EAS Publications Series. held 11-13 June, 2001.
15. Bourdreux, S., **Allard, N. F.**, Kielkopf, J., Desert, J.-M., Hebrard, G., Hubeny, I., Peek, J., Ferlet, R., and Vidal-Madjar, A. (2002). Lyman gamma satellites due to H-H+ collisions: Application to FUSE observations of hot white dwarfs. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 509-+.
  16. **Bournaud, F.** and **Combes, F.** (2002). Polar Ring Galaxies: formation and properties. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 397-398.
  17. **Boussaha, F.**, **Delorme, Y.**, **Salez, M.**, Chung, M., **Dauplay, F.**, **Lecomte, B.**, Caputo, J.-G., and Thevenet, V. (2002). A superconductor parallel junction array mixer for very wide band heterodyne submillimeter-wave spectrometry. In Cent.Astroph., H.-S., editor, *13th Int.Symp.on Space THz Technology*, pages 291-297, Cambridge, Massachusetts, USA.
  18. **Combes, F.**, Garcia-Burillo, S., **Boone, F.**, Hunt, L. K., Leon, S., Eckart, A., Baker, A., Tacconi, L., Englmaier, P., Schinnerer, E., and Neri, R. (2002). Molecular gas in the 3-ringed Seyfert/Liner galaxy NGC 7217. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 399-+.
  19. **Combes, F.** and Leon, S. (2002). Molecular gas in the double-barred Seyfert 2 galaxy NGC 5728. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 403-+.
  20. Comito, C., Schilke, P., **Gerin, M.**, Phillips, T. G., Zmuidzinas, J., and Pineau Des Forêts, G. (2002). Deuterated Water in the Envelope of SgrB2. In *Chemistry as a Diagnostic of Star Formation*, pages 19-+.
  21. **Derouich, M.** and Sahal-Brechot, S. (2002). Semi-Classical theory of collisional depolarization of spectral lines by atomic hydrogen. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 139-+.
  22. Désert, F.-X., Benoît, A., Camus, P., Giard, M., Pointecouteau, E., Aghanim, N., Bernard, J.-P., Coron, N., Lamarre, J.-M., Marty, P., Delabrouille, J., and Soglasnova, V. (2002). The Diabolo photometer and the future of ground-based millimetric bolometer devices. In *AIP Conf. Proc. 616: Experimental Cosmology at Millimetre Wavelengths*, pages 116-122.
  23. Dougados, C., **Cabrit, S.**, and Lavalley-Fouquet, C. (2002). Probing the Origin of Mass Loss in T Tauri Stars. In *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series*, pages 43-48.
  24. **Encrenaz, P.** (2002). ODIN preliminary results, HERSHEL and other stories. In *AIP Conf. Proc. 616: Experimental Cosmology at Millimetre Wavelengths*, pages 202-204.
  25. **Falgarone, E.**, Pineau Des Forêts, G., **Hily-Blant, P.**, Schilke, P., and **Pety, J.** (2002). Non-equilibrium Chemistry in the Dissipative Structures of Interstellar Turbulence. In *Chemistry as a Diagnostic of Star Formation*, pages 42-+.
  26. Forget, F., **Beaudin, G.**, Encrenaz, A. D. P., **Gheudin, M.**, **Thomas, B.**, Capderou, M., Dassas, K., Ricaud, P., Urban, J., Gulkis, M.F. S., Janssen, M., Riley, L., Encrenaz, T., Lellouch, E., and Clancy, P. H. T. (2002). Microwave Sounding Of The Martian Atmosphere With Mambo. In *EGS XXVII General Assembly, Nice, 21-26 April 2002, abstract #4727*, volume 27, pages 4727-+.
  27. **Fossé, D.**, Teyssier, D., **Gerin, M.**, **Pety, J.**, Abergel, A., and Habart, E. (2002). Connection Between PAHs and Small Hydrocarbons in the Horsehead Nebula Photo-Dissociation Region. In *Chemistry as a Diagnostic of Star Formation*, pages 104-+.
  28. **Gerin, M.** (2002). Molecular lines from dark and diffuse clouds: What do they teach us? In *Chemistry as a Diagnostic of Star Formation*, pages 31-+.
  29. **Gerin, M.**, Phillips, T. G., and Contursi, A. (2002). Submillimeter C and CO Lines in Galaxies. In Giard, M., Bernard, J.-P., Klotz, A., and Ristorcelli, I., editors, *Proceedings of Infrared and Submillimeter Space Astronomy*, volume 4, pages 193-193. EAS, EAS Publications Series. held 11-13 June, 2001.

## Liste de publications

30. Gry, C., Boulanger, F., Nehme, C., Pineau Des Forêts, G., Habart, E., and **Falgarone, E.** (2002). H<sub>2</sub> Formation and Excitation in the Diffuse Interstellar Medium. In *Chemistry as a Diagnostic of Star Formation*, pages 77-+.
31. Hamidouche, M. A., **Lestrade, J.-F.**, and Cognard, I. (2002). The Turbulent Ionized Interstellar Medium Responsible for Extreme Scattering Events in Directions of Pulsars. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 29-+.
32. Hébrard, G., **Allard, N. F.**, Hubeny, I., Lacour, S., Ferlet, R., and Vidal-Madjar, A. (2002). Quasi-molecular lines in Lyman wings of cool DA white dwarfs: Application to FUSE observations of G231-40. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 527-+.
33. **Hennebelle, P.**, **Pérault, M.**, and **Miville-Deschênes, M.-A.** (2002a). Condensation Induced Dynamically in the Warm Neutral Medium-Detection of Thermally Unstable Gas from Analysis of H I Spectra? In *ASP Conf. Ser. 276: Seeing Through the Dust: The Detection of HI and the Exploration of the ISM in Galaxies*, pages 264-+.
34. **Hennebelle, P.**, **Pérault, M.**, and Teyssier, D. (2002b). Mid-IR Characterisation of Condensed Cores in Galactic GMC's (IR dark clouds of the ISO GAL project). In Giard, M., Bernard, J.-P., Klotz, A., and Ristorcelli, I., editors, *Proceedings of Infrared and Submillimeter Space Astronomy*, volume 4, pages 327-327. EAS, EAS Publications Series. held 11-13 June, 2001.
35. **Heydari-Malayeri, M.**, Charmandaris, V., Deharveng, L., **Meynadier, F.**, Rosa, M. R., Schaerer, D., and Zinnecker, H. (2002). Unveiling the properties of low metallicity massive young star clusters. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 529-+.
36. Horellou, C., Black, J. H., van Gorkom, J. H., **Combes, F.**, van der Hulst, J. M., and Charmandaris, V. (2002). Gas in the Merger Galaxy NGC 1316 (Fornax A). In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 415-+.
37. Kielkopf, J. F. and **Allard, N. F.** (2002). Balmer  $\alpha$  and Lyman  $\beta$  Emitted by a Laser-Produced Plasma. In *AIP Conf. Proc. 645: Spectral Line Shapes*, pages 310-317.
38. Lamagna, L., de Petris, M., D'Alba, L., Orlando, A., Savini, G., Melchiorri, F., Rephaeli, Y., Colafrancesco, S., **Signore, M.**, Kreysa, E., and Castagnoli, C. (2002). MITO measurements of the S-Z effect in the Coma cluster. In *The Ninth Marcel Grossmann Meeting*, pages 2199-+.
39. **Lamarre, J.-M.**, Maffei, B., Ade, P. A. R., Piat, M., Bock, J., Puget, J.-L., de Bernardis, P., Giard, M., Lange, A., Murphy, A., Torre, J. P., Benoît, A., Bhatia, R., Bouchet, F. R., Sudiwala, R., and Yourchenko, V. (2002). The high frequency instrument of Planck: Requirements and design. In *AIP Conf. Proc. 616: Experimental Cosmology at Millimetre Wavelengths*, pages 213-218.
40. **Le Bertre, T.** and The RESPIRE Consortium (2002). Contribution of RESPIRE to Solar Physics. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 461-464.
41. **Lemaire, J.-L.**, Field, D., Pineau Des Forêts, G., and **Callejo, G.** (2002). Detection of a protostellar region, in BHR 71, revealed by the IR emission of H<sub>2</sub> in K band. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 31-+.
42. **Melchior, A.-L.** and **Encrenaz, P.** (2002). The Global Hands-On Universe Project. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 7-+.
43. **Mellier, Y.**, van Waerbeke, L., **Bertin, E.**, Tereno, I., and Bernardeau, F. (2002). Wide-field cosmic shear surveys. In *Astronomical Data Analysis II. Edited by Starck, Jean-Luc; Murtagh, Fionn D. Proceedings of the SPIE, Volume 4847, pp. 112-122 (2002).*, pages 112-122.
44. Meny, C., Boudet, N., Bernard, J.-P., Dupac, X., Giard, M., **Lamarre, J.-M.**, Pajot, F., Ristorcelli, I., Serra, G., Stepnik, B., and Torre, J.-P. (2002). PRONAOS submillimeter observation of the Cygnus X IC 1318a nebula. In Giard, M., Bernard, J.-P., Klotz, A., and Ristorcelli, I., editors, *Proceedings of Infrared and Submillimeter Space Astronomy*, volume 4, pages 127-127. EAS, EAS Publications Series. held 11-13 June, 2001.

## Liste de publications

45. **Meynadier, F.** and **Heydari-Malayeri, M.** (2002). LMC massive star clusters R 127 & R 128 resolved. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 541-+.
46. **Miville-Deschênes, M.-A.**, Boulanger, F., and Joncas, G. (2002a). H I in High Latitude Cirrus Clouds. In *ASP Conf. Ser. 276: Seeing Through the Dust: The Detection of HI and the Exploration of the ISM in Galaxies*, pages 209-+.
47. **Miville-Deschênes, M.-A.**, **Péroult, M.**, **Rabasse, J.-F.**, Omont, A., and Schuller, F. (2002b). The ISOGAL Survey. In *ASP Conf. Ser. 276: Seeing Through the Dust: The Detection of HI and the Exploration of the ISM in Galaxies*, pages 149-+.
48. Navarrini, A., Lazareff, B., Billon-Pierron, D., and **Péron, I.** (2002). Design and characterization of 225-370GHz DSB and 247-360GHz SSB full height waveguide SIS mixers. In *13th International Symposium on Space Terahertz Technology, Cambridge, MA, USA, March 26-28, 2002*, pages 33-40.
49. **Pagani, L.**, Pardo, J.-R., Fich, M., Motte, F., and Stepnik, B. (2002a). L134N Revisited. In Giard, M., Bernanrd, J., Klotz, A., and Ristorcelli, I., editors, *Proceedings of Infrared and Submillimeter Space Astronomy*, volume 4, pages 145-145. EAS, EAS Publications Series. held 11-13 June, 2001.
50. **Pagani, L.**, Pardo, J.-R., Stepnik, B., Motte, F., Apponi, A. J., Fich, M., Teyssier, D., and Cambrésy, L. (2002b). L134N (L183) Revisited. In *Chemistry as a Diagnostic of Star Formation*, pages 83-+.
51. **Pagani, L.** and The Odin Team (2002). Upper Limits on the Abundance of O<sub>2</sub> from the Odin Satellite. In *Chemistry as a Diagnostic of Star Formation*, pages 84-+.
52. Parise, B., Ceccarelli, C., Tielens, A. G. G. M., Herbst, E., Lefloch, B., Caux, E., Castets, A., Mukhopadhyay, I., **Pagani, L.**, and Loinard, L. (2002). Detection of Deuterated Methanol in the Low Mass Protostar IRAS 16293-2422. In *Chemistry as a Diagnostic of Star Formation*, pages 15-+.
53. **Péron, I.**, Faury, G., **Delorme, Y.**, **Dauplay, F.**, **Lecomte, B.**, **Salez, M.**, and Schuster, K.-F. (2002). Space qualification of high current density Nb/Al-AlO<sub>x</sub>/Nb junctions for HERSCHEL/HIFI/Channel 1. In *13th Int. Symp. on Space THz Technology; Harvard-Smithsonian Cent. Astroph.; Cambridge; Massachusetts; USA; 26-28 mars 2002*.
54. **Petitjean, P.** (2002). QSO Absorption Line Systems and the Variation of Physical Constants. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 367-+.
55. **Petitjean, P.** and Ledoux, C. (2002). Molecular Hydrogen at high redshifts. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 363-+.
56. Piat, M., Torre, J. P., **Lamarre, J.-M.**, Beeman, J. W., Bhatia, R. S., Leriche, B., Crussaire, J. P., and Langlet, F. (2002). Design and tests of high sensitivity NTD Ge thermometers for the Planck-High Frequency Instrument. In *AIP Conf. Proc. 605: Low Temperature Detectors (LTD9)*, pages 79-82.
57. Puy, D. and **Signore, M.** (2002). Primordial molecules at millimeter wavelengths. In *AIP Conf. Proc. 616: Experimental Cosmology at Millimetre Wavelengths*, pages 346-350.
58. Quinn, P. J., Benvenuti, P., Diamond, P. J., Genova, F., Lawrence, A., and **Mellier, Y.** (2002). Astrophysical virtual observatory (AVO): a progress report. In *Virtual Observatories. Edited by Szalay, Alexander S. Proceedings of the SPIE, Volume 4846, pp. 1-5 (2002)*, pages 1-5.
59. Raouafi, N.-E., Lemaire, P., and **Sahal-Bréchet, S.** (2002a). Effect of the coronal magnetic field and the solar wind velocity field vectors on the polarization of the O VI  $\lambda$ 1032 line. In *ESA SP-508: From Solar Min to Max: Half a Solar Cycle with SOHO*, pages 403-+.
60. Raouafi, N.-E., **Sahal-Bréchet, S.**, and Lemaire, P. (2002b). Effect of the solar wind velocity field vector on the polarization of the O VI  $\lambda$ 1032 coronal line. In *ESA SP-508: From Solar Min to Max: Half a Solar Cycle with SOHO*, pages 471-+.
61. Ristorcelli, I., Stepnik, B., Dupac, X., Abergel, A., Bernard, J.-P., Boudet, N., Giard, M., **Lamarre, J.-M.**, Meny, C., Pajot, F., Torre, J.-P., and Serra, G. (2002a). PRONAOS observations of the interstellar medium: New insights on interstellar Dust. In Giard, M., Bernard, J.-P., Klotz, A., and Ristorcelli, I.,

## Liste de publications

- editors, *Proceedings of Infrared and Submillimeter Space Astronomy*, volume 4, pages 9-9. EAS, EAS Publications Series. held 11-13 June, 2001.
62. Ristorcelli, I., Stepnik, B., Dupac, X., Abergel, A., Bernard, J.-P., Boudet, N., Giard, M., **Lamarre, J.-M.**, Mény, C., Pajot, F., Torre, J. P., and Serra, G. (2002b). PRONAOS submillimeter continuum observations of star forming regions: New insights on interstellar dust. In *Chemistry as a Diagnostic of Star Formation*, pages 92-+.
  63. Rollinde, E., **Petitjean, P.**, Pichon, C., Colombi, S., and Aracil, B. (2002a). 3D Spatial Distribution of the Intergalactic Medium: The ESO Blues? In *Scientific Drivers for ESO Future VLT/VLTI Instrumentation Proceedings of the ESO Workshop held in Garching, Germany, 11-15 June, 2001*. p. 54., pages 54-+.
  64. Rollinde, E., **Petitjean, P.**, Pichon, C., Colombi, S., Aracil, B., D'Odorico, V., and Haehnelt, M. G. (2002b). The correlation of the Lyman-alpha forest in close pairs and groups of high-redshift quasars: clustering of matter on scales 1-5 Mpc. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 73-+.
  65. **Salome, P.** and Combes, P. (2002). Detection of cold molecular gas in central cluster galaxies. In *SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 429-+.
  66. Schultheis, M., Lebzelter, T., and **Melchior, A.-L.** (2002). AGAPEROS Variables in the LMC. In *ASP Conf. Ser. 259: IAU Colloq. 185: Radial and Nonradial Pulsations as Probes of Stellar Physics*, pages 164-+.
  67. **Signore, M.** and Puy, D. (2002). Big bang nucleosynthesis, cosmic microwave background anisotropies and dark energy. In *AIP Conf. Proc. 616: Experimental Cosmology at Millimetre Wavelengths*, pages 338-345.
  68. Stepnik, B., Abergel, A., Bernard, J.-P., Boulanger, F., Cambrésy, L., Giard, M., Jones, A. P., Lagache, G., Lamarre, J.-M., Mény, C., Pajot, F., Le Peintre, F., Ristorcelli, I., Serra, G., and Torre, J.-P. (2002). Evolution of interstellar dust properties from diffuse medium to a dense cloud. In Giard, M., Bernard, J.-P., Klotz, A., and Ristorcelli, I., editors, *Proceedings of Infrared and Submillimeter Space Astronomy*, volume 4, pages 309-309. EAS, EAS Publications Series. held 11-13 June, 2001.
  69. Teyssier, D., **Gerin, M.**, Kramer, C., and Helmich, F. (2002a). Case for a Ground-Based Preparatory Program for HIFI Calibration Sources. In Giard, M., Bernard, J.-P., Klotz, A., and Ristorcelli, I., editors, *Proceedings of Infrared and Submillimeter Space Astronomy*, volume 4, pages 275-275. EAS, EAS Publications Series. held 11-13 June, 2001.
  70. Teyssier, D., **Hennebelle, P.**, and **Pérault, M.** (2002b). Probing massive cold cores discovered by ISO in quiescent galactic molecular complexes. In Giard, M., Bernard, J.-P., Klotz, A., and Ristorcelli, I., editors, *Proceedings of Infrared and Submillimeter Space Astronomy*, volume 4, pages 133-133. EAS, EAS Publications Series. held 11-13 June, 2001.
  71. van der Tak, F. F. S., Lis, D. C., **Gerin, M.**, Roueff, E., Müller, H. S. P., Schilke, P., and Phillips, T. G. (2002). Interstellar triply deuterated ammonia (ND<sub>3</sub>). In *Chemistry as a Diagnostic of Star Formation*, pages 110-+.
  72. Vogt, E., **Sahal-Bréchot, S.**, and Hénoux, J.-C. (2002). Impact polarization as a diagnostic for non-thermal particles in solar flares. In *ESA SP-477: Solspa 2001, Proceedings of the Second Solar Cycle and Space Weather Euroconference*, pages 191-+.
  73. Wolf, P., Bize, S., Clairon, A., Landragin, A., Laurent, P., Lemonde, P., and **Bordé, C. J.** (2002). Recoil effects in microwave atomic frequency standards: An update. In Gill, P., editor, *Frequency Standards and Metrology*, pages 593-596. World Scientific.

### 9.1.3.3 Conférences Invitées

1. **Bommier, V.** Besoins en physique moléculaire pour l'interprétation des observations. In *Atelier Molécules solaires polarisées organisé par V. Bommier et N. Feautrier, avec le soutien du Programme National Soleil-Terre, Meudon (France) 17 décembre 2002*.

## Liste de publications

2. **Bommier, V.** The Hanle effect observed in solar prominences: interpretation of the 1974-1982 Pic-du-Midi observations, and new perspectives. In *Workshop Magnetism and Activity of the Sun and Stars organized by the Programme National Soleil-Terre and the Programme National de Physique Stellaire of the C.N.R.S., Toulouse (France), 2002 September 17-21, to honor the scientific work of Jean-Louis Leroy 2003*, J. Arnaud and N. Meunier (eds) EAS Publ. Ser. 9, 197-207.
3. **Bommier, V.** and Landi Degl'innocenti, E. Interprétation des observations : modèle en atmosphère semi-infinie. In *Atelier Molécules solaires polarisées organisé par V. Bommier et N. Feautrier, avec le soutien du Programme National Soleil-Terre, Meudon (France) 17 décembre 2002*.
4. **Bommier, V.** and **Sahal-Bréchet, S.** Polarized Line Formation in the presence of a Magnetic Field and/or a Velocity Field. In *Second Franco-Chinese Meeting on Solar Physics, Understanding Active Phenomena : Progress and Perspective, Observatoire de Paris, 2002 August 27 - 30. 2003*, International Academic Publishers/Beijing World Publishing Corporation, J.C. Héroux, C. Fang and N. Vilmer (eds.), pp. 1-13.
5. **Cabrit, S.** (2002). Constraints on accretion-ejection structures in young stars. In Giard, M., Bernard, J.-P., Klotz, A., and Ristorcelli, I., editors, *Proceedings of Infrared and Submillimeter Space Astronomy*, volume 4, pages 147-182. EAS, EAS Publications Series. held 11-13 June, 2001.
6. **Dubernet, M.-L.**, Grosjean, A., Ceccarelli, C., and Faure, A. Excitation collisionnelle ro-vibrationnelle : méthodes, résultats et applications pour H<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>. In *Colloque PCMI, Bordeaux, Juillet 2002*.
7. **Dulieu, F.**, **Fillion, J.-H.**, **Baouche, S.**, and **Lemaire, J.-L.** Expérience de catalyse hétérogène de H<sub>2</sub> dans des conditions astrophysiques. In *Colloque PCMI, Bordeaux, Juillet 2002*.
8. **Falgarone, E.** (2002a). Non-equilibrium chemistry in the dissipative structures of interstellar turbulence. the 44th Annual meeting of the Division of Plasma Physics of the American Physical Society, November 2002, Orlando, Florida, USA (Sans Actes).
9. **Falgarone, E.** (2002b). Structure of Molecular Clouds. In Giard, M., Bernard, J., Klotz, A., and Ristorcelli, I., editors, *Proceedings of Infrared and Submillimeter Space Astronomy*, volume 4, pages 87-98. EAS, EAS Publications Series. held 11-13 June, 2001.
10. Garcia, P., **Cabrit, S.**, Ferreira, J., Binette, L., and Casse, F. (2002). Atomic T Tauri Disk Winds Heated by Ambipolar Diffusion. In *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series*, pages 21-28.
11. Héroux, J.-C., Vogt, E., **Sahal-Bréchet, S.**, Karlicky, M., Feautrier, N., Farnik, F., Chambe, G., and **Balanca, C.** Optical spectropolarimetry of solar flares. In *Second Franco-Chinese Meeting on Solar Physics, Understanding Active Phenomena : Progress and Perspective, Observatoire de Paris, 2002 August 27 - 30. 2003*, International Academic Publishers/Beijing World Publishing Corporation, J.C. Héroux, C. Fang and N. Vilmer (eds.), pp. 212-221.
12. **Lamarre, J.-M.** (2002a). Mesure du fond diffus micro-ondes. (I) Techniques expérimentales. In *Ecole de Gif de Physique des particules. Strasbourg, 16-20 septembre 2002*.
13. **Lamarre, J.-M.** (2002b). Mesure du fond diffus micro-ondes. (II) Réduction des données. In *Ecole de Gif de Physique des particules. Strasbourg, 16-20 septembre 2002*.
14. **Lamarre, J.-M.** and Giard, M. (2002). PRONAOS, a scientific, technical and human adventure: Homage to Guy Serra. In Giard, M., Bernard, J.-P., Klotz, A., and Ristorcelli, I., editors, *Proceedings of Infrared and Submillimeter Space Astronomy*, volume 4, pages 1-13. EAS, EAS Publications Series. held 11-13 June, 2001.
15. **Lamarre, J.-M.**, Piat, M., Ade, P. A. R., Bock, J., de Bernardis, P., Giard, M., Lange, A., Murphy, A., Torre, J. P., Benoît, A., Bhatia, R., Bouchet, F. R., Maffei, B., Puget, J.-L., Sudwala, R., and Yourchenko, V. (2002). Use of high sensitivity bolometers for astronomy: Planck high frequency instrument. In *AIP Conf. Proc. 605: Low Temperature Detectors (LTD9)*, pages 571-576.
16. **Leach, S.** La photophysique de l'acide formique, molécule prébiotique. In *Colloque National d'Exobiologie (Invited talk) Paris, France, 27-29 mai 2002*.

## Liste de publications

17. **Leach, S.** Panspermia : myth or reality ? In *Brijuni Conference VIII: Space, time and life (Invited talk) Brijuni, Croatie, 25-30 août 2002.*
18. **Leach, S.** The quintessence of dust. In *Colloque on Cosmic Dust (Invited talk) Berlin, Allemagne, 3 mai 2002.*
19. **Leach, S.** The VUV photophysics of key prebiotic and biotic species. In *Second International meeting on Photodynamics (Invited talk) Havana, Cuba, 10-16 février 2002.*
20. **Sahal-Bréchet, S.** Board policy, recent decisions. In *International THEMIS workshop, Toulouse, 17-19 avril 2002 2003, Toulouse Observatory Publ., J. Arnaud, N. Meunier (eds), pp. 33-37.*
21. **Spielfiedel, A.** Ab initio Calculations of Molecular Hydrogen Rydberg states Properties: Lyman ? Transition Moments and Spin-Orbit Constants. In *THEONET'II Mid-Term meeting, Cambridge Great-Britain, September 12-15 2002.*

### 9.1.3.4 Livres, Catalogues, Communications sans actes et Divers

1. **Combes, F., Boissé, P.,** Mazure, A., Blanchard, A., and Seymour, M. (2002). *Galaxies and cosmology.* Galaxies and cosmology (2nd ed.). by F. Combes et al. (M. Seymour, Trans.). New York: Springer, 2002.
2. **Heydari-Malayeri, M.,** Charmandaris, V., Deharveng, L., **Meynadier, F.,** Rosa, M. R., Schaerer, D., and Zinnecker, H. (2002). HST photometry of stars in N160A (Heydari-Malayeri+, 2002). Catalogue VizierR.
3. Idiart, T. P., **Michard, R.,** and de Freitas Pacheco, J. A. (2002). New UBVRI color distribution in E galaxies (Idiart, 2002). Catalogue VizierR.
4. **Lequeux, J.** and Bobis, L. (2002). Catalogue de l'Exposition: Une histoire de la lumière. Observatoire de Paris.
5. **Lequeux, J., Falgarone, E.,** and Ryter, C. (2002). *Le milieu interstellaire.* Collection Savoirs Actuels. EDP Sciences et éditions du CNRS.
6. Reshetnikov, V., Battaner, E., **Combes, F.,** and Jimenez-Vicente, J. (2002). Galaxy warps in the HDF North and South (Reshetnikov+, 2002). Catalogue VizierR.
7. **Signore, M.** and Puy, D. (2002). Tests observationnels clefs de la cosmologie moderne. physics/0207008, bull.de l'Union des Prof.de Speciales.
8. Tobin, W. and **Lequeux, J.** (2002). *Léon Foucault (Adaptation de la version anglaise).* EDP Sciences.
9. van Driel, W., **Combes, F.,** Arnaboldi, M., and Sparke, S. (2002). HI survey of polar ring galaxies. IV. (van Driel+, 2002). Catalogue VizierR.
10. Vauglin, I., Rousseau, J., Paturel, G., Borsenberger, J., Epchtein, N., Fouque, P., Kimeswenger, S., Le Bertre, T., and Mamon, G. A. (2002). DENIS galaxies behind the Milky Way (Vauglin+, 2002). Catalogue VizierR.

### 9.1.4 Année 2003

#### 9.1.4.1 Articles publiés dans des revues à comité de lecture

1. Abdallah, D. B., Jaidane, N., Lakhdar, Z. B., **Spielfiedel, A.,** and **Feautrier, N.** (2003). Inelastic collision cross sections of CH(X<sup>2</sup>Π) with He(<sup>1</sup>S) on new ab initio surfaces. *J. Chem. Phys.*, 118:2206-2213.
2. Abergel, A., Teyssier, D., Bernard, J. P., Boulanger, F., Coulais, A., **Fossé, D., Falgarone, E., Gerin, M., Pérault, M.,** Puget, J.-L., Nordh, L., Olofsson, G., Hultgren, M., Kaas, A. A., André, P., Bontemps, S., Casali, M. M., Cesarsky, C. J., Copet, E., Davies, J., Montmerle, T., Persi, P., and Sibille,

## Liste de publications

- F. (2003). ISOCAM and molecular observations of the edge of the Horsehead nebula. *A&A*, 410:577-585.
3. **Allard, N. F.**, Allard, F., Hauschildt, P. H., Kielkopf, J. F., and Machin, L. (2003). A new model for brown dwarf spectra including accurate unified line shape theory for the Na I and K I resonance line profiles. *A&A*, 411:L473-L476.
  4. **Antoine, C.** and **Bordé, C. J.** (2003a). Exact phase shifts for atom interferometry. *Physics Letters A*, 306:277-284.
  5. **Antoine, C.** and **Bordé, C. J.** (2003b). Quantum theory of atomic clocks and gravito-inertial sensors: an update. *Journal of Optics B: Quantum and Semiclassical Optics*, 5:199.
  6. Azarov, V. I., **Tchang-Brillet, W.-U. L.**, Wyart, J.-F., and Meijer, F. G. (2003). The Third Spectrum of Tantalum (Ta III): Fine and Hyperfine Structure. *Phys. Scr*, 67:190-+.
  7. **Balbus, S. A.** (2003). Enhanced Angular Momentum Transport in Accretion Disks. *ARA&A*, 41:555-597.
  8. **Balbus, S. A.** and Hawley, J. F. (2003). Numerical Simulations of MHD Turbulence in Accretion Disks. *LNP Vol. 614: Turbulence and Magnetic Fields in Astrophysics*, pages 329-348.
  9. Battistelli, E. S., De Petris, M., Lamagna, L., Luzzi, G., Maoli, R., Melchiorri, A., Melchiorri, F., Orlando, A., Palladino, E., Savini, G., Rephaeli, Y., Shimon, M., **Signore, M.**, and Colafrancesco, S. (2003). Triple Experiment Spectrum of the Sunyaev-Zel'dovich Effect in the Coma Cluster:  $H_0$ . *ApJ*, 598:L75-L78.
  10. Benoît, A., Ade, P., Amblard, A., Ansari, R., Aubourg, E., Bargout, S., Bartlett, J. G., Bernard, J.-P., Bhatia, R. S., Blanchard, A., Bock, J. J., Boscaleri, A., Bouchet, F. R., Bourrachot, A., Camus, P., Couchot, F., de Bernardis, P., Delabrouille, J., Désert, F.-X., Doré, O., Douspis, M., Dumoulin, L., Dupac, X., Filliatre, P., Fosalba, P., Ganga, K., Gannaway, F., Gautier, B., Giard, M., Giraud-Héraud, Y., Gispert, R., Guglielmi, L., Hamilton, J.-C., Hanany, S., Henrot-Versillé, S., Kaplan, J., Lagache, G., **Lamarre, J.-M.**, Lange, A. E., Macías-Pérez, J. F., Madet, K., Maffei, B., Magneville, C., Marrone, D. P., Masi, S., Mayet, F., Murphy, A., Naraghi, F., Nati, F., Patanchon, G., Perrin, G., Piat, M., Ponthieu, N., Prunet, S., Puget, J.-L., Renault, C., Rosset, C., Santos, D., Starobinsky, A., Strukov, I., Sudiwala, R. V., Teyssier, R., Tristram, M., Tucker, C., Vanel, J.-C., Vibert, D., Wakui, E., and Yvon, D. (2003a). The cosmic microwave background anisotropy power spectrum measured by Archeops. *A&A*, 399:L19-L23.
  11. Benoît, A., Ade, P., Amblard, A., Ansari, R., Aubourg, E., Bargout, S., Bartlett, J. G., Bernard, J.-P., Bhatia, R. S., Blanchard, A., Bock, J. J., Boscaleri, A., Bouchet, F. R., Bourrachot, A., Camus, P., Couchot, F., de Bernardis, P., Delabrouille, J., Désert, F.-X., Doré, O., Douspis, M., Dumoulin, L., Dupac, X., Filliatre, P., Fosalba, P., Ganga, K., Gannaway, F., Gautier, B., Giard, M., Giraud-Héraud, Y., Gispert, R., Guglielmi, L., Hamilton, J.-C., Hanany, S., Henrot-Versillé, S., Kaplan, J., Lagache, G., **Lamarre, J.-M.**, Lange, A. E., Macías-Pérez, J. F., Madet, K., Maffei, B., Magneville, C., Marrone, D. P., Masi, S., Mayet, F., Murphy, A., Naraghi, F., Nati, F., Patanchon, G., Perrin, G., Piat, M., Ponthieu, N., Prunet, S., Puget, J.-L., Renault, C., Rosset, C., Santos, D., Starobinsky, A., Strukov, I., Sudiwala, R. V., Teyssier, R., Tristram, M., Tucker, C., Vanel, J.-C., Vibert, D., Wakui, E., and Yvon, D. (2003b). Cosmological constraints from Archeops. *A&A*, 399:L25-L30.
  12. Bernardeau, F., van Waerbeke, L., and **Mellier, Y.** (2003). Patterns in the weak shear 3-point correlation function. *A&A*, 397:405-414.
  13. **Bommier, V.** (2003). The Hanle effect observed in solar prominences: interpretation of the 1974 1982 Pic-du-Midi observations, and new perspectives. *EAS Publications Series, Volume 9, 2003, Magnetism and Activity of the Sun and Stars, Proceedings of the conference held 17-21 September, 2002 in Toulouse, France. Edited by J. Arnaud and N. Meunier, pp.197., 9:197-+.*
  14. Boselli, A., Sauvage, M., **Lequeux, J.**, Donati, A., and Gavazzi, G. (2003). Mid-IR emission of galaxies in the Virgo cluster III. The data. *A&A*, 406:867-877.

## Liste de publications

15. Bouchet, F., Piat, M., and **Lamarre, J.-M.** (2003). The Planck Milestone. *CRAS*, 4(Fascicule 8):861. ISSN 1631 - 0705.
16. **Bournaud, F.** and **Combes, F.** (2003). Formation of polar ring galaxies. *A&A*, 401:817-833.
17. **Cabrit, S.** (2003). Jets from Young Stellar Objects: Current Constraints and Challenges for the Future. *Ap&SS*, 287:259-264.
18. Calisse, P. G., de Bernardis, P., Olmi, L., Piccirillo, L., Sironi, G., Delabrouille, J., Gervasi, M., Giraud-Heraud, Y., **Lamarre, J.-M.**, Masi, S., Maukopf, P., Pajot, F., and Storey, J. W. V. (2003). An International Center for Submillimeter Astronomy at Dome C, Antarctica: Statement of Work. *Societa Astronomica Italiana Memorie Supplement*, 2:62-+.
19. Comito, C., Schilke, P., **Gerin, M.**, Phillips, T. G., Zmuidzinas, J., and Lis, D. C. (2003). The line-of-sight distribution of water in the SgrB2 complex. *A&A*, 402:635-645.
20. Cossart-Magos, C., Jungen, M., Xu, R., and **Launay, F.** (2003). High resolution absorption spectrum of jet-cooled OCS between 64 000 and 91 000  $\text{cm}^{-1}$ . *J. Chem. Phys.*, 119:3219-3233.
21. Daigne, G., Charlot, P., Ducourant, C., and **Lestrade, J.-F.** (2003). Potential of the VLTI for linking stellar frames to ICRF. *Ap&SS*, 286:255-260.
22. Daigne, G. and **Lestrade, J.-F.** (2003). Integration of the atmospheric fluctuations in a dual-field optical interferometer: The short exposure regime. *A&A*, 406:1167-1174.
23. Dayou, F. and **Spielfiedel, A.** (2003). Ab initio calculation of the ground ( $^1A'$ ) potential energy surface and theoretical rate constant for the  $\text{SiO}_2\text{-SiO+O}$  reaction. *J. Chem. Phys.*, 119:4237-4250.
24. de Vega, H. J. and **Sanchez, N. G.** (2003). Decay rates of unstable particles and the extreme energy cosmic rays top-down scenarios. *Phys. Rev. D*, 67(12):125019-+.
25. **Derouich, M., Sahal-Bréchet, S.,** and Barklem, P. S. (2003a). Collisional depolarization and transfer rates of spectral lines by atomic hydrogen. II. Application to d states of neutral atoms. *A&A*, 409:369-373.
26. **Derouich, M., Sahal-Bréchet, S.,** Barklem, P. S., and O'Mara, B. J. (2003b). Semi-classical theory of collisional depolarization of spectral lines by atomic hydrogen I. Application to p states of neutral atoms. *A&A*, 404:763-773.
27. Dimitrijevic, M. S., Dacic, M., Cvetković, Z., and **Sahal-Bréchet, S.** (2003). Stark broadening of spectral lines of multicharged ions of astrophysical interest. XXIII. Be III. *A&A*, 400:791-793.
28. Dimitrijevic, M. S. and **Sahal-Bréchet, S.** (2003). Stark broadening of AgI spectral lines. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 85:269-290.
29. Dougados, C., **Cabrit, S.,** Lopez-Martin, L., Garcia, P., and O'Brien, D. (2003). The RW Aur microjet: testing MHD disk wind models. *Ap&SS*, 287:135-138.
30. Downes, T. P. and **Cabrit, S.** (2003). The mass-velocity and intensity-velocity relations in jet-driven molecular outflows. *A&A*, 403:135-140.
31. Dupac, X., Bernard, J.-P., Boudet, N., Giard, M., **Lamarre, J.-M.,** Mény, C., Pajot, F., Ristorcelli, I., Serra, G., Stepnik, B., and Torre, J.-P. (2003a). Inverse temperature dependence of the dust submillimeter spectral index. *A&A*, 404:L11-L15.
32. Dupac, X., del Burgo, C., Bernard, J.-P., Giard, M., **Lamarre, J.-M.,** Laureijs, R. J., Pajot, F., Ristorcelli, I., Serra, G., Tauber, J., and Torre, J.-P. (2003b). The complete submillimetre spectrum of NGC 891. *MNRAS*, 344:105-109.
33. Dupuis, J., Chayer, P., Vennes, S., **Allard, N. F.,** and Hébrard, G. (2003). Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer Observation of the Ultramassive White Dwarf PG 1658+441. *ApJ*, 598:486-491.

## Liste de publications

34. **Eidelsberg, M.** and **Rostas, F.** (2003). An Atlas of the Intersystem Transitions of CO. *ApJS*, 145:89-109.
35. **Falgarone, E.** and Passot, T. (2003a). Preface (Turbulence and magnetic fields in astrophysics). *LNP Vol. 614: Turbulence and Magnetic Fields in Astrophysics*, pages D5+.
36. **Falgarone, E.** and Passot, T. (2003b). Turbulence and Magnetic Fields in Astrophysics. *LNP Vol. 614: Turbulence and Magnetic Fields in Astrophysics*.
37. **Fillion, J.-H., Dulieu, F., Baouche, S., Lemaire, J.-L.,** Jochims, H. W., and **Leach, S.** (2003). Ionization yield and absorption spectra reveal superexcited Rydberg state relaxation processes in H<sub>2</sub>O and D<sub>2</sub>O. *Journal of Physics B Atomic Molecular Physics*, 36:2767-2776.
38. Filly, M., Royer, A., Goita, K., and **Prigent, C.** (2003). A simple retrieval method for land surface temperature and fraction of water surface determination from satellite microwave brightness temperatures in sub-arctic areas. *Remote Sensing of Environment*, 38:328-338.
39. Flower, D. R., Le Bourlot, J., Pineau des Forêts, G., and Cabrit, S. (2003a). Diagnosing the conditions in molecular outflow sources: New developments in shock wave models with non-equilibrium chemistry. *Ap&SS*, 287:183-186.
40. Flower, D. R., Le Bourlot, J., Pineau des Forêts, G., and Cabrit, S. (2003b). The contributions of J-type shocks to the H<sub>2</sub> emission from molecular outflow sources. *MNRAS*, 341:70-80.
41. Foucaud, S., McCracken, H. J., Le Fèvre, O., Arnouts, S., Brodwin, M., Lilly, S. J., Crampton, D., and **Mellier, Y.** (2003). The Canada-France deep fields survey-II: Lyman-break galaxies and galaxy clustering at  $z \sim 3$ . *A&A*, 409:835-850.
42. Galopecau, P. H. M., Nottale, L., da Rocha, D., and Tran Minh, N. (2003). Scale relativity and hierarchical structuring of planetary systems. *EGS - AGU - EUG Joint Assembly, Abstracts from the meeting held in Nice, France, 6 - 11 April 2003, abstract #11864*, pages 11864+.
43. García-Burillo, S., **Combes, F.**, Hunt, L. K., **Boone, F.**, Baker, A. J., Tacconi, L. J., Eckart, A., Neri, R., Leon, S., Schinnerer, E., and Englmaier, P. (2003). Molecular Gas in Nuclei of GALaxies (NUGA). I. The counter-rotating LINER NGC 4826. *A&A*, 407:485-502.
44. **Gariel, J.**, Marcilhacy, G., and **Santos, N. O.** (2003a). A new approach of the stationary axisymmetric vacuum S(A) solutions. *Journal of Mathematical Physics*, 44(4):1679-1687.
45. **Gariel, J.**, Marcilhacy, G., and **Santos, N. O.** (2003b). Parametrization of the Kerr Solution. *General Relativity and Gravitation*, 35:1549-1556.
46. Gavazzi, R., Fort, B., **Mellier, Y.**, Pelló, R., and Dantel-Fort, M. (2003). A radial mass profile analysis of the lensing cluster MS 2137.3-2353. *A&A*, 403:11-27.
47. Gérard, E. and **Le Bertre, T.** (2003). The H I emission profile of RS Cnc. *A&A*, 397:L17-L21.
48. Goicoechea, J. R., Rodríguez-Fernández, N. J., and Cernicharo, J. (2003). Extended photoionization and photodissociation in Sgr B2. *Astronomische Nachrichten, Supplementary Issue 1, Proceedings of the Galactic Center Workshop 2002 - The central 300 parsecs of the Milky Way.*, 324:139-143.
49. Grosjean, A., **Dubernet, M.-L.**, and Ceccarelli, C. (2003). Collisional excitation rates of H<sub>2</sub>O with H<sub>2</sub>. II. Rotational excitation with ortho-H<sub>2</sub> at very low temperature and application to cold molecular clouds. *A&A*, 408:1197-1203.
50. Gupta, N., Srianand, R., **Petitjean, P.**, and Ledoux, C. (2003). Outflowing material in the  $z_{em} = 4.92$  BAL QSO SDSS J160501.21-011220.0. *A&A*, 406:65-73.
51. Gustafsson, M., Kristensen, L. E., Clénet, Y., Field, D., **Lemaire, J.-L.**, Pineau des Forêts, G., Rouan, D., and Le Coarer, E. (2003). New insight into shocks and star formation in Orion: First light with GriF. *A&A*, 411:437-446.

## Liste de publications

52. Habart, E., Boulanger, F., Verstraete, L., Pineau des Forêts, G., **Falgarone, E.**, and Abergel, A. (2003). H<sub>2</sub> infrared line emission across the bright side of the rho Ophiuchi main cloud. *A&A*, 397:623-634.
53. Hébrard, G., **Allard, N. F.**, Kielkopf, J. F., Chayer, P., Dupuis, J., Kruk, J. W., and Hubeny, I. (2003). Modeling of the Lyman gamma satellites in FUSE spectra of DA white dwarfs. *A&A*, 405:1153-1156.
54. **Hennebelle, P.** (2003a). Self-similar condensation of rotating magnetized self-gravitating isothermal filaments. *A&A*, 397:381-391.
55. **Hennebelle, P.** (2003b). Semi-analytical homologous solutions of the gravo-magnetic contraction. *A&A*, 411:9-20.
56. **Hennebelle, P.**, Whitworth, A. P., Gladwin, P. P., and André, P. (2003). Protostellar collapse induced by compression. *MNRAS*, 340:870-882.
57. Herrera, L. and **Santos, N. O.** (2003). Shear-free and homology conditions for self-gravitating dissipative fluids. *MNRAS*, 343:1207-1212.
58. Herrera, L., **Santos, N. O.**, and Skea, J. E. F. (2003). Letter: Active Gravitational Mass and the Invariant Characterization of Reissner-Nordström Spacetime. *General Relativity and Gravitation*, 35:2057-2061.
59. **Heydari-Malayeri, M.**, **Meynadier, F.**, Charmandaris, V., Deharveng, L., **Le Bertre, T.**, Rosa, M. R., and Schaerer, D. (2003a). The stellar environment of SMC N81. *A&A*, 411:427-435.
60. **Heydari-Malayeri, M.**, **Meynadier, F.**, and Walborn, N. R. (2003b). Tight LMC massive star clusters R 127 and R 128. *A&A*, 400:923-937.
61. Hjalmarson, Å., Frisk, U., Olberg, M., Bergman, P., Bernath, P., Biver, N., Black, J. H., Booth, R. S., Buat, V., Crovisier, J., Curry, C. L., Dahlgren, M., **Encrenaz, P. J.**, **Falgarone, E.**, Feldman, P. A., Fich, M., Florén, H. G., Fredrixon, M., Gerin, M., Gregersen, E. M., Hagström, M., Harju, J., Hasegawa, T., Horellou, C., Johansson, L. E. B., Kyrölä, E., Kwok, S., Larsson, B., Lecacheux, A., Liljeström, T., Lindqvist, M., Liseau, R., Llewellyn, E. J., Mattila, K., Mégie, G., Mitchell, G. F., Murtagh, D., Nyman, L.-Å., Nordh, H. L., Olofsson, A. O. H., Olofsson, G., Olofsson, H., **Pagani, L.**, Persson, G., Plume, R., Rickman, H., Ristorcelli, I., Rydbeck, G., Sandqvist, A., von Schéele, F., Serra, G., Torchinsky, S., Tothill, N. F., Volk, K., Wiklind, T., Wilson, C. D., Winnberg, A., and Witt, G. (2003). Highlights from the first year of Odin observations. *A&A*, 402:L39-L46.
62. Idiart, T. P., **Michard, R.**, and de Freitas Pacheco, J. A. (2003). New UBVRI color distributions in E-type galaxies. II. Central and mean metallicities color distributions in E-type galaxies. II. *A&A*, 398:949-957.
63. Iodice, E., Arnaboldi, M., **Bournaud, F.**, **Combes, F.**, Sparke, L. S., van Driel, W., and Capaccioli, M. (2003). Polar Ring Galaxies and the Tully -Fisher Relation: Implications for the Dark Halo Shape. *ApJ*, 585:730-738.
64. Israel, F. P., de Graauw, T., Johansson, L. E. B., Booth, R. S., Boulanger, F., Garay, G., Kutner, M. L., **Lequeux, J.**, Nyman, L.-A., and Rubio, M. (2003a). Results of the ESO-SEST Key Programme on CO in the Magellanic Clouds. IX. The giant LMC HII region complex N 11. *A&A*, 401:99-111.
65. Israel, F. P., Johansson, L. E. B., Rubio, M., Garay, G., de Graauw, T., Booth, R. S., Boulanger, F., Kutner, M. L., **Lequeux, J.**, and Nyman, L.-A. (2003b). Results of the ESO-SEST Key Programme on CO in the Magellanic Clouds. X. CO emission from star formation regions in LMC and SMC. *A&A*, 406:817-828.
66. Ivanchik, A., **Petitjean, P.**, Rodriguez, E., and Varshalovich, D. (2003). Does the proton-to-electron mass ratio  $\mu = m_p/m_e$  vary in the course of cosmological evolution? *Ap&SS*, 283:583-588.
67. Jeong, K. S., Winters, J. M., **Le Bertre, T.**, and Sedlmayr, E. (2003). Self-consistent modeling of the outflow from the O-rich Mira IRC -20197. *A&A*, 407:191-206.

## Liste de publications

68. Kerkeni, B., **Spielfiedel, A.**, and **Feautrier, N.** (2003). Depolarisation rates of Ca II s, p and d levels by isotropic collisions with hydrogen atoms. *A&A*, 402:5-11.
69. Kristensen, L. E., Gustafsson, M., Field, D., **Callejo, G.**, Lemaire, J.-L., Vannier, L., and Pineau des Forêts, G. (2003). H<sub>2</sub> excitation imaging of the Orion Molecular Cloud. *A&A*, 412:727-734.
70. **Lamarre, J.-M.**, Puget, J.-L., Bouchet, F., Ade, P. A. R., Benoît, A., Bernard, J.-P., Bock, J., de Bernardis, P., Charra, J., Couchot, F., Delabrouille, J., Efstathiou, G., Giard, M., Guyot, G., Lange, A., Maffei, B., Murphy, A., Pajot, F., Piat, M., Ristorcelli, I., Santos, D., Sudiwala, R., Sygnet, J. F., Torre, J. P., Yurchenko, V., and Yvon, D. (2003). The Planck High Frequency Instrument, a third generation CMB experiment, and a full sky submillimeter survey. *New Astronomy Review*, 47:1017-1024.
71. Larsson, B., Liseau, R., Bergman, P., Bernath, P., Black, J. H., Booth, R. S., Buat, V., Curry, C. L., **Encrenaz, P.**, **Falgarone, E.**, Feldman, P., Fich, M., Florén, H. G., Frisk, U., **Gerin, M.**, Gregersen, E. M., Harju, J., Hasegawa, T., Johansson, L. E. B., Kwok, S., Lecacheux, A., Liljeström, T., Mattila, K., Mitchell, G. F., Nordh, L. H., Olberg, M., Olofsson, G., **Pagani, L.**, Plume, R., Ristorcelli, I., Sandqvist, A., Schéele, F. v., Tothill, N. F. H., Volk, K., Wilson, C. D., and Hjalmarsen, Å. (2003). First NH<sub>3</sub> detection of the Orion Bar. *A&A*, 402:L69-L72.
72. **Le Bertre, T.**, Tanaka, M., Yamamura, I., and Murakami, H. (2003). Galactic mass-losing AGB stars probed with the IRTS. II. *A&A*, 403:943-954.
73. Le Fèvre, O., Vettolani, G., Maccagni, D., Picat, J.-P., Garilli, B., Tresse, L., Adami, C., Arnaboldi, M., Arnouts, S., Bardelli, S., Bolzonella, M., Bottini, D., Buzzarello, G., Charlot, S., Chincarini, G., Contini, T., Foucaud, S., Franzetti, P., Guzzo, L., Gwyn, S., Ilbert, O., Iovino, A., Le Brun, V., Longhetti, M., Marinoni, C., Methez, G., Mazure, A., McCracken, H., **Mellier, Y.**, Meneux, B., Merluzzi, P., Paltani, S., Pellò, R., Pollo, A., Radovich, M., Rippepi, P., Rizzo, D., Scaramella, R., Scodreggio, M., Zamorani, G., Zanichelli, A., and Zucca, E. (2003). The VIRMOS-VLT Deep Survey: a progress report. *The Messenger*, 111:18+.
74. Lecacheux, A., Biver, N., Crovisier, J., Bockelée-Morvan, D., Baron, P., Booth, R. S., **Encrenaz, P.**, Florén, H.-G., Frisk, U., Hjalmarsen, Å., Kwok, S., Mattila, K., Nordh, L., Olberg, M., Olofsson, A. O. H., Rickman, H., Sandqvist, A., von Schéele, F., Serra, G., Torchinsky, S., Volk, K., and Winnberg, A. (2003). Observations of water in comets with Odin. *A&A*, 402:L55-L58.
75. Ledoux, C., **Petitjean, P.**, and Srianand, R. (2003). The Very Large Telescope Ultraviolet and Visible Echelle Spectrograph survey for molecular hydrogen in high-redshift damped Lyman  $\alpha$  systems. *MNRAS*, 346:209-228.
76. Lefloch, B., Cernicharo, J., **Cabrit, S.**, Noriega-Crespo, A., Moro-Martín, A., and Cesarsky, D. (2003). Warm Molecular Hydrogen and Ionized Neon in the HH 2 Outflow. *ApJ*, 590:L41-L44.
77. Liseau, R., Larsson, B., Brandeker, A., Bergman, P., Bernath, P., Black, J. H., Booth, R., Buat, V., Curry, C., **Encrenaz, P.**, **Falgarone, E.**, Feldman, P., Fich, M., Florén, H., Frisk, U., **Gerin, M.**, Gregersen, E., Harju, J., Hasegawa, T., Hjalmarsen, Å., Johansson, L., Kwok, S., Lecacheux, A., Liljeström, T., Mattila, K., Mitchell, G., Nordh, L., Olberg, M., Olofsson, G., **Pagani, L.**, Plume, R., Ristorcelli, I., Sandqvist, A., Schéele, F. v., Serra, G., Tothill, N., Volk, K., and Wilson, C. (2003). First detection of NH<sub>3</sub> ( $1_0 - 0_0$ ) from a low mass cloud core. On the low ammonia abundance of the rho Oph A core. *A&A*, 402:L73-L76.
78. López-Martín, L., **Cabrit, S.**, and Dougados, C. (2003). Proper motions and velocity asymmetries in the RW Aur jet. *A&A*, 405:L1-L4.
79. Lorenz, R. D., **Biolluz, G.**, **Encrenaz, P.**, Janssen, M. A., West, R. D., and Muhleman, D. O. (2003). Cassini RADAR: prospects for Titan surface investigations using the microwave radiometer. *Planet. Space Sci.*, 51:353-364.
80. Maitia, V., **Lestrade, J.-F.**, and Cognard, I. (2003). A 3 Year Long Extreme Scattering Event in the Direction of the Millisecond Pulsar J1643-1224. *ApJ*, 582:972-977.

## Liste de publications

81. McCracken, H. J., Radovich, M., **Bertin, E.**, **Mellier, Y.**, Dantel-Fort, M., Le Fèvre, O., Cuillandre, J. C., Gwyn, S., Foucaud, S., and Zamorani, G. (2003). The VIRMOS deep imaging survey. II: CFH12K BVRI optical data for the 0226-04 deep field. *A&A*, 410:17-32.
82. Melchiorri, F., Olivo-Melchiorri, B., and **Signore, M.** (2003). Precision Cosmology. *Nuovo Cimento Rivista Serie*, 26:1-144.
83. Ménard, B., Bartelmann, M., and **Mellier, Y.** (2003). Measuring  $\Omega_0$  with higher-order quasar-galaxy correlations induced by weak lensing. *A&A*, 409:411-421.
84. **Miville-Deschênes, M.-A.**, Joncas, G., **Falgarone, E.**, and Boulanger, F. (2003a). High resolution 21 cm mapping of the Ursa Major Galactic cirrus: Power spectra of the high-latitude H I gas. *A&A*, 411:109-121.
85. **Miville-Deschênes, M.-A.**, **Levrier, F.**, and **Falgarone, E.** (2003b). On the Use of Fractional Brownian Motion Simulations to Determine the Three-dimensional Statistical Properties of Interstellar Gas. *ApJ*, 593:831-847.
86. **Nguyen-Quang-Rieu** (2003). Le projet du planétarium de Hanoi. *PlanÉtariums*.
87. Nordh, H. L., von Schéele, F., Frisk, U., Ahola, K., Booth, R. S., **Encrenaz, P. J.**, Hjalmarsen, Å., Kendall, D., Kyrölä, E., Kwok, S., Lecacheux, A., Leppelmeier, G., Llewellyn, E. J., Mattila, K., Mégie, G., Murtagh, D., Rougeron, M., and Witt, G. (2003). The Odin orbital observatory. *A&A*, 402:L21-L25.
88. O'Brien, D., Garcia, P., Ferreira, J., **Cabrit, S.**, and Binette, L. (2003). Mechanical Heating in Disk-Driven Winds - Thermal Structure & Observational Predictions. *Ap&SS*, 287:129-134.
89. Olberg, M., Frisk, U., Lecacheux, A., Olofsson, A. O. H., Baron, P., Bergman, P., Florin, G., Hjalmarsen, Å., Larsson, B., Murtagh, D., Olofsson, G., **Pagani, L.**, Sandqvist, A., Teyssier, D., Torchinsky, S. A., and Volk, K. (2003). The Odin satellite. II. Radiometer data processing and calibration. *A&A*, 402:L35-L38.
90. Olofsson, A. O. H., Olofsson, G., Hjalmarsen, Å., Bergman, P., Black, J. H., Booth, R. S., Buat, V., Curry, C. L., Encrenaz, P. J., **Falgarone, E.**, Feldman, P., Fich, M., Florén, H. G., Frisk, U., **Gerin, M.**, Gregersen, E. M., Harju, J., Hasegawa, T., Johansson, L. E. B., Kwok, S., Larsson, B., Lecacheux, A., Liljeström, T., Liseau, R., Mattila, K., Mitchell, G. F., Nordh, H. L., Olberg, M., Olofsson, H., **Pagani, L.**, Plume, R., Ristorcelli, I., Rydbeck, G., Sandqvist, A., von Schéele, F., Serra, G., Tothill, N. F., Volk, K., and Wilson, C. D. (2003). Odin water mapping in the Orion KL region. *A&A*, 402:L47-L54.
91. Omont, A., Gilmore, G. F., Alard, C., Aracil, B., August, T., Baliyan, K., Beaulieu, S., B' egon, S., Bertou, X., Blommaert, J. A. D. L., Borsenberger, J., Burgdorf, M., Caillaud, B., Cesarsky, C., Chitre, A., Copet, E., de Batz, B., Egan, M.P., Egret, D., Epchtein, N., Felli, M., Fouqué, P., Ganesh, S., Genzel, R., Glass, I. S., Gredel, R., Groenewegen, M. A. T., Guglielmo, F., Habing, H. J., **Hennebelle, P.**, Jiang, B., Joshi, U. C., Kimeswenger, S., Messineo, M., **Miville-Deschênes, M.-A.**, Moneti, A., Morris, M., Ojha, D. K., Ortiz, R., Ott, S., Parthasarathy, M., **Pérou, M.**, Price, S. D., Robin, A. C., Schultheis, M., Schuller, F., Simon, G., Soive, A., Testi, L., Teyssier, D., Tiphène, D., Unavane, M., van Loon, J. T., and Wyse, R. (2003). ISOGAL: A deep survey of the obscured inner Milky Way with ISO at 7  $\mu$  m and 15  $\mu$  m and with DENIS in the near-infrared. *A&A*, 403:975-992.
92. **Pagani, L.**, Lagache, G., Bacmann, A., Motte, F., Cambrésy, L., Fich, M., Teyssier, D., **Miville-Deschênes, M.-A.**, Pardo, J.-R., Apponi, A. J., and Stepnik, B. (2003a). L183 (L134N) Revisited. I. The very cold core and the ridge. *A&A*, 406:L59-L62.
93. **Pagani, L.**, Olofsson, A. O. H., Bergman, P., Bernath, P., Black, J. H., Booth, R. S., Buat, V., Crovisier, J., Curry, C. L., **Encrenaz, P. J.**, **Falgarone, E.**, Feldman, P. A., Fich, M., Floren, H. G., Frisk, U., **Gerin, M.**, Gregersen, E. M., Harju, J., Hasegawa, T., Hjalmarsen, Å., Johansson, L. E. B., Kwok, S., Larsson, B., Lecacheux, A., Liljeström, T., Lindqvist, M., Liseau, R., Mattila, K., Mitchell, G. F., Nordh, H. L., Olberg, M., Olofsson, G., Ristorcelli, I., Sandqvist, A., von Schéele, F., Serra, G., Tothill, N. F., Volk, K., Wiklind, T., and Wilson, C. D. (2003b). Low upper limits on the O<sub>2</sub> abundance from the Odin satellite. *A&A*, 402:L77-L81.

## Liste de publications

94. Paulin-Henriksson, S., Baillon, P., Bouquet, A., Carr, B. J., Crézé, M., Evans, N. W., Giraud-Héraud, Y., Gould, A., Hewett, P., Kaplan, J., Kerins, E., Le Du, Y., **Melchior, A.-L.**, Smartt, S. J., Valls-Gabaud, D., and The POINT-AGAPE Collaboration (2003). The POINT-AGAPE survey: 4 high signal-to-noise microlensing candidates detected towards M 31. *A&A*, 405:15-21.
95. Pen, U., Lu, T., van Waerbeke, L., and **Mellier, Y.** (2003a). The three-dimensional power spectrum of dark and luminous matter from the VIRMOS-DESCART cosmic shear survey. *MNRAS*, 346:994-1008.
96. Pen, U., Zhang, T., van Waerbeke, L., **Mellier, Y.**, Zhang, P., and Dubinski, J. (2003b). Detection of Dark Matter Skewness in the VIRMOS-DESCART Survey: Implications for  $\Omega_0$ . *ApJ*, 592:664-673.
97. Pesenti, N., Dougados, C., **Cabrit, S.**, O'Brien, D., Garcia, P., and Ferreira, J. (2003). Near-IR [Fe II] emission diagnostics applied to cold disk winds in young stars. *A&A*, 410:155-164.
98. **Pety, J.** and **Falgarone, E.** (2003). Non-Gaussian velocity shears in the environment of low mass dense cores. *A&A*, 412:417-430.
99. Pichon, C., Scannapieco, E., Aracil, B., **Petitjean, P.**, Aubert, D., Bergeron, J., and Colombi, S. (2003). The Clustering of Intergalactic Metals. *ApJ*, 597:L97-L100.
100. **Prigent, C.**, Aires, F., and Rossow, W. B. (2003a). Land surface skin temperatures from a combined analysis of microwave and infrared satellite observations for an all-weather evaluation of the differences between air and skin temperatures. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 108(D10):5-1.
101. **Prigent, C.**, Aires, F., and Rossow, W. B. (2003b). Retrieval of Surface and Atmospheric Geophysical Variables over Snow-Covered Land from Combined Microwave and Infrared Satellite Observations. *Journal of Applied Meteorology*, 42:368-380.
102. **Prigent, C.**, **Munier, J. M.**, Ruffie, G., and Roger, J. (2003c). Interpretation of passive microwave satellite images over Oman and Egypt. *EGS - AGU - EUG Joint Assembly, Abstracts from the meeting held in Nice, France, 6 - 11 April 2003, abstract #6456*, pages 6456-+.
103. Ramon Medrano, M. and **Sanchez, N. G.** (2003). New dual relations between quantum field theory and string regimes in curved backgrounds. *Modern Physics Letters A*, 18:2537-2544.
104. Ransom, R. R., Bartel, N., Bietenholz, M. F., Ratner, M. I., Lebach, D. E., Shapiro, I. I., and **Lestrade, J.-F.** (2003). Very Long Baseline Interferometry Imaging of the RS Canum Venaticorum Binary Star System HR 5110. *ApJ*, 587:390-397.
105. Reshetnikov, V. P., Dettmar, R.-J., and **Combes, F.** (2003). On the global structure of distant galactic disks. *A&A*, 399:879-887.
106. Roche, M., Bracco, C., Aime, C., Lant eri, H., and **Mellier, Y.** (2003). Reduction of ringing effects by an improved deconvolution algorithm. Application to A370 CFHT image of gravitational arcs. *A&A*, 409:387-394.
107. Rodriguez, S., Paillou, P., Dobrijevic, M., Ruffi e, G., Coll, P., Bernard, J. M., and **Encrenaz, P.** (2003). Impact of aerosols present in Titan's atmosphere on the CASSINI radar experiment. *Icarus*, 164:213-227.
108. Rodríguez-Fernández, N. J., Martín-Pintado, J., Fuente, A., and Wilson, T. L. (2003). Warm molecular gas, dust and ionized gas in the 500 central pc of the Galaxy. *Astronomische Nachrichten, Supplementary Issue 1, Proceedings of the Galactic Center Workshop 2002 - The central 300 parsecs of the Milky Way.*, 324:59-63.
109. Rodriguez-Rico, C. A., Goss, W. M., **Viallefond, F.**, and Zhao, J. H. (2003a). High Angular Resolution ( $\sim 1''$ ) Observations of Extragalactic Radio Recombination Lines at Low (8.3 GHz) and High ( $\sim 43$  GHz) Frequencies. *American Astronomical Society Meeting*, 203:-+.
110. Rodriguez-Rico, C. A., Goss, W. M., Zhao, J.-H., and **Viallefond, F.** (2003b). VLA observations of the radio recombination line H53 $\alpha$  toward Arp 220. *American Astronomical Society Meeting*, 202:-+.

## Liste de publications

111. Rollinde, E., **Boissé, P.**, Federman, S. R., and Pan, K. (2003a). Small scale structure in molecular gas from multi-epoch observations of HD 34078. *A&A*, 401:215-226.
112. Rollinde, E., **Petitjean, P.**, Pichon, C., Colombi, S., Aracil, B., D'Odorico, V., and Haehnelt, M. G. (2003b). The correlation of the Lyman  $\alpha$  forest in close pairs and groups of high-redshift quasars: clustering of matter on scales of 1-5 Mpc. *MNRAS*, 341:1279-1289.
113. Roueff, E. and **Gerin, M.** (2003). Deuterium in Molecules of the Interstellar Medium. *Space Science Reviews*, 106:61-72.
114. Rudnick, G., White, S., Aragón-Salamanca, A., Bender, R., Best, P., Bremer, M., Charlot, S., Clowe, D., Dalcanton, J., Dantel, M., de Lucia, G., Desai, V., Fort, B., Halliday, C., Jablonka, P., Kauffmann, G., **Mellier, Y.**, Milvang-Jensen, B., Pello, R., Poggianti, B., Poirier, S., Röttgering, H., Saglia, R., Schneider, P., Simard, L., and Zaritsky, D. (2003). Studying high redshift galaxy clusters with the ESO Distant Cluster Survey. *The Messenger*, 112:19-+.
115. Salomé, P. and **Combes, F.** (2003). Cold molecular gas in cooling flow clusters of galaxies. *A&A*, 412:657-667.
116. **Sanchez, N. G.** (2003a). Advances in String Theory in Curved Backgrounds. *International Journal of Modern Physics A*, 18:2011-2022.
117. **Sanchez, N. G.** (2003b). classical and quantum strings in plane waves, shock waves and space-time singularities: *International Journal of Modern Physics A*, 18:4797-4809.
118. Sandqvist, A., Bergman, P., Black, J. H., Booth, R., Buat, V., Curry, C. L., **Encrenaz, P.**, **Falgarone, E.**, Feldman, P., Fich, M., Floren, H. G., Frisk, U., **Gerin, M.**, Gregersen, E. M., Harju, J., Hasegawa, T., Hjalmarson, Å., Johansson, L. E. B., Kwok, S., Larsson, B., Lecacheux, A., Liljeström, T., Lindqvist, M., Liseau, R., Mattila, K., Mitchell, G. F., Nordh, L., Olberg, M., Olofsson, A. O. H., Olofsson, G., **Pagani, L.**, Plume, R., Ristorcelli, I., Schéele, F. v., Serra, G., Tothill, N. F. H., Volk, K., Wilson, C. D., and Winnberg, A. (2003a). Odin observations of H<sub>2</sub>O in the Galactic Centre. *A&A*, 402:L63-L67.
119. Sandqvist, A., Bergman, P., Hjalmarson, Å., **Falgarone, E.**, Liljeström, T., Lindqvist, M., Winnberg, A., and the Odin Team (2003b). The Search for Water and Other Molecules in the Galactic Centre with the Odin Satellite Aa. *Astronomische Nachrichten Supplement*, 324:161-165.
120. Sauty, S., **Casoli, F.**, Boselli, A., **Gerin, M.**, **Lequeux, J.**, Braine, J., Gavazzi, G., Dickey, J., Kazès, I., and Fouqué, P. (2003a). <sup>12</sup>CO(1-0) observation of isolated late-type galaxies. *A&A*, 411:381-390.
121. Sauty, S., **Casoli, F.**, Boselli, A., **Gerin, M.**, **Lequeux, J.**, Braine, J., Gavazzi, G., Dickey, J., Kazès, I., and Fouque, P. (2003b). CO observation of isolated galaxies (Sauty+, 2003). *VizieR Online Data Catalogue*, 341:10381-+. Catalogue VizieR.
122. Schuller, F., Ganesh, S., Messineo, M., Moneti, A., Blommaert, J. A. D. L., Alard, C., Aracil, B., **Miville-Deschênes, M.-A.**, Omont, A., Schultheis, M., Simon, G., Soive, A., and Testi, L. (2003). Explanatory supplement of the ISOGAL-DENIS Point Source Catalogue. *A&A*, 403:955-974.
123. **Spielfiedel, A.** (2003). Ab initio calculation of electronic transition moments for singlet excited states of the H<sub>2</sub> molecule. *Journal of Molecular Spectroscopy*, 217:162-172.
124. Sprengers, J. P., Ubachs, W., Baldwin, K. G. H., Lewis, B. R., and **Tchang-Brillet, W.-U. L.** (2003). Extreme ultraviolet laser excitation of isotopic molecular nitrogen: The dipole-allowed spectrum of <sup>15</sup>N<sub>2</sub> and <sup>14</sup>N<sup>15</sup>N. *J. Chem. Phys.*, 119:3160-3173.
125. Stepnik, B., Abergel, A., Bernard, J.-P., Boulanger, F., Cambrésy, L., Giard, M., Jones, A. P., Lagache, G., Lamarre, J.-M., Meny, C., Pajot, F., Le Peintre, F., Ristorcelli, I., Serra, G., and Torre, J.-P. (2003). Evolution of dust properties in an interstellar filament. *A&A*, 398:551-563.
126. Testor, G., **Lemaire, J.-L.**, and Field, D. (2003). The physical properties of the compact star forming region N88A and its neighbourhood in the SMC. I. Excitation and abundances. *A&A*, 407:905-912.

## Liste de publications

127. The VIRGO collaboration, Acernese, F., Amico, P., Arnaud, N., Babusci, D., Ballardin, G., Barillé, R., Barone, F., Barsuglia, M., Beauville, F., Bellachia, F., Bizouard, M. A., Boccara, C., Boget, D., Bondu, F., Bourgoïn, C., Bozzi, A., Braccini, S., Bradaschia, C., Brillet, A., Brisson, V., Brocco, L., Buskulic, D., Cachenaut, J., Calamai, G., Calloni, E., Campagna, E., Casciano, C., Cattuto, C., Cavalier, F., Cavaliere, S., Cavalieri, R., Cella, G., Chassande-Mottin, E., Chollet, F., Cleva, F., Cokelaer, T., Conforto, G., Cortese, S., Coulon, J. P., Cuoco, E., Dattilo, V., Y David, P., Davier, M., DeRosa, M., DeRosa, R., Di Fiore, L., Di Virgilio, A., Dujardin, B., Dominici, P., Eleuteri, A., Enard, D., Evangelista, G., Ferrante, I., Fidecaro, F., Fiori, I., Flaminio, R., Forest, D., Fournier, J. D., Fournier, L., Frasca, S., Frasconi, F., Gammaitoni, L., Ganau, P., Gennai, A., Gennaro, G., Giacobone, L., Giazotto, A., Giordano, G., Girard, C., Gougoulat, G., Guidi, G. M., Heitmann, H., Hello, P., Hermel, R., Heusse, P., Holloway, L., Honglie, F., Iannarelli, M., Journet, L., Krecklbergh, S., Lagrange, B., La Penna, P., Leliboux, M., Lieunard, B., Lomtadze, T., Lorient, V., Losurdo, G., Loupias, M., Mackowski, J. M., Majorana, E., Man, C. N., Marchesoni, F., Marion, F., Martelli, F., Masserot, A., Massonnet, L., Mataguez, S., Menzinger, F., Mazzoni, M., Michel, C., Milano, L., Montorio, J. L., Moreau, F., Moreau, J., Morgado, N., Mornet, F., Mours, B., Mugnier, P., Nenci, F., Pacheco, J., Pai, A., Palomba, C., Paoletti, F., Paoli, A., Paoli, L., Pasqualetti, A., Passaquieti, R., Passuello, D., Perciballi, M., Peruzzi, S., Perniola, B., Pinard, L., Poggiani, R., Popolizio, P., Porter, E., Puccinelli, S., Punturo, M., Puppo, P., Qipiani, K., Ramonet, J., Rapagnani, P., Reita, V., Remillieux, A., Ricci, F., Richard, F., Roger, J. P., Ruggi, P., Russo, G., Solimeno, S., Stanga, R., Taddei, R., Teuler, J. M., Tournefier, E., Travasso, F., Trinquet, H., Turri, E., **Varvella, M.**, Verkindt, D., Vetrano, F., Veziant, O., Viceré, A., Vilalte, S., Y Vinet, J., Vocca, H., Yvert, M., and Zhang, Z. (2003). Data analysis methods for non-Gaussian, nonstationary and nonlinear features and their application to VIRGO. *Classical and Quantum Gravity*, 20:915-.
128. Wilson, C. D., Mason, A., Gregersen, E., Olofsson, A. O. H., Bergman, P., Booth, R., Boudet, N., Buat, V., Curry, C. L., **Encrenaz, P.**, **Falgarone, E.**, Feldman, P., Fich, M., Floren, H. G., Frisk, U., **Gerin, M.**, Harju, J., Hasegawa, T., Hjalmarsen, Å., Juvela, M., Kwok, S., Larsson, B., Lecacheux, A., Liljestrom, T., Liseau, R., Mattila, K., Mitchell, G., Nordh, L., Olberg, M., Olofsson, G., **Pagani, L.**, Plume, R., Ristorcelli, I., Sandqvist, A., Serra, G., Tothill, N., Volk, K., and von Scheele, F. (2003). Submillimeter emission from water in the W3 region. *A&A*, 402:L59-L62.
129. Winters, J. M., **Le Bertre, T.**, Jeong, K. S., Nyman, L. -Å., and Epchtein, N. (2003). Mass-loss from dusty, low outflow-velocity AGB stars. I. Wind structure and mass-loss rates. *A&A*, 409:715-735.
130. Wozniak, H., **Combes, F.**, Emsellem, E., and Friedli, D. (2003). Numerical simulations of central stellar velocity dispersion drops in disc galaxies. *A&A*, 409:469-477.
131. Wu, Y., da Silva, M. F., **Santos, N. O.**, and Wang, A. (2003). Topological charged black holes in high dimensional spacetimes and their formation from gravitational collapse of a type II fluid. *Phys. Rev. D*, 68(8):084012-+.

### 9.1.4.2 Actes de colloques

1. **Allard, N. F.**, Bourdoux, S., Kielkopf, J. F., Hébrard, G., Désert, J.-M., Ferlet, R., Vidal-Madjar, A., Hubeny, I., and Peek, J. M. (2003a). Lyman gamma satellites due to H-H<sup>+</sup> collisions: Application to FUSE observations of hot white dwarfs. In *NATO ASIB Proc. 105: White Dwarfs*, pages 161-+.
2. **Allard, N. F.**, Hébrard, G., Ferlet, R., Vidal-Madjar, A., Hubeny, I., and Lacour, S. (2003b). Quasi-molecular lines in Lyman wings of cool DA white dwarfs; Application to FUSE observations of G 231-40. In *NATO ASIB Proc. 105: White Dwarfs*, pages 163-+.
3. **Allard, N. F.**, Loeillet, B., Kielkopf, J., and Hébrard, G. (2003c). Density and temperature dependence of the Lyman lines in DA white dwarf atmospheres. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Française*, pages 579-+.
4. Arnaboldi, M., Iodice, E., **Bournaud, F.**, **Combes, F.**, Sparke, L. S., van Driel, W., and Capaccioli, M. (2003). Polar-Ring Galaxies and the Tully-Fisher Relation. In *IAU Symposium*.
5. Arnaud-Varvella, M., **Angonin-Willaime, M.-C.**, and **Tourenç, P.** (2003a). Gravitational Lensing as a tool to detect Gravitational Waves: is the signal amplification interesting for detection? In *Published in the Conference Proceedings Thinking, Observing and Mining the Universe, Sorrento 22-27/09/2003*.

## Liste de publications

6. Arnaud-Varvella, M., **Angonin-Willaime, M.-C.**, and **Tourenne, P.** (2003b). Gravitational lensing of gravitational waves (application to gravitational waves detectors). In *Published in the Conference Proceedings "Gravitational lensing: a unique tool for cosmology"*, Jan. 5-11, Aussois, Savoie, France.
7. Arnaud-Varvella, M., **Angonin-Willaime, M.-C.**, and **Tourenne, P.** (2003c). Gravitational lensing of gravitational waves applied to gravitational waves detectors. In *Published in the Conference Proceedings XXXVIIIÈmes Rencontres de Moriond "Gravitational Waves and Experimental Gravity"*, Mar. 22-29, Les Arcs (France).
8. **Baubert, J.**, **Salez, M.**, **Delorme, Y.**, Pons, P., Goltsman, G., Merkel, H., and Leconte, B. (2003). Membrane-based HEB mixer for THz applications. In *Smart Sensors, Actuators, and MEMS. Edited by Chiao, Jung-Chih; Varadan, Vijay K.; Cane, , Carles. Proceedings of the SPIE, Volume 5116, pp. 551-562 (2003).*, pages 551-562.
9. Baubert, J., Salez, M., and Merkel, H. (2003). Heterodyne camera for THz applications. In *proc. MEMSRF 2003, Toulouse.*
10. Block, D. L., **Bournaud, F. C.**, **Combes, F.**, Puerari, I., and Buta, R. J. (2003). Spiral Galaxies in Our Low-Z Universe are Open Systems. In *IAU Symposium.*
11. **Boussaha, F.**, **Salez, M.**, **Delorme, Y.**, and Chaubet, M. (2003a). Parallel-Arrays of Superconducting Tunnel Junctions as Submillimeter-Wave Oscillators . In *European Conference on Applied Superconductivity, EUCAS'03, Sorrento (Napoli), Italy.*
12. **Boussaha, F.**, **Salez, M. C.**, **Delorme, Y.**, **Feret, A.**, **Lecomte, B.**, **Westerberg, K.**, and Chaubet, M. (2003b). Submillimeter mixers based on superconductive parallel junction arrays. In *Smart Sensors, Actuators, and MEMS. Edited by Chiao, Jung-Chih; Varadan, Vijay K.; Cane, , Carles. Proceedings of the SPIE, Volume 5116, pp. 563-570 (2003).*, pages 563-570.
13. **Combes, F.** and **Melchior, A.-L.** (2003). A library of galaxy mergers. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 15-+.
14. Cordisco, E. (2003a). Sensitivity of satellite observations to snow characteristic. In IEEE, editor, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium.* IEEE.
15. Cordisco, E. (2003b). Sensitivity of satellite observations to snow characteristics. In des Études Spatiales, C. N., editor, *Hydrology from Space.* Centre National des Études Spatiales.
16. **Coulais, A.** and Abergel, A. Fouks, B. (2003). Transient effects of IR photodetectors: the lessons from ISO. In Wolf, J., Farhoomand, J., and McCreight, C., editors, *Far-Infrared, Sub-MM and MM Detector Workshop, Monterey, CA, USA, 1-3 April 2002; NASA/CP-211408.*
17. **Daniel, F.** (2003). Collisionnal rates of  $N_2H^+$ . In *1<sup>er</sup> Congreso Nacional de Astrofísica Molecular: Una visión general del potencial de los grupos de química espa~ noles anters los nuevos desafíos de la Astrofísica*, pages 81-+.
18. **Daniel, F.**, **Dubernet, M.-L.**, and **Pagani, L.** (2003). Hyperfine selective collisional excitation of  $N_2H^+$  by He. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 205-+.
19. David, T., Thomas, B., Arscott, S., Maestrini, A., Akalin, T., Beaudin, G., Boulanger, C., and Lippens, D. (2003). Tripleur de fréquences en technologie monolithique fonctionnant à 300 ghz. In *13Èmes JournÈes Nationales Microondes*, Lille; France.
20. de Oliveira, M. R. and **Combes, F.** (2003). Numerical studies of m=1 instabilities in nuclear stellar discs around black holes. In *ASP Conf. Ser. 290: Active Galactic Nuclei: From Central Engine to Host Galaxy*, pages 493-+.
21. **Derouich, M.**, **Bommier, V.**, Landi degl'Innocenti, E., Molodij, G., and **Sahal-Bréchet, S.** (2003a). Diagnostic of turbulent magnetic fields in solar quiet regions by their Hanle effect in the Sr I 4607Å line. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 113-+.

## Liste de publications

22. **Derouich, M., Sahal-Bréchet, S.,** and Barklem, P. S. (2003b). Depolarization rates of spectral lines of neutral and singly ionised atoms by isotropic collisions with hydrogen atoms. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 89-+.
23. Dolensky, M., Quinn, P. J., Benvenuti, P., Diamond, P., Dolensky, M., Genova, F., Lawrence, A., and **Mellier, Y.** (2003). The Astrophysical Virtual Observatory Avo. In *Large Telescopes and Virtual Observatory: Visions for the Future, 25th meeting of the IAU, Joint Discussion 8, 17 July 2003, Sydney, Australia*, volume 8.
24. Downes, T. P. and **Cabrit, S.** (2003). Jet-Accelerated Molecular Outflows: The Mass-Velocity and Intensity-Velocity Relations. In *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series*, pages 120-122.
25. Duc, P.-A., **Bournaud, F.,** and Masset, F. (2003). Identifying old Tidal Dwarf Galaxies in Simulations and in the Nearby Universe. In *IAU Symposium*.
26. Dupac, X., Bernard, J.-P., Boudet, N., Giard, M., **Lamarre, J.-M.,** Mény, C., Pajot, F., and Ristorcelli, I. (2003). Inverse temperature dependence of the dust submillimeter spectral index. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 207-+.
27. Ellison, S., Ibata, R., Aracil, B., Lewis, G., **Petitjean, P.,** and Pettini, M. (2003). Structure and Enrichment of High Redshift Galactic Halos. In *IAU Symposium*.
28. **Falgarone, E., Hily-Blant, P.,** and **Lewrier, F.** (2003). Structure of molecular clouds. In *Magnetic fields and star formation*.
29. **Feautrier, N., Spielfiedel, A.,** and **Dubernet, M. L.** (2003). Molecule H<sub>2</sub>/He potential energy surfaces and collisional cross sections. In *1<sup>er</sup> Congreso Nacional de Astrofísica Molecular: Una visión general del potencial de los grupos de química españoles ante los nuevos desafíos de la Astrofísica*, pages 28-+.
30. Field, D., Gendron, E., Rouan, D., Lacombe, F., Clenet, Y., **Lemaire, J.-L., Callejo, G.,** and Gustafsson, M. (2003a). Imaging in Orion: Naos-Conica Adaptive Optics on the Eso-Vlt. In *IAU Symposium*.
31. Field, D., Gustafsson, M., Kristensen, L., Clenet, Y., Lemaire, J.-L., Pineau Des Forêts, G., Rouan, D., and Le Coarer, E. (2003b). Shocks and Star Formation in Orion: First Light with Grif. In *IAU Symposium*.
32. Fromang, S., de Villiers, J.-P., and **Balbus, S. A.** (2003). Numerical simulations of self-gravitating magnetized disks. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 519-+.
33. **Hennebelle, P.,** Belloche, A., Whitworth, A., and André, P. (2003). Protostellar collapse induced by compression. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 167-+.
34. **Heydari-Malayeri, M.,** Charmandaris, V., Deharveng, L., **Meynadier, F.,** Rosa, M. R., Schaerer, D., and Zinnecker, H. (2003). A HST study of young massive star clusters in compact H II regions of the Magellanic Clouds. In *IAU Symposium*, pages 553-+.
35. **Hily-Blant, P.,** Dutrey, A., Roueff, E., Pineau Des Forêts, G., and Guilloteau, S. (2003a). Molecular Survey in Discs. In *IAU Symposium*.
36. **Hily-Blant, P., Falgarone, E.,** Pineau Des Forêts, G., and Phillips, T. G. (2003b). A molecular filament threaded by helical magnetic fields? In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 171-+.
37. Iodice, E., Arnaboldi, M., **Bournaud, F., Combes, F.,** Sparke, L. S., van Driel, W., and Capaccioli, M. (2003). PRGs and the TF Relation: Implications for the DH Shape. In *IAU Symposium*.
38. Jeong, K. S., Winters, J. M., **Le Bertre, T.,** and Sedlmayr, E. (2003). Theoretical color mass-loss relations for O-rich Mira stars. In *ASSL Vol. 283: Mass-Losing Pulsating Stars and their Circumstellar Matter*, pages 139-+.

## Liste de publications

39. **Lamarre, J.-M.**, Puget, J.-L., Piat, M., Ade, P. A. R., Lange, A. E., Benoît, A., De Bernardis, P., Bouchet, F. R., Bock, J. J., Desert, F. X., Emery, R. J., Giard, M., Maffei, B., Murphy, J. A., Torre, J., Bhatia, R., Sudiwala, R. V., and Yourchenko, V. (2003). Planck high-frequency instrument. In *IR Space Telescopes and Instruments. Edited by John C. Mather . Proceedings of the SPIE, Volume 4850, pp. 730-739 (2003).*, pages 730-739.
40. Le Fevre, O., Vettolani, G., Maccagni, D., Mancini, D., Mazure, A., **Mellier, Y.**, Picat, J. P., Arnaboldi, M., Bardelli, S., **Bertin, E.**, Busarello, G., Cappi, A., Charlot, S., Chincarini, G., Colombi, S., **Dantel-Fort, M.**, Foucaud, S., Garilli, B., Guzzo, L., Iovino, A., Marinoni, C., Mathez, G., McCracken, H., Pello, R., Radovich, M., Ripepi, V., Saracco, P., Scaramella, R., Scoreggio, M., Tresse, L., Zanichelli, A., Zamorani, G., and Zucca, E. (2003). Virgos-VLT deep survey (VVDS). In *Discoveries and Research Prospects from 6- to 10-Meter-Class Telescopes II. Edited by Guhathakurta, Puragra. Proceedings of the SPIE, Volume 4834, pp. 173-182 (2003).*, pages 173-182.
41. Le Floch, E., Duc, P., Mirabel, F., Sanders, D., **Combes, F.**, Kneib, J., Bosch, G., Courvoisier, T., Minniti, D., and Greiner, J. (2003). Are the Cosmic GRBS Reliable Tracers of Star Formation ? In *IAU Symposium*.
42. Le Petit, F., **Boissé, P.**, Roueff, E., Rollinde, E., Pineau Des Forêts, G., Gry, C., and Felenbok, P. (2003). FUSE and CFHT observations towards HD 34078. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Française*, pages 183-+.
43. Lefloch, B., Cernicharo, J., and **Cabrit, S.** (2003). H<sub>2</sub> and dust emission in protostellar jets. In *1<sup>er</sup> Congreso Nacional de Astrofísica Molecular: Una visión general del potencial de los grupos de química espacial ante los nuevos desafíos de la Astrofísica*, pages 40-+.
44. **Lemaire, J.-L.**, Field, D., **Callejo, G.**, Pineau Des Forêts, G., Pijpers, F. P., and Bourke, T. L. (2003). Observations of BHR71 Using the Eso-Vlt. In *IAU Symposium*.
45. Leon, S., Lim, J., **Combes, F.**, and Dinh-v-Trung (2003). Molecular gas in nearby Early-Type Powerful Classical Radio Galaxies. In *ASP Conf. Ser. 290: Active Galactic Nuclei: From Central Engine to Host Galaxy*, pages 525-+.
46. **Lestrade, J.-F.** (2003). Future Astrometry with ALMA to Characterize Extrasolar Planet Orbits. In *ASP Conf. Ser. 294: Scientific Frontiers in Research on Extrasolar Planets*, pages 587-590.
47. Lim, J., Leon, S., **Combes, F.**, and Dinh-v-Trung (2003). Molecular Gas Reservoir in low-z Powerful Radio Galaxies. In *ASP Conf. Ser. 290: Active Galactic Nuclei: From Central Engine to Host Galaxy*, pages 529-+.
48. Loinard, L., **Lequeux, J.**, Tilanus, R. P. T., and Lagage, P. O. (2003). Submillimeter Observations of Cassiopeia A. In *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica Conference Series*, pages 267-269.
49. Maestrini, A., Ward, J., Gill, J., Chattopadhyay, G., Maiwald, F., Ellis, K., Javadi, H., and Mehdi, I. (2003). A Planar-Diode Frequency Tripler at 1.9THz. In *Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-S International, Vol. 2, Philadelphia, Pennsylvania, June 8-13*, pages 747-750.
50. Maiwald, F., Schlecht, E., **Maestrini, A.**, Chattopadhyay, G., Pearson, J. C., Pukala, D., and Mehdi, I. (2003). THz frequency multiplier chains based on planar Schottky diodes. In *Millimeter and Submillimeter Detectors for Astronomy. Edited by Phillips, Thomas G.; Zmuidzinas, Jonas. Proceedings of the SPIE, Volume 4855, pp. 447-458 (2003).*, pages 447-458.
51. Mamon, G. A., Giraud, F., Rassia, E., Bocquien, M., Borsenberger, J., Simon, G., Epchtein, N., Theureau, G., and **Bertin, E.** (2003). The DENIS Galaxy Samples. In *IAU Symposium*.
52. Márquez, I. and **Petitjean, P.** (2003). Adaptive Optics imaging of Quasar Hosts. In *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica Conference Series*, pages 135-139.
53. Martins, F., Schaerer, D., and **Heydari-Malayeri, M.** (2003a). Spectroscopic analysis of new-born massive stars in SMC N 81. In *IAU Symposium*, pages 564-+.

## Liste de publications

54. Martins, F., Schaerer, D., **Heydari-Malayeri, M.**, and Hillier, D. (2003b). Stellar and wind properties of young O stars in SMC-N81. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 543-+.
55. Martins, F., Schaerer, D., **Heydari-Malayeri, M.**, and Hillier, J. (2003c). Stellar Content of the Compact Star Forming Region SMC-N81. In *IAU Symposium*.
56. **Melchior, A.-L., Combes, F.**, and Pennypacker, C. (2003). Supernova rates and Host galaxies properties in the Local Universe. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 305-+.
57. **Mellier, Y.**, van Waerbeke, L., Bernardeau, F., and Tereno, I. (2003a). Cosmological Weak Lensing. In *Astronomy, Cosmology and Fundamental Physics*, pages 25-+.
58. **Mellier, Y.**, van Waerbeke, L., **Bertin, E.**, Tereno, I., Schneider, P., Bernardeau, F., and Erben, T. (2003b). Prospects for weak lensing/cosmic shear with VLTs. In *Discoveries and Research Prospects from 6- to 10-Meter-Class Telescopes II. Edited by Guhathakurta, Puragra. Proceedings of the SPIE, Volume 4834, pp. 223-237 (2003).*, pages 223-237.
59. **Meynadier, F.** and **Heydari-Malayeri, M.** (2003). Near-Infrared observations of High-Excitation Blob environments in the Magellanic Clouds. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 603-+.
60. **Miville-Deschênes, M.-A.**, Boulanger, F., Abergel, A., and Bernard, J.-P. (2003a). Optimizing ISOCAM Data Processing using Spatial Redundancy. In *ESA SP-481: The Calibration Legacy of the ISO Mission*, pages 427-+.
61. **Miville-Deschênes, M.-A.**, Boulanger, F., Joncas, G., and Falgarone, E. (2003b). Using ISOCAM data to study diffuse interstellar dust emission dust emission. In *ESA SP-511: Exploiting the ISO Data Archive. Infrared Astronomy in the Internet Age*, pages 181-+.
62. **Nguyen-Quang-Rieu** (2003). L'Univers, un laboratoire naturel. In Maison d'Édition scientifique et technique, H., editor, *Itinéraires conduisant vers les étoiles (en vietnamien)*.
63. Ochsenein, F., Bertout, C., **Lequeux, J.**, and Genova, F. (2003). Navigating from Publications to Astronomical Databases. In *Library and Information Services in Astronomy IV (LISA IV)*, pages 257-+.
64. Orhac, J. and Thomas, B. (2003). Design and characterization of a 330-350 ghz sub harmonically pumped mixer with circular rf waveguide based on schottky barrier diodes. In *Proc. 3rd ESA Workshop on Millimeter Wave Technology and Applications : Circuits; Systems; and Measurement Techniques; MilliLab*, Espoo, Finlande.
65. Ott, S., Gastaud, R., Guest, S., Delaney, M., Sam-Lone, J., Starck, J.-L., Ali, B., Aussel, H., Claret, A., Landriu, D., **Miville-Deschênes, M.-A.**, Sauvage, M., and Vivares, F. (2003). The ISOCAM Interactive Analysis System (CIA): A Review of Seven Years of Development. In *ESA SP-481: The Calibration Legacy of the ISO Mission*, pages 275-+.
66. **Pagani, L.**, Apponi, A. J., Bacmann, A., Cambrésy, L., Fich, M., Lagache, G., **Miville-Deschênes, M.-A.**, Motte, F., and Pardo, J.-R. (2003). L183 (L134N), dust, gas and depletion. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 195-+.
67. Pearson, J. C., Mehdi, I., Schlecht, E., Maiwald, F., **Maestrini, A.**, Gill, J. J., Martin, S. C., Pukala, D., Ward, J., Kawamura, J., McGrath, W. R., Hatch, W., Harding, D. G., LeDuc, H. G., Stern, J. A., Bumble, B., Samoska, L. A., Gaier, T. C., Ferber, R., Miller, D., Karpov, A., Zmuidzinas, J., Phillips, T. G., Erickson, N. R., Swift, J., Chung, Y., Lai, R., and Wang, H. (2003). THz frequency receiver instrumentation for Herschel's heterodyne instrument for far infrared (HIFI). In *IR Space Telescopes and Instruments. Edited by John C. Mather . Proceedings of the SPIE, Volume 4850, pp. 650-661 (2003).*, pages 650-661.
68. **Pérault, M.** (2003). Pre-flight Calibration of ISOCAM. In *ESA SP-481: The Calibration Legacy of the ISO Mission*, pages 45-+.

## Liste de publications

69. Péroux, C., **Petitjean, P.**, Aracil, B., Irwin, M., and McMahon, R. (2003). CIV Absorbers in  $z > 4$  Quasars: Tracing Early Galactic Halos Evolution. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Française*, pages 37-+.
70. **Petitjean, P.** (2003a). H2 and HD Absorption Lines at High Redshift. In *The Astrochemistry of External Galaxies, 25th meeting of the IAU, Joint Discussion 21, 23 July 2003, Sydney, Australia*, volume 21.
71. **Petitjean, P.** (2003b). Metals in the Universe: from Galactic Disks to the IGM. In *IAU Symposium*.
72. **Petitjean, P.** (2003c). Structures in the Intergalactic Medium. In *IAU Symposium*.
73. Piat, M., **Lamarre, J.-M.**, Meisssonier, J., Torre, J., Camus, P., Benoît, A., Crussaire, J., Ade, P. A. R., Bock, J. J., Lange, A. E., Bhatia, R., Maffei, B., Puget, J.-L., and Sudiwala, R. V. (2003). Planck-HFI thermal architecture: from requirements to solutions. In *IR Space Telescopes and Instruments. Edited by John C. Mather. Proceedings of the SPIE, Volume 4850, pp. 740-748 (2003).*, pages 740-748.
74. Reylé, C., Crézé, M. C., Robin, A., Mohan, V., Cuillandre, J., Le Fèvre, O., Mac Cracken, H., and **Mellier, Y.** (2003). Dark Halo Baryons not in Ancient White Dwarfs. In *White Dwarfs: Galactic and Cosmologic Probes, 25th meeting of the IAU, Joint Discussion 5, 16-17 July 2003, Sydney, Australia*, volume 5.
75. Ristorcelli, I., Dupac, X., Boudet, N., Abergel, A., Bernard, J.-P., Giard, M., Jones, A., **Lamarre, J.-M.**, Meny, C., Pajot, F., Serra, G., Stepnik, B., and Torre, J. P. (2003). PRONAOS submillimeter continuum observations: new insights on interstellar dust. In *Astrophysics of Dust*.
76. Rodriguez, S., Paillou, P., Dobrijevic, M., Ruffié, G., Coll, P., Bernard, J. M., and **Encrenaz, P.** (2003). Impact of Titan's atmosphere on the Cassini radar experiment. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Française*, pages 147-+.
77. **Salez, M.**, **Delorme, Y.**, **Péron, I.**, **Lecomte, B.**, **Dauplay, F.**, **Boussaha, F.**, Spatazza, J., **Feret, A.**, **Krieg, J.-M.**, and Schuster, K. (2003a). A 30% bandwidth tunerless SIS mixer of quantum-limited sensitivity for Herschel / HIFI Band 1. In Phillips, T. G. and Zmuidzinas, J., editors, *Millimeter and Submillimeter Detectors for Astronomy. Proceedings of the SPIE*, volume 4855, pages 402-414.
78. **Salez, M.**, Pons, P., **Baubert, J.**, **Delorme, Y.**, and Gol'tsman, G. (2003b). Hot Electron Bolometer on membranes for THz applications. In Jung-Chih, C., Varadan, V. K., and Cane, C., editors, *Smart Sensors, Actuators, and MEMS, Proceedings of the SPIE, 1st Int.Symp Microtechnologies for the New Millennium 2003; Maspalomas; Canary Islands; Spain*, volume 5116, pages 551-562.
79. Salomé, P. and **Combes, F.** (2003). Mapping cold molecular gas in Abell 1795. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Française*, pages 313-+.
80. Schuster, K., Greve, A., **Hily-Blant, P.**, Planesas, P., Sievers, A., Thum, C., and Wiesemeyer, H. (2003). HERA Manual. In *IRAM report*.
81. **Semelin, B.** and **Combes, F.** (2003). Galactic disc formation from cold fractal gas. In *IAU Symposium*, pages 443-+.
82. **Semelin, B.**, **Gerin, M.**, **Péroux, M.**, and **Combes, F.** (2003). Galaxy simulations to optimize Herschel observations. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Française*, pages 43-+.
83. Srikanand, R., **Petitjean, P.**, and Ledoux, C. (2003a). Molecular Hydrogen in High Z Damped Lyman Alpha Systems. In *The Astrochemistry of External Galaxies, 25th meeting of the IAU, Joint Discussion 21, 23 July 2003, Sydney, Australia*, volume 21.
84. Srikanand, R., **Petitjean, P.**, and Ledoux, C. (2003b). Molecular Hydrogen in High Z Damped Lyman Alpha Systems. In *The Astrochemistry of External Galaxies, 25th meeting of the IAU, Joint Discussion 21, 23 July 2003, Sydney, Australia*, volume 21.
85. Stepnik, B., Pajot, F., **Lamarre, J.-M.**, Abergel, A., Bernard, J.-P., Giard, M., Meny, C., Ristorcelli, I., Serra, G., and Torre, J.-P. (2003). Cross-Calibration of PRONAOS & ISO. In *ESA SP-481: The Calibration Legacy of the ISO Mission*, pages 187-+.

## Liste de publications

86. Testor, G., **Lemaire, J.-L.**, and Field, D. (2003). The Compact Star Forming Region N88A in the SMC. In *IAU Symposium*.
87. Thomas, B., Maestrini, A., Orhac, J., Goutoule, J., and G., B. (2003). Numerical analysis of a 330 ghz sub-harmonic mixer with planar schottky diodes. In ESA, editor, *Proc.3rd ESA Workshop on Millimeter Wave Technology and Applications : Circuits; Systems; and Measurement Techniques; MilliLab*, Espoo, Finlande.
88. **Varvella, M.**, Calloni, E., Di Fiore, L., Milano, L., and Arnaud, N. (2003). Magnetic suspensions for GW interferometric detectors: feasibility and applications. In *Published in the Conference Proceedings Thinking, Observing and Mining the Universe, Sorrento 22-27/09/2003*.
89. Wozniak, H., **Combes, F.**, Emsellem, E., and Friedli, D. (2003). Stellar kinematics of nuclear bars and discs. In *ASP Conf. Ser. 290: Active Galactic Nuclei: From Central Engine to Host Galaxy*, pages 563-+.
90. Yurchenko, V., Murphy, J., and **Lamarre, J.-M.** (2003a). Simulation and comparison of the Planck HFI beams with implication on polarization measurement. In *The 3rd ESA Workshop on millimeter wave technology and applications, May 21-23, 2003, Espoo, Finland*.
91. Yurchenko, V., Murphy, J., and **Lamarre, J.-M.** (2003b). Simulation of the ESA Planck HFI beams of polarised and multimoded horns. In *ICATT's, Sebastopol, Ukraine, Sept 2003*.
92. Zheng, W., Ford, H. C., Kruk, J. W., Tsvetanov, Z. I., Szalay, A., Hartig, G. F., Stockman, H. S., Postman, M., Voit, G. M., Shu, P. K., Greenhouse, M. A., Rix, H., Lenzen, R., Kent, S. M., Stoughton, C., Omont, A., and **Mellier, Y.** (2003). PRIME: probing the very early universe. In *IR Space Telescopes and Instruments. Edited by John C. Mather . Proceedings of the SPIE, Volume 4850, pp. 1132-1136 (2003).*, pages 1132-1136.

### 9.1.4.3 Conférences Invitées

1. **Bommier, V.** Observationset méthodes de dépouillement de données MTR de THÉMIS. In *Atelier Traitement de données du mode MTR de THEMIS du PN Soleil-Terre du CNRS; Tarbes (France) 1-2 avril 2003*.
2. **Combes, F.** (2003a). AGN Fueling: The observational point of view. In *ASP Conf. Ser. 290: Active Galactic Nuclei: From Central Engine to Host Galaxy*, pages 411-+.
3. **Combes, F.** (2003b). Galaxy Formation and Baryonic Dark Matter. In *IAU Symposium*.
4. **Combes, F.** (2003c). Molecular gas and AGN fueling. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 243-+.
5. **Combes, F.** (2003d). Outflows: Efficiency of Mechanisms. In *IAU Symposium*.
6. **Combes, F.** (2003e). Supermassive black holes (SMBH) and formation of galaxies. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 389-+.
7. **Combes, F.** and **Melchior, A.-L.** (2003). A library of galaxy mergers. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 15-+.
8. **Dubernet, M.-L.** BASECOL : processus d'excitation ro-vibrationnelle.
9. **Dubernet, M.-L.** Bases de physique atomique et moléculaires. In *Forum Bases, traitements des données et Observatoires Virtuels, novembre 2003*.
10. **Dubernet, M.-L.** Collisional excitation processes. In *Forum sur la simulation numérique en astrophysique, décembre 2003*.
11. **Dubernet, M.-L.**, Debray, B., Le Boulot, J., and Walters, A. (2003). Atomic and molecular databases for Astrophysics. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Francaise*, pages 159-+.

## Liste de publications

12. **Falgarone, E.** and Hily-Blant, P. (2003). Dissipation of interstellar turbulence. In *A workshop honouring Shu, McKee and Hollenbach*. in press.
13. **Falgarone, E.**, Pety, J., Hily-Blant, P., Verstraete, L., and Pineau des Forêts, G. (2003). Non-gaussianités du champ de vitesse interstellaire. In *Congrès Français de Mécanique, Nice*. in press.
14. **Fautrier, N., Spielfiedel, A., and Dubernet, M.-L.** Molecule H<sub>2</sub>/He potential energy surfaces and collisional cross sections. In *1er Congreso Nacional de Astrofísica molecular: una visión general del potencial de los grupos de química española antes los nuevos desafíos de la astrofísica 2003*, pp.28.
15. García-Burillo, S., **Combes, F.**, Eckart, A., Tacconi, L. J., Hunt, L. K., Leon, S., Baker, A. J., Englmaier, P. P., **Boone, F.**, Schinnerer, E., and Neri, R. (2003). NUGA: The IRAM Survey of AGN Spiral Hosts. In *ASP Conf. Ser. 290: Active Galactic Nuclei: From Central Engine to Host Galaxy*, pages 423-+.
16. **Lamarre, J.-M.** (2003). Photon noise limit, quantum limit and future CMB instrumentation. In *"the future of CMB", 21-22 November 2003, Niels Bohr Institute, Copenhagen, Denmark*.
17. **Lamarre, J.-M.** and et al. (2003). The High Frequency Instrument for Planck: Photon Noise Limited Photometry from Space. In *IRMMW, 29 sept.-3 Oct. 2003, Otsu, Japan*.
18. **Lamarre, J.-M.**, Puget, J.-L., Bouchet, F., and Piat, M. (2003). The Planck High Frequency Instrument, a third generation CMB experiment and a full-sky submm survey. In *Cosmic Microwave Background Radiation and its polarization, 2003 March 19-22, Minneapolis*.
19. **Lamarre, J.-M.** and Tauber, J. (2003). The Planck Mission, an overview in the perspective of post-Herschel missions. In *New perspectives for post-Herschel far-infrared astronomy from space, Madrid, 1-4 sept. 2003*.
20. **Leach, S.** Concluding remarks. In *Colloque Photodynamique et astrophysique, un couple uni par la spectroscopie, en l'honneur de F. et J. Rostas, Meudon, 16 mai 2003*.
21. **Leach, S.** Joshua jortner : the virtual and the real. In *Symposium on Perspectives in the chemical sciences (JortnerFest) Tel Aviv, 15-18 juin 2003*.
22. **Leach, S.** Spectroscopy, handmaiden of fullerene studies. In *The electrochemical society (ECS) meeting Paris, 27 avril-3 mai 2003*.
23. **Lemaire, J.-L.** NACO and PUEO-Grif investigating small scale structures in OMC1. In *Science with Adaptive Optics, ESO workshop, Garching Allemagne, September 16-19 2003*.
24. Roueff, E., **Dubernet, M.-L.**, Flower, D., and Pottage, J. T. Determination of collisional rates for molecules of astrophysical interest. In *4th Cologne-Bonn-Zermatt Symposium, Cologne, 21-28 septembre 2003*.
25. **Salez, M.** (2003). Submillimeter-wave / THz developments at Paris Observatory. In *1st International Conference on Microwaves, Antennas Propagation and Remote Sensing, Jodhpur, India, Dec 17-19, 2003*.
26. **Semelin, B., Gerin, M., Pérault, M., and Combes, F.** (2003). Galaxy simulations to optimize Herschel observations. In *SF2A-2003: Semaine de l'Astrophysique Française*, pages 43-+.

### 9.1.4.4 Livres, Catalogues, Communications sans actes et Divers

1. **Boussaha, F., Salez, M., Delorme, Y., and Chaubet, M.** (2003a). Parallel-arrays of superconducting tunnel junctions as submillimeter-wave oscillators. 6th European Conference on Applied Superconductivity, Sorrento, Napoli. poster.
2. **Boussaha, F., Salez, M., Delorme, Y., Dauplay, F., Feret, A., Westerberg, K., and Lecomte, B.** (2003b). Quasiparticle mixing and Josephson electrodynamics in non-uniform parallel junction arrays.

## Liste de publications

3. Dimitrijevic, M. S., Dacic, M., Cvetkovic, Z., and Sahal-Brèchet, S. (2003). Stark broadening of Be III lines (Dimitrijevic+, 2003). Catalogue VizierR.
4. Epchtein, N., **Le Bertre, T.**, and Lepine, J. R. D. (2003). JHKLM photometry of 'IRAS-discovered' stars (Epchtein+, 1990). Catalogue VizierR.
5. **Gerin, M.** and **Fossé, D.** (2003). *La chimie interstellaire*, pages 211-221. Encyclopaedia Universalis.
6. **Hily-Blant, P.**, Dutrey, A., Roueff, E., Pineau Des Forêts, G., Guilloteau, S., and Guélin, M. (2003a). Chimie dans les disques protoplanétaires.
7. **Hily-Blant, P.**, **Falgarone, E.**, Pineau Des Forêts, G., and Phillips, T. G. (2003b). A molecular filament threaded by helical magnetic fields?
8. **Le Bertre, T.**, Tanaka, M., Yamamura, Y., and Murakami, H. (2003). Galactic mass-losing AGB stars. II. (Le Bertre+, 2003). Catalogue VizierR.
9. **Lequeux, J.** and Bobis, L. (2003). Catalogue de l'Exposition: Léon Foucault. Observatoire de Paris.
10. Omont, A., Gilmore, G. F., Alard, C., Aracil, B., August, T., Baliyan, K., Beaulieu, S., Begon, S., Bertou, X., Blommaert, J. A. D. L., Borsenberger, J., Burgdorf, M., Caillaud, B., Cesarsky, C., Chitre, A., Copet, E., de Batz, B., Egan, M. P., Egret, D., Epchtein, N., Felli, M., Fouque, P., Ganesh, S., Genzel, R., Glass, I. S., Gredel, R., Groenewegen, M. A. T., Guglielmo, F., Habing, H. J., **Hennebelle, P.**, Jiang, B., Joshi, U. C., Kimeswenger, S., Messineo, M., **Miville-Deschênes, M.-A.**, Moneti, A., Morris, M., Ojha, D. K., Ortiz, R., Ott, S., Parthasarathy, M., **Pérault, M.**, Price, S. D., Robin, A. C., Schultheis, M., Schuller, F., Simon, G., Soive, A., Testi, L., Teyssier, D., Tiphene, D., Unavane, M., van Loon, J. T., and Wyse, R. (2003). The ISOGAL Point Source Catalogue - IGPSC (Omont+ 2003). Catalogue VizierR.
11. **Salome, P.** and **Combes, F.** (2003). CO in cooling flow of clusters of galaxies (Salome+, 2003). Catalogue VizierR.
12. **Sanchez, N.G.** "The Early universe and the Cosmic Microwave Background: Theory and Observations". Proceedings of the 9th Chalonge School. Editors N. G. Sanchez and Yu. N. Parijskij, Kluwer Pub. NATO Science Series vol 130 (2003)

### 9.1.5 Année 2004

#### 9.1.5.1 Articles publiés dans des revues à comité de lecture

1. Acernese, F., Amico, P., Arnaud, N., Babusci, D., Barillé, R., Barone, F., Barsotti, L., Barsuglia, M., Beauville, F., Bizouard, M. A., Boccara, C., Bondu, F., Bosi, L., Bracci, L., Braccini, S., Bradaschia, C., Brillet, A., Brisson, V., Brocco, L., Buskulic, D., Calamai, G., Calloni, E., Campagna, E., Cavalier, F., Cella, G., Chassande-Mottin, E., Cleva, F., Cokelaer, T., Corda, C., Coulon, J. P., Cuoco, E., Dattilo, V., Davier, M., de Rosa, R., di Fiore, L., di Virgilio, A., Dujardin, B., Eleuteri, A., Enard, D., Ferrante, I., Fidecaro, F., Fiori, I., Flaminio, R., Fournier, J. D., Frasca, S., Frasconi, F., Gammaitoni, L., Gennai, A., Giazotto, A., Giordano, G., Guidi, G., Heitmann, H., Hello, P., Heusse, P., Holloway, L., Kreckelbergh, S., La Penna, P., Lorette, V., Losurdo, G., Loupias, M., Mackowski, J. M., Majorana, E., Man, C. N., Marion, F., Martelli, F., Masserot, A., Massonnet, L., Mazzoni, M., Milano, L., Moreau, F., Moreau, J., Morgado, N., Mornet, F., Mours, B., Pacheco, J., Pai, A., Palomba, C., Paoletti, F., Passaquieti, R., Passuello, D., Perniola, B., Pinard, L., Poggiani, R., Punturo, M., Puppo, P., Qipiani, K., Ramonet, J., Rapagnani, P., Reita, V., Remillieux, A., Ricci, F., Ricciardi, I., Russo, G., Solimeno, S., Stanga, R., Toncelli, A., Tonelli, M., Tournefier, E., Travasso, F., Trinquet, H., **Varvella, M.**, Verkindt, D., Vetrano, F., Veziant, O., Viceré, A., Vinet, J. Y., Vocca, H., and Yvert, M. (2004a). The commissioning of the central interferometer of the Virgo gravitational wave detector. *Astroparticle Physics*, 21:1-22.
2. Acernese, F., Amico, P., Arnaud, N., Babusci, D., Barillé, R., Barone, F., Barsotti, L., Barsuglia, M., Beauville, F., Bizouard, M. A., Boccara, C., Bondu, F., Bosi, L., Bradaschia, C., Bracci, L., Braccini, S., Brillet, A., Brisson, V., Brocco, L., Buskulic, D., Calamai, G., Calloni, E., Campagna, E., Cavalier, F., Cella, G., Chassande-Mottin, E., Cleva, F., Cokelaer, T., Conforto, G., Corda, C., Coulon, J.-P.,

## Liste de publications

- Cuoco, E., Dattilo, V., Davier, M., de Rosa, R., di Fiore, L., di Virgilio, A., Dujardin, B., Eleuteri, A., Enard, D., Ferrante, I., Fidecaro, F., Fiori, I., Flaminio, R., Fournier, J.-D., Frasca, S., Frasconi, F., Gammaitoni, L., Gennai, A., Giazotto, A., Giordano, G., Guidi, G., Heitmann, H., Hello, P., Heusse, P., Holloway, L., Kreckelbergh, S., La Penna, P., Lorette, V., Loupias, M., Losurdo, G., Mackowski, J.-M., Majorana, E., Man, C. N., Marion, F., Martelli, F., Masserot, A., Massonnet, L., Mazzoni, M., Milano, L., Moreau, J., Moreau, F., Morgado, N., Mornet, F., Mours, B., Pacheco, J., Pai, A., Palomba, C., Paoletti, F., Passaquieti, R., Passuello, D., Perniola, B., Pinard, L., Poggiani, R., Punturo, M., Puppo, P., Qipiani, K., Ramonet, J., Rapagnani, P., Reita, V., Remillieux, A., Ricci, F., Ricciardi, I., Russo, G., Solimeno, S., Stanga, R., Toncelli, A., Tonelli, M., Tournefier, E., Travasso, F., Trinquet, H., **Varvella, M.**, Verkindt, D., Vetrano, F., Veziant, O., Viceré, A., Vinet, J.-Y., Vocca, H., and Yvert, M. (2004b). A local control system for the test masses of the Virgo gravitational wave detector. *Astroparticle Physics*, 20:617-628.
3. Acernese, F., Amico, P., Arnaud, N., Babusci, D., Barillé, R., Barone, F., Barsotti, L., Barsuglia, M., Beauville, F., Bizouard, M. A., Boccara, C., Bondu, F., Bosi, L., Bradaschia, C., Bracci, L., Braccini, S., Brillet, A., Brisson, V., Brocco, L., Buskulic, D., Calamai, G., Calloni, E., Campagna, E., Cavalier, F., Cella, G., Chassande-Mottin, E., Cleva, F., Cokelaer, T., Conforto, G., Corda, C., Coulon, J.-P., Cuoco, E., Dattilo, V., Davier, M., de Rosa, R., di Fiore, L., di Virgilio, A., Dujardin, B., Eleuteri, A., Enard, D., Ferrante, I., Fidecaro, F., Fiori, I., Flaminio, R., Fournier, J.-D., Frasca, S., Frasconi, F., Gammaitoni, L., Gennai, A., Giazotto, A., Giordano, G., Guidi, G., Heitmann, H., Hello, P., Heusse, P., Holloway, L., Kreckelberg, S., La Penna, P., Lorette, V., Loupias, M., Losurdo, G., Mackowski, J.-M., Majorana, E., Man, C. N., Marion, F., Martelli, F., Masserot, A., Massonnet, L., Mazzoni, M., Milano, L., Moreau, J., Moreau, F., Morgado, N., Mornet, F., Mours, B., Pacheco, J., Pai, A., Palomba, C., Paoletti, F., Passaquieti, R., Passuello, D., Perniola, B., Pinard, L., Poggiani, R., Punturo, M., Puppo, P., Qipiani, K., Ramonet, J., Rapagnani, P., Reita, V., Remillieux, A., Ricci, F., Ricciardi, I., Russo, G., Solimeno, S., Stanga, R., Toncelli, A., Tonelli, M., Tournefier, E., Travasso, F., Trinquet, H., **Varvella, M.**, Verkindt, D., Vetrano, F., Veziant, O., Viceré, A., Vinet, J.-Y., Vocca, H., and Yvert, M. (2004c). First locking of the Virgo central area interferometer with suspension hierarchical control. *Astroparticle Physics*, 20:629-640.
4. Acernese, F., Amico, P., Arnaud, N., Babusci, D., Barillé, R., Barone, F., Barsotti, L., Barsuglia, M., Beauville, F., Bizouard, M. A., Boccara, C., Bondu, F., Bosi, L., Bradaschia, C., Bracci, L., Braccini, S., Brillet, A., Brisson, V., Brocco, L., Buskulic, D., Calamai, G., Calloni, E., Campagna, E., Cavalier, F., Cella, G., Chassande-Mottin, E., Cleva, F., Cokelaer, T., Conforto, G., Corda, C., Coulon, J.-P., Cuoco, E., Dattilo, V., Davier, M., DeRosa, R., Di Fiore, L., Di Virgilio, A., Dujardin, B., Eleuteri, A., Enard, D., Ferrante, I., Fidecaro, F., Fiori, I., Flaminio, R., Fournier, J.-D., Frasca, S., Frasconi, F., Gammaitoni, L., Gennai, A., Giazotto, A., Giordano, G., Guidi, G., Heitmann, H., Hello, P., Heusse, P., Holloway, L., Kreckelberg, S., La Penna, P., Lorette, V., Loupias, M., Losurdo, G., Mackowski, J.-M., Majorana, E., Man, C. N., Marion, F., Martelli, F., Masserot, A., Massonnet, L., Mazzoni, M., Milano, L., Moreau, J., Moreau, F., Morgado, N., Mornet, F., Mours, B., Pacheco, J., Pai, A., Palomba, C., Paoletti, F., Passaquieti, R., Passuello, D., Perniola, B., Pinard, L., Poggiani, R., Punturo, M., Puppo, P., Qipiani, K., Ramonet, J., Rapagnani, P., Reita, V., Remillieux, A., Ricci, F., Ricciardi, I., Russo, G., Solimeno, S., Stanga, R., Toncelli, A., Tonelli, M., Tournefier, E., Travasso, F., Trinquet, H., **Varvella, M.**, Verkindt, D., Vetrano, F., Veziant, O., Viceré, A., Vinet, J.-Y., Vocca, H., and Yvert, M. (2004d). Status of VIRGO. *Classical and Quantum Gravity*, 21:385-.
5. Acernese, F., Amico, P., Arnaud, N., Babusci, D., Barillé, R., Barone, F., Barsotti, L., Barsuglia, M., Beauville, F., Bizouard, M.-A., Boccara, C., Bondu, F., Bosi, L., Bradaschia, C., Bracci, L., Braccini, S., Brillet, A., Brisson, V., Brocco, L., Buskulic, D., Calamai, G., Calloni, E., Campagna, E., Cavalier, F., Cella, G., Chassande-Mottin, E., Cleva, F., Cokelaer, T., Conforto, G., Corda, C., Coulon, J.-P., Cuoco, E., Dattilo, V., Davier, M., DeRosa, R., Di Fiore, L., Di Virgilio, A., Dujardin, B., Eleuteri, A., Enard, D., Ferrante, I., Fidecaro, F., Fiori, I., Flaminio, R., Fournier, J.-D., Frasca, S., Frasconi, F., Gammaitoni, L., Gennai, A., Giazotto, A., Giordano, G., Guidi, G., Heitmann, H., Hello, P., Heusse, P., Holloway, L., Kreckelbergh, S., La Penna, P., Lorette, V., Loupias, M., Losurdo, G., Mackowski, J.-M., Majorana, E., Man, C. N., Marion, F., Martelli, F., Masserot, A., Massonnet, L., Mazzoni, M., Milano, L., Moreau, J., Moreau, F., Morgado, N., Mornet, F., Mours, B., Pacheco, J., Pai, A., Palomba, C., Paoletti, F., Passaquieti, R., Passuello, D., Perniola, B., Pinard, L., Poggiani, R., Punturo, M., Puppo, P., Qipiani, K., Ramonet, J., Rapagnani, P., Reita, V., Remillieux, A., Ricci, F., Ricciardi, I., Russo, G., Solimeno, S., Stanga, R., Toncelli, A., Tonelli, M., Tournefier, E., Travasso, F., Trinquet, H., **Varvella, M.**, Verkindt, D., Vetrano, F., Veziant, O., Viceré, A., Vinet, J.-Y., Vocca, H., and Yvert, M.

## Liste de publications

- (2004e). Results of the Virgo central interferometer commissioning. *Classical and Quantum Gravity*, 21:395-.
6. Acernese, F., Amico, P., Arnaud, N., Babusci, D., Barillé, R., Barone, F., Barsotti, L., Barsuglia, M., Beauville, F., Bizouard, M.-A., Boccara, C., Bondu, F., Bosi, L., Bradaschia, C., Bracci, L., Braccini, S., Brillet, A., Brisson, V., Brocco, L., Buskulic, D., Calamai, G., Calloni, E., Campagna, E., Cavalier, F., Cella, G., Chassande-Mottin, E., Cleva, F., Cokelaer, T., Conforto, G., Corda, C., Coulon, J.-P., Cuoco, E., Dattilo, V., Davier, M., DeRosa, R., Di Fiore, L., Di Virgilio, A., Dujardin, B., Eleuteri, A., Enard, D., Ferrante, I., Fidecaro, F., Fiori, I., Flaminio, R., Fournier, J.-D., Frasca, S., Frasconi, F., Gammaitoni, L., Gennai, A., Giazotto, A., Giordano, G., Guidi, G., Heitmann, H., Hello, P., Heusse, P., Holloway, L., Kreckelbergh, S., La Penna, P., Lorette, V., Loupias, M., Losurdo, G., Mackowski, J.-M., Majorana, E., Man, C. N., Marion, F., Martelli, F., Masserot, A., Massonnet, L., Mazzoni, M., Milano, L., Moreau, J., Moreau, F., Morgado, N., Mornet, F., Mours, B., Pacheco, J., Pai, A., Palomba, C., Paoletti, F., Passaquieti, R., Passuello, D., Perniola, B., Pinard, L., Poggiani, R., Punturo, M., Puppo, P., Qipiani, K., Ramonet, J., Rapagnani, P., Reita, V., Remillieux, A., Ricci, F., Ricciardi, I., Russo, G., Solimeno, S., Stanga, R., Toncelli, A., Tonelli, M., Tournefier, E., Travasso, F., Trinquet, H., **Varvella, M.**, Verkindt, D., Vetrano, F., Veziant, O., Viceré, A., Vinet, J.-Y., Vocca, H., and Yvert, M. (2004f). The last-stage suspension of the mirrors for the gravitational wave antenna Virgo. *Classical and Quantum Gravity*, 21:425-.
  7. Acernese, F., Amico, P., Arnaud, N., Babusci, D., Barillé, R., Barone, F., Barsotti, L., Barsuglia, M., Beauville, F., Bizouard, M. A., Boccara, C., Bondu, F., Bosi, L., Bradaschia, C., Bracci, L., Braccini, S., Brillet, A., Brisson, V., Brocco, L., Buskulic, D., Calamai, G., Calloni, E., Campagna, E., Cavalier, F., Cella, G., Chassande-Mottin, E., Cleva, F., Cokelaer, T., Corda, C., Coulon, J. P., Cuoco, E., Dattilo, V., Davier, M., DeRosa, R., Di Fiore, L., Di Virgilio, A., Dujardin, B., Eleuteri, A., Enard, D., Ferrante, I., Fidecaro, F., Fiori, I., Flaminio, R., Fournier, J. D., Frasca, S., Frasconi, F., Gammaitoni, L., Gennai, A., Giazotto, A., Giordano, G., Guidi, G., Heitmann, H., Hello, P., Heusse, P., Holloway, L., Kreckelbergh, S., La Penna, P., Lorette, V., Loupias, M., Losurdo, G., Mackowski, J. M., Majorana, E., Man, C. N., Marion, F., Martelli, F., Masserot, A., Massonnet, L., Mazzoni, M., Milano, L., Moreau, J., Moreau, F., Morgado, N., Mornet, F., Mours, B., Pacheco, J., Pai, A., Palomba, C., Paoletti, F., Passaquieti, R., Passuello, D., Perniola, B., Pinard, L., Poggiani, R., Punturo, M., Puppo, P., Qipiani, K., Ramonet, J., Rapagnani, P., Reita, V., Remillieux, A., Ricci, F., Ricciardi, I., Russo, G., Solimeno, S., Stanga, R., Toncelli, A., Tonelli, M., Tournefier, E., Travasso, F., Trinquet, H., **Varvella, M.**, Verkindt, D., Vetrano, F., Veziant, O., Viceré, A., Vinet, J. Y., Vocca, H., and Yvert, M. (2004g). Properties of seismic noise at the Virgo site. *Classical and Quantum Gravity*, 21:433-.
  8. Acernese, F., Amico, P., Arnaud, N., Babusci, D., Barillé, R., Barone, F., Barsotti, L., Barsuglia, M., Beauville, F., Bizouard, M.-A., Boccara, C., Bondu, F., Bosi, L., Bradaschia, C., Bracci, L., Braccini, S., Brillet, A., Brisson, V., Brocco, L., Buskulic, D., Calamai, G., Calloni, E., Campagna, E., Cavalier, F., Cella, G., Chassande-Mottin, E., Cleva, F., Cokelaer, T., Conforto, G., Corda, C., Coulon, J.-P., Cuoco, E., Dattilo, V., Davier, M., DeRosa, R., Di Fiore, L., Di Virgilio, A., Dujardin, B., Eleuteri, A., Enard, D., Ferrante, I., Fidecaro, F., Fiori, I., Flaminio, R., Fournier, J.-D., Frasca, S., Frasconi, F., Gammaitoni, L., Gennai, A., Giazotto, A., Giordano, G., Guidi, G., Heitmann, H., Hello, P., Heusse, P., Holloway, L., Kreckelbergh, S., La Penna, P., Lorette, V., Loupias, M., Losurdo, G., Mackowski, J.-M., Majorana, E., Man, C. N., Marion, F., Martelli, F., Masserot, A., Massonnet, L., Mazzoni, M., Milano, L., Moreau, J., Moreau, F., Morgado, N., Mornet, F., Mours, B., Pacheco, J., Pai, A., Palomba, C., Paoletti, F., Passaquieti, R., Passuello, D., Perniola, B., Pinard, L., Poggiani, R., Punturo, M., Puppo, P., Qipiani, K., Ramonet, J., Rapagnani, P., Reita, V., Remillieux, A., Ricci, F., Ricciardi, I., Russo, G., Solimeno, S., Stanga, R., Toncelli, A., Tonelli, M., Tournefier, E., Travasso, F., Trinquet, H., **Varvella, M.**, Verkindt, D., Vetrano, F., Veziant, O., Viceré, A., Vinet, J.-Y., Vocca, H., and Yvert, M. (2004h). Search for inspiralling binary events in the Virgo Engineering Run data. *Classical and Quantum Gravity*, 21:709-.
  9. Aires, F., **Prigent, C.**, and Rossow, W. B. (2004a). Neural network uncertainty assessment using Bayesian statistics with application to remote sensing: 2. Output errors. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 109(D10):10304+.
  10. Aires, F., **Prigent, C.**, and Rossow, W. B. (2004b). Neural network uncertainty assessment using Bayesian statistics with application to remote sensing: 3. Network Jacobians. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 109(D10):10305+.

## Liste de publications

11. Aires, F., **Prigent, C.**, and Rossow, W. B. (2004c). Temporal interpolation of global surface skin temperature diurnal cycle over land under clear and cloudy conditions. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 109(D18):4313-+.
12. **Allard, N. F.**, , Kielkopf, J. F., and Loeillet, B. (2004a). Temperature Dependence of the Lyman  $\alpha$  Line Wings in Cool Hydrogen-Rich White Dwarf Atmospheres. Application to ZZ Ceti white dwarfs spectra. *A&A*.
13. **Allard, N. F.**, Hébrard, G., Dupuis, J., Chayer, P., Kruk, J. W., Kielkopf, J., and Hubeny, I. (2004b). Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer Observations of G226-29: First Detection of the H<sub>2</sub> Quasi-molecular Satellite at 1150 Å. *ApJ*, 601:L183-L186.
14. **Allard, N. F.**, Kielkopf, J. F., Hébrard, G., and Peek, J. M. (2004c). Theoretical study of the Lyman  $\gamma$  line profile of atomic hydrogen perturbed by collisions with protons. *European Physical Journal D*, 29:7-16.
15. **Angonin-Willaime, M.-C.**, Ovido, X., and **Tourenç, P.** (2004). Gravitational Perturbations on Local Experiments in a Satellite: The Dragging of Inertial Frame in the HYPER Project. *General Relativity and Gravitation*, 36:411-434.
16. Aracil, B., **Petitjean, P.**, Pichon, C., and Bergeron, J. (2004). Metals in the intergalactic medium. *A&A*, 419:811-819.
17. Balbus, S. A. (2004). A Powerful Viscous Shear Instability in Weakly-Magnetized, Dilute Plasmas. *ApJ*, 616. accepted, astro-ph 0403678.
18. **Balbus, S. A.** (2004). Turbulent Energy Transport in Nonradiative Accretion Flows. *ApJ*, 600:865-871.
19. Baurichter, A., Hornekær, L., Petrunin, V. V., Luntz, A. C., **Baouche, S.**, Zecho, T., and Kueppers, J. (2004). The dynamics of associative desorption of chemisorbed D atoms on graphite(0001). *APS Meeting Abstracts*, pages 35008-+.
20. Ben Chaouacha, H., Ben Nessib, N., and **Sahal-Bréchet, S.** (2004). Semi-classical collisional functions in a strongly correlated plasma. *A&A*, 419:771-776.
21. **Boissé, P.**, **Le petit, F.**, Rollinde, E., Pineau des forêts, G., Andersson, B.-G., Gry, C., and Felenbok, P. (2004). A far UV study of interstellar gas towards HD 34078: high excitation H<sub>2</sub> and small scale structure. *A&A*.
22. **Bordé, C. J.** (2004). Quantum Theory of Atom-Wave Beam Splitters and Application to Multidimensional Atomic Gravito-Inertial Sensors. *General Relativity and Gravitation*, 36:475-502.
23. **Bournaud, F.**, **Combes, F.**, and Jog, C. J. (2004a). Unequal-mass galaxy merger remnants: Spiral-like morphology but elliptical-like kinematics. *A&A*, 418:L27-L30.
24. **Bournaud, F.**, Duc, P.-A., Amram, P., **Combes, F.**, and J.-L., G. (2004b). Kinematics of tidal tails in interacting galaxies: tidal dwarf galaxies and projection effects. *A&A*.
25. Boyé, S., Campos, A., **Fillion, J.-H.**, Douin, S., Shafizadeh, N., and Gauyacq, D. (2004). Spectroscopy of acetylene Rydberg states studied by VUV absorption and (3+1)-Resonantly Enhanced Multiphoton Ionisation. *C. R. Physique 5*, pages 239-248.
26. Chand, H., Srianand, R., **Petitjean, P.**, and Aracil, B. (2004). Probing the cosmological variation of the fine-structure constant: Results based on VLT-UVES sample. *A&A*, 417:853-871.
27. Chardonnet, C., Palma, M., and **Bordé, C. J.** (2004). The spin-vibration hyperfine interaction in the  $\nu_3$  band of <sup>189</sup>OsO<sub>4</sub> and in <sup>187</sup>OsO<sub>4</sub>: a calculable example in high-resolution molecular spectroscopy. *C.R. Physique*, 5:171-187.
28. **Combes, F.** (2004). Properties of SN-host galaxies. *New Astronomy Review*, 48:583-589.

## Liste de publications

29. **Combes, F.**, García-Burillo, S., **Boone, F.**, Hunt, L. K., Baker, A. J., Eckart, A., Englmaier, P., Leon, S., Neri, R., Schinnerer, E., and Tacconi, L. J. (2004). Molecular gas in NUClei of GALaxies (NUGA). II. The ringed LINER NGC 7217. *A&A*, 414:857-872.
30. **Combes, F.** and **Melchior, A.-L.** (2004). Foreword. *New Astronomy Review*, 48:565-565.
31. **Derouich, M.**, **Sahal-Bréchet, S.**, and Barklem, P. S. (2004). On the collisional depolarization and transfer rates of spectral lines by atomic hydrogen. III. Application to f-states of neutral atoms. *A&A*, 414:373-376.
32. Dhawan, V., Rupen, M. P., Fomalont, E. B., Mioduszewski, A. J., and **Lestrade, J.-F.** (2004). VLBA Astrometry of X-ray Binaries. *AAS/High Energy Astrophysics Division*, 8.
33. **Eidelsberg, M.**, **Lemaire, J.-L.**, **Fillion, J.-H.**, **Rostas, F.**, Federman, S., and Sheffer, Y. (2004). Oscillator Strengths for Rydberg Transitions in  $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ ,  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$  and  $^{13}\text{C}^{18}\text{O}$  between 967 and 972 Å. *A&A*.
34. El-Zant, A. A., Hoffman, Y., Primack, J., **Combes, F.**, and Shlosman, I. (2004). Flat-cored Dark Matter in Cuspy Clusters of Galaxies. *ApJ*, 607:L75-L78.
35. Elabidi, H., Ben Nessib, N., and **Sahal-Bréchet, S.** (2004). Quantum mechanical calculations of the electron-impact broadening of spectral lines for intermediate coupling. *Journal of Physics B Atomic Molecular Physics*, 37:63-71.
36. Ellison, S. L., Iбата, R., Pettini, M., Lewis, G. F., Aracil, B., **Petitjean, P.**, and Sriand, R. (2004). The sizes and kinematic structure of absorption systems towards the lensed quasar APM08279+5255. *A&A*, 414:79-93.
37. **Fillion, J.-H.**, Ruiz, J., Yang, X.-F., Castillejo, M., **Rostas, F.**, and **Lemaire, J.-L.** (2004). High resolution photoabsorption and photofragment fluorescence spectroscopy of water between 10.9 and 12 eV. *J. Chem. Phys.*, 120:6531-6541.
38. Gålfalk, M., Olofsson, G., Kaas, A. A., Olofsson, S., Bontemps, S., Nordh, L., Abergel, A., André, P., Boulanger, F., Burgdorf, M., Casali, M. M., Cesarsky, C. J., Davies, J., **Falgarone, E.**, Montmerle, T., **Pérault, M.**, Persi, P., Prusti, T., Puget, J. L., and Sibille, F. (2004). ISOCAM observations of the L1551 star formation region. *A&A*, 420:945-955.
39. **Gariel, J.**, Marçilhac, G., and **Santos, N. O.** (2004). Parametrization of the Kerr-NUT Solution. *General Relativity and Gravitation*. accepted.
40. Goicoechea, J. R., Rodríguez-Fernández, N. J., and Cernicharo, J. (2004). The Far-Infrared Spectrum of the Sagittarius B2 Region: Extended Molecular Absorption, Photodissociation, and Photoionization. *ApJ*, 600:214-233.
41. **Hennebelle, P.**, Whitworth, A. P., Cha, S.-H., and Goodwin, S. P. (2004). Protostellar collapse induced by compression - II. Rotation and fragmentation. *MNRAS*, 348:687-701.
42. Herrera, L., di Prisco, A., Martin, J., Ospino, J., **Santos, N. O.**, and Troconis, O. (2004a). Spherically symmetric dissipative anisotropic fluids: A general study. *Phys. Rev. D*, 69(8):084026-+.
43. Herrera, L., le Denmat, G., **Santos, N. O.**, and Wang, A. (2004b). Shear-Free Radiating Collapse and Conformal Flatness. *International Journal of Modern Physics D*, 13:583-592.
44. Kaas, A. A., Olofsson, G., Bontemps, S., André, P., Nordh, L., Hultgren, M., Prusti, T., Persi, P., Delgado, A. J., Motte, F., Abergel, A., Boulanger, F., Burgdorf, M., Casali, M. M., Cesarsky, C. J., Davies, J., **Falgarone, E.**, Montmerle, T., **Pérault, M.**, Puget, J. L., and Sibille, F. (2004). The young stellar population in the Serpens Cloud Core: An ISOCAM survey. *A&A*, 421:623-642.
45. Kerkeni, B., Barklem, P. S., **Spielfiedel, A.**, and **Feautrier, N.** (2004). Collisional broadening of Mg, Sr, Ca and Na resonance lines by atomic hydrogen. *Journal of Physics B Atomic Molecular Physics*, 37:677-688.

## Liste de publications

46. Kielkopf, J. F., **Allard, N. F.**, and Huber, J. (2004). Laboratory Detection of the Lyman  $\beta$  1150 Å Quasi-molecular Satellite Seen in Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer Observations of the White Dwarf G226-29. *ApJ*.
47. Kunz, M. W. and **Balbus, S. A.** (2004). Ambipolar diffusion in the magnetorotational instability. *MNRAS*, 348:355-360.
48. Lacombe, F., Gendron, E., Rouan, D., Clénet, Y., Field, D., **Lemaire, J.-L.**, Gustafsson, M., Lagrange, A.-M., Mouillet, D., Rousset, G., Fusco, T., Rousset-Rouvière, L., Servan, B., Marlot, C., and Feautrier, P. (2004). VLT/NACO infrared adaptive optics images of small scale structures in OMC1. *A&A*, 417:L5-L9.
49. **Le Bertre, T.** and Gérard, E. (2004). The circumstellar environments of EP Aqr and Y CVn probed by the H I emission at 21 cm. *A&A*, 419:549-561.
50. Le Fèvre, O., **Mellier, Y.**, McCracken, H. J., Foucaud, S., Gwyn, S., Radovich, M., **Dantel-Fort, M.**, **Bertin, E.**, Moreau, C., Cuillandre, J.-C., Pierre, M., Le Brun, V., Mazure, A., and Tresse, L. (2004). The VIRMOS deep imaging survey. I. Overview, survey strategy, and CFH12K observations. *A&A*, 417:839-846.
51. Lebouteiller, V., Kunth, D., **Lequeux, J.**, Lecavelier des Etangs, A., Désert, J.-M., Hébrard, G., and Vidal-Madjar, A. (2004). Abundance differences between the neutral and the ionized gas of the dwarf galaxy IZw 36. *A&A*, 415:55-61.
52. Lecavelier des Etangs, A., Désert, J.-M., Kunth, D., Vidal-Madjar, A., **Callejo, G.**, Ferlet, R., Hébrard, G., and Lebouteiller, V. (2004). FUSE observations of the H I interstellar gas of I Zw 18. *A&A*, 413:131-137.
53. **Levrier, F.** (2004). Velocity centroids and the structure of interstellar turbulence. *A&A*.
54. Maestrini, A., Ward, J., Gill, J., Javadi, H., Schlecht, E., Chattopadhyay, G., Maiwald, F., Erickson, N., and Mehdi, I. (2004). A 1.7 to 1.9 THz Local Oscillator Source. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 14(6).
55. Martins, F., Schaerer, D., Hillier, D., and Heydari-Malayeri, M. (2004). Puzzling wind properties of young massive stars in SMC-N81. *A&A*, 420:1087.
56. **Melchior, A.-L.**, **Combes, F.**, and Pennypacker, C. (2004). Supernova rates and host galaxies properties in the Local Universe. *New Astronomy Review*, 48:591-594.
57. Menou, K., **Balbus, S. A.**, and Spruit, H. C. (2004). Local Axisymmetric Diffusive Stability of Weakly Magnetized, Differentially Rotating, Stratified Fluids. *ApJ*, 607:564-574.
58. Meynadier, F., Heydari-Malayeri, M., Deharveng, L., Charmandaris, V., **Le Bertre, T.**, Rosa, M. R., Schaerer, D., and H., Z. (2004). Stellar populations associated with the LMC Papillon Nebula. *A&A*, 422:129-139.
59. **Meynadier, F.**, **Heydari-Malayeri, M.**, Deharveng, L., Charmandaris, V., **Le Bertre, T.**, Rosa, M. R., Schaerer, D., and Zinnecker, H. (2004). Stellar populations associated with the lmc papillon nebula. *A&A*. accepted 22/04/2004.
60. **Michard, R.** and Prugniel, P. (2004). Peculiarities and populations in elliptical galaxies. I. An old question revisited. *A&A*.
61. **Pagani, L.**, Bacmann, A., Motte, F., Cambrésy, L., Fich, M., Lagache, G., **Miville-Deschênes, M.-A.**, Pardo, J.-R., and Apponi, A. J. (2004a). L183 (L134N) Revisited. II. The dust content. *A&A*, 417:605-613.
62. **Pagani, L.**, Pardo, J., Apponi, A., Bacmann, A., and **Cabrit, S.** (2004b). L183 (L134N) revisited. III : the Gas Depletion. *A&A*. accepted.
63. Peeters, E., Martin-Hernandez, L., Tielens, A., and Rodríguez-Fernández, N. J. (2004). High excitation interstellar medium. *Space Science Reviews*.

## Liste de publications

64. Pennypacker, C., Tilquin, A., **Melchior, A.-L., Combes, F.**, and Pain, R. (2004). Preliminary exploration of the impact of host galaxy dust on cosmological parameters. *New Astronomy Review*, 48:577-581.
65. Péroux, C., **Petitjean, P.**, Aracil, B., Irwin, M., and McMahon, R. G. (2004). C IV absorbers in  $z > 4$  quasars: Tracing early galactic halos evolution. *A&A*, 417:443-450.
66. Pesenti, N., Dougados, C., **Cabrit, S.**, Ferreira, J., Casse, F., Garcia, P., and O'Brien, D. (2004). Predicted rotation signatures in MHD disc winds and comparison to DG Tau observations. *A&A*, 416:L9-L12.
67. **Pety, J.**, Teyssier, D., **Fossé, D., Gerin, M.**, Roueff, E., Abergel, A., Habart, E., and J., C. (2004). Are PAHs precursors of small hydrocarbons in PDRs ? *A&A*.
68. Radovich, M., Arnaboldi, M., Ripepi, V., Massarotti, M., McCracken, H. J., **Mellier, Y., Bertin, E.**, Zamorani, G., Adami, C., Bardelli, S., Le Fèvre, O., Foucaud, S., Garilli, B., Scaramella, R., Vettolani, G., Zanichelli, A., and Zucca, E. (2004). The VIRMOS deep imaging survey. III. ESO/WFI deep U-band imaging of the 0226-04 deep field. *A&A*, 417:51-60.
69. Rodríguez-Fernández, N. J. and Martín-Pintado, J. (2004). ISO observations of the Galactic center interstellar medium: I ionized gas. *A&A*.
70. Rodríguez-Fernández, N. J., Martín-Pintado, J., Fuente, A., and Wilson, T. L. (2004). ISO observations of the Galactic center interstellar medium: II neutral gas and dust. *A&A*.
71. Salomé, P. and **Combes, F.** (2004). Mapping the cold molecular gas in a cooling flow cluster: Abell 1795. *A&A*, 415:L1-L5.
72. Schuller, P., Salomé, P., Perrin, G., Mennesson, B., Niccolini, G., de Laverny, P., Ridgway, S. T., Coudé du Foresto, V., and Traub, W. A. (2004). Are dust shell models well-suited to explain interferometric data of late-type stars in the near-infrared? *A&A*, 418:151-162.
73. Srianand, R., Chand, H., **Petitjean, P.**, and Aracil, B. (2004). Limits on the Time Variation of the Electromagnetic Fine-Structure Constant in the Low Energy Limit from Absorption Lines in the Spectra of Distant Quasars. *Physical Review Letters*, 92(12):121302-+.
74. Teyssier, D., **Fossé, D., Gerin, M., Pety, J.**, Abergel, A., and Roueff, E. (2004). Carbon budget and carbon chemistry in Photon Dominated Regions. *A&A*, 417:135-149.
75. The VIRGO Collaboration, Beauville, F., Buskulic, D., Flaminio, R., Marion, F., Masserot, A., Massonnet, L., Mours, B., Moreau, F., Ramonet, J., Tournefier, E., Verkindt, D., Veziant, O., Yvert, M., Barillé, R., Dattilo, V., Enard, D., Frascioni, F., Gennai, A., La Penna, P., Loupias, M., Paoletti, F., Bracci, L., Calamai, G., Campagna, E., Conforto, G., Cuoco, E., Fiori, I., Guidi, G., Losurdo, G., Martelli, F., Mazzoni, M., Perniola, B., Stanga, R., Vetrano, F., Viceré, A., Babusci, D., Giordano, G., Mackowski, J.-M., Morgado, N., Pinard, L., Remillieux, A., Acernese, F., Barone, F., Calloni, E., DeRosa, R., Di Fiore, L., Eleuteri, A., Milano, L., Qipiani, K., Ricciardi, I., Russo, G., Solimeno, S., **Varvella, M.**, Bondu, F., Brillet, A., Chassande-Mottin, E., Cleva, F., Cokelaer, T., Coulon, J.-P., Dujardin, B., Fournier, J.-D., Heitmann, H., Man, C. N., Mornet, F., Pacheco, J., Pai, A., Trinquet, H., Vinet, J.-Y., Arnaud, N., Barsuglia, M., Bizouard, M.A., Brisson, V., Cavalier, F., Davier, M., Hello, P., Heusse, P., Kreckelberg, S., Boccara, C., Lorient, V., Moreau, J., Reita, V., Amico, P., Bosi, L., Gammaitoni, L., Punturo, M., Travasso, F., Vocca, H., Barsotti, L., Braccini, S., Bradaschia, C., Cella, G., Corda, C., Di Virgilio, A., Ferrante, I., Fidecaro, F., Giazotto, A., Majorana, E., Holloway, L., Passaquieti, R., Passuello, D., Poggiani, R., Toncelli, A., Tonelli, M., Brocco, L., Frasca, S., Palomba, C., Puppo, P., Rapagnani, P., and Ricci, F. (2004). The VIRGO large mirrors: a challenge for low loss coatings. *Classical and Quantum Gravity*, 21:935-.
76. Usero, A., García-Burillo, S., Fuente, A., Martín-Pintado, J., and Rodríguez-Fernández, N. J. (2004). Molecular gas chemistry in AGN. I. The IRAM 30 m survey of NGC 1068. *A&A*, 419:897-912.
77. **Varvella, M.**, Calloni, E., Di Fiore, L., Milano, L., and Arnaud, N. (2004a). Feasibility of a magnetic suspension for second generation gravitational wave interferometers. *Astroparticle Physics*, 21:325-335.

## Liste de publications

78. **Varvella, M. A., Angonin, M.-C., and Tourenco, P.** (2004b). Increase of the Number of Detectable Gravitational Waves Signals Due to Gravitational Lensing. *General Relativity and Gravitation*, 36:983-999.
79. Wakelam, V., Castets, A., Ceccarelli, C., Lefloch, B., Caux, E., and **Pagani, L.** (2004). Sulphur-bearing species in the star forming region L1689N. *A&A*, 413:609-622.
80. Wiedner, M., **Prigent, C.**, Pardo, J. R., Nuissier, O., Chaboureau, J., Pinty, J., and Mascart, P. (2004). Modeling of passive microwave responses in convective situations using output from mesoscale models: Comparison with TRMM/TMI satellite observations. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 109(D18):6214+.
81. Wolf, P. and **Bordé, C. J.** (2004). Recoil effects in microwave Ramsey spectroscopy. *quant-ph/0403194*.
82. Yurchenko, V., Murphy, J., **Lamarre, J.-M.**, and Brossard, J. (2004). Gaussian fitting parameters of the ESA PLANCK HFI beams. *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 25(4).
83. Yvert, M., the Virgo Collaboration, Acernese, F., Amico, P., Arnaud, N., Babusci, D., Barillé, R., Barone, F., Barsotti, L., Barsuglia, M., Beauville, F., Bizouard, M. A., Boccara, C., Bondu, F., Bosi, L., Bradaschia, C., Bracci, L., Braccini, S., Brilliet, A., Brisson, V., Brocco, L., Buskulic, D., Calamai, G., Calloni, E., Campagna, E., Cavalier, F., Cella, G., Chassande-Mottin, E., Cleva, F., Cokelaer, T., Conforto, G., Corda, C., Coulon, J.-P., Cuoco, E., Dattilo, V., Davier, M., DeRosa, R., Di Fiore, L., Di Virgilio, A., Dujardin, B., Eleuteri, A., Enard, D., Ferrante, I., Fidecaro, F., Fiori, I., Flaminio, R., Fournier, J.-D., Frasca, S., Frasconi, F., Gammaitoni, L., Gennai, A., Giazotto, A., Giordano, G., Guidi, G., Heitmann, H., Hello, P., Heusse, P., Holloway, L., Kreckelbergh, S., La Penna, P., Lorette, V., Loupias, M., Losurdo, G., Mackowski, J.-M., Majorana, E., Man, C. N., Marion, F., Martelli, F., Masserot, A., Massonnet, L., Mazzoni, M., Milano, L., Moreau, J., Moreau, F., Morgado, N., Mornet, F., Mours, B., Pacheco, J., Pai, A., Palomba, C., Paoletti, F., Passaquieti, R., Passuello, D., Perniola, B., Pinard, L., Poggiani, R., Punturo, M., Puppo, P., Qipiani, K., Ramonet, J., Rapagnani, P., Reita, V., Remillieux, A., Ricci, F., Ricciardi, I., Russo, G., Solimeno, S., Stanga, R., Toncelli, A., Tonelli, M., Tournefier, E., Travasso, F., Trinquet, H., **Varvella, M.**, Verkindt, D., Vetrano, F., Veziant, O., Viceré, A., Vinet, J.-Y., and Vocca, H. (2004). A first test of a sine-Hough method for the detection of pulsars in binary systems using the E4 Virgo engineering run data. *Classical and Quantum Gravity*, 21:717-.

### 9.1.5.2 Actes de colloques

1. Abgrall, H., **Bruston, M.**, Cornille, M., Crovisier, J., Dubau, J., Dubernet-Tuckey, M.-L., **Eidelsberg, M.**, **Feautrier, N.**, Lesage, A., **Launay, F.**, Roueff, E., **Rostas, F.**, Sahal, S., **Spielfiedel, A.**, Stehle, C., and **Tchang-Brillet, W.-U. L.** (2004). MOLAT : Atomic and Molecular Physics Databases of the Paris Observatory. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani *EdP-Sciences, Conference Series*, p.325.
2. **Allard, N. F.**, Allard, F., and et al. (2004). New far-wing line profiles of alkali metals perturbed by H<sub>2</sub> for brown dwarfs. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani *EdP-Sciences, Conference Series*, p.302.
3. **Amiaud, L.**, **Baouche, S.**, **Dulieu, F.**, **Fillion, J.-H.**, **Momeni, A.**, and **Lemaire, J.-L.** (2004). D Sticking Coefficient and Desorption Rate on Various Forms of Water Ice Films Under Interstellar Conditions. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani *EdP-Sciences, Conference Series*, p.119.
4. **Baouche, S.**, Petrunin, V. V., Hornekær, L., Luntz, A. C., Lemaire, J. L., Zecho, T., and Baurichter, J. K. A. (2004). The dynamics of associative desorption of chemisorbed deuterium atoms on graphite (0001). In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani *EdP-Sciences, Conference Series*, p.120.

## Liste de publications

5. Baubert, J. (2004). IF bandwidth of membrane-based HEB mixer. In *ASC conference 2004, jacksonville*.
6. Baubert, J., Salez, M., and Merkel, H. (2004). simulations for membrane-based HEB mixers in array configuration for SHAHIRA. In *proc. SPIE 2004 Glasgow, astronomical and telescope instrumentation*".
7. **Bayet, E., Gerin, M.,** Phillips, T. G., and Contursi, A. (2004). C and CO lines in nearby galaxies, study of interstellar medium cooling. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.121*.
8. Beauville, F., Buskalic, D., Flaminio, R., Marion, F., Masserot, A., Massonnet, L., Mours, B., Moreau, F., Ramonet, J., Tournefier, E., Verkindt, D., Veziant, O., Yvert, M., Barille, R., Dattilo, V., Enard, D., Frasconi, F., Gennai, A., La Penna, P., Loupiau, M., Paoletti, F., Bracci, L., Calamai, G., Campagna, E., Conforto, G., Cuoco, E., Fiori, I., Guidi, G., Losurdo, G., Martelli, F., Mazzoni, M., Perniola, B., Stanga, R. N., Vetrano, F., Vicere, A., Babusci, D., Giordano, G., Mackowski, J., Morgado, N., Pinard, L., Remillieux, A., Acernese, F., Barone, F., Calloni, E., De Rosa, R., Di Fiore, L., Eleuteri, A., Milano, L., Qipiani, K., Ricciardi, I., Russo, G., Solimeno, S., **Varvella, M.**, Bondu, F., Brillat, A., Chassande-Mottin, E., Cleva, F., Cokelaer, T., Coulon, J.-P., Dujardin, B., Fournier, J.-D., Heitmann, H., Man, C. N., Mornet, F., Pacheco, J., Pai, A., Trinquet, H., Vinet, J.-Y., Arnaud, N., Barsuglia, M., Bizouard, M. A., Brisson, V., Cavalier, F., Davier, M., Hello, P., Heusse, P., Kreckelberg, S., Boccara, A. C., Loriette, V., Moreau, J., Reita, V., Amico, P., Bosi, L., Gammaitoni, L., Punturo, M., Travasso, F., Vocca, H., Barsotti, L., Braccini, S., Bradaschia, C., Cella, G., Corda, C., Di Virgilio, A., Ferrante, I., Fidecaro, F., Giazotto, A., Majorana, E., Holloway, L., Passaquieti, R., Passuello, D., Poggiani, R., Toncelli, A., Tonelli, M., Brocco, L., Frasca, S., Palomba, C., Puppo, P., Rapagnani, P., and Ricci, F. (2004). Low-loss coatings for the VIRGO large mirrors. In *Advances in Optical Thin Films. Edited by Amra, Claude; Kaiser, Norbert; Macleod, H. Angus. Proceedings of the SPIE, Volume 5250, pp. 483-492 (2004).*, pages 483-492.
9. **Bommier, V.** (2004). THEMIS Observations: longitudinal et transverse magnetic field map under a filament. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.331*.
10. **Bournaud, F. and Combes, F.** (2004a). Bar dissolution and reformation mechanisms and gas accretion on spiral galaxies. In *Bars 2004*.
11. **Bournaud, F. and Combes, F.** (2004b). Evolution of galaxies along the Hubble Sequence: secular evolution, galaxy interactions, and gas accretion. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.137*.
12. **Boussaha, F., Salez, M., Delorme, Y.,** and Chaubet, M. (2004). Submillimeter-wave quasiparticle mixer and josephon electrodynamics in non-uniform parallel junction arrays. In *Mediterranean Microwave Symposium - MMS'2004*. IEEE.
13. **Callejo, G., Lemaire, J.-L.,** Pineau Des Forêts, G., and Field, D. (2004). Dynamics of the molecular gas in star-forming regions: the OMC-1 molecular cloud in Orion. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.110*.
14. **Coulais, A. and Abergel, A. Fouks, B.** (2004). A propos des photodétecteurs infrarouge à bas niveau de flux. In *Bulletin BNM/Journées du CNFRS Métrologie et capteurs en électromagnétisme; Meudon; France; 29-30 mars 2004*.
15. **Coulais, A., Malaizé, J., Giovannelli, J.-F., Rodet, T., Abergel, A., Wells, B., Patrashin, M., Kaneda, H., and Fouks, B.** (2004). Non-linear transient models and transient corrections methods for IR low-background photo-detectors. In *ASP Conf. Ser. 314: Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS) XIII*, pages 566+.

## Liste de publications

16. **Daniel, F., Dubernet, M. L.,** and Grosjean, A. (2004). Rotational collisional excitation of H<sub>2</sub>O by H<sub>2</sub> : collisional rate coefficients and pressure broadening/shifting coefficients between 5K and 300K. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.122.
17. **Delorme, Y., Salez, M., Lecomte, B.,** Piron, I., **Dauplay, F.,** Firet, A., Spatazza, J., **Krieg, J.-M., Beaudin, G.,** and Schuster, K. (2004). Un détecteur hétérodyne submillimétrique à supraconducteur (480-640 GHz) pour l'observatoire spatial Herschel. In *Bulletin BNM/Journées du CNFRS Métrologie et capteurs en électromagnétisme; Meudon; France; 29-30 mars 2004*.
18. **Derouich, M.,** Malherbe, J. M., **Bommier, V.,** Landi degl'Innocenti, E., and **Sahal-Bréchet, S.** (2004). Second solar spectrum observed at the Pic-du-Midi: depth probing of the turbulent magnetic field intensity in a quiet region. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.346.
19. **Dubernet, M. L.,** Debray, B., Grosjean, A., Flower, D., Faure, A., Stoecklin, T., Valiron, P., **Daniel, F., Feautrier, N.,** Roueff, E., and **Spielfiedel, A.** (2004). Ro-vibrational Collisional Excitation Database <http://basecol.obs-besancon.fr> or <http://boum.obspm.fr/basecol>. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.123.
20. **Falgarone, E., Hily-Blant, P.,** and **Levrier, F.** (2004a). Structure of molecular clouds. In Gomez de Castro, A., Heyer, M., Vazquez-Semadeni, E., Rebolo, R., Tagger, M., and Pudritz, R., editors, *Magnetic Fields and Star Formation: Theory versus Observations*, volume 291 of *Astrophysics and Space Science*, Dordrecht. Kluwer Academic Publishers.
21. **Falgarone, E., Hily-Blant, P.,** and **Pety, J.** (2004b). Intermittent dissipation of interstellar turbulence: Observational signatures. In *ASP conference series: A workshop honouring Shu, McKee and Hollenbach*.
22. Fromang, S., **Balbus, S. A.,** Terquem, C., and de Villiers, J. P. (2004). Evolution of massive and magnetized disks. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.312.
23. Galopecau, P. H. M., Nottale, L., Ceccolini, D., da Rocha, D., Schumacher, G., and Tran-Minh, N. (2004). Distribution of Orbital Elements of Planets and Exoplanets in Scale Relativity. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.248.
24. Garcia-Burillo, S., **Combes, F., Boone, F.,** Schinnerer, E., Baker, A. J., Hunt, L. K., Eckart, A., Tacconi, L. J., Neri, R., Leon, S., and Englmaier, P. (2004). Molecular gas in Nuclei of GALaxies (NUGA): interstellar gas as torques in NGC 4579, 4826 and 6951. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.209.
25. **Gerin, M., Bayet, E.,** and Phillips, T. (2004). The role of C and CO in the interstellar gas cooling in nearby galaxies. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.112.
26. **Hennebelle, P.** and Audit, E. (2004). Thermal condensation in atomic hydrogen driven by turbulence. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.113.
27. **Hennebelle, P.,** Peretto, N., and Andre, P. (2004). Collapse and fragmentation of self-gravitating filaments. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.283.

## Liste de publications

28. Le Bertre, G. (2004). Circumstellar atomic hydrogen. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani *EdP-Sciences, Conference Series*, p.285.
29. Leduc, F., Holleville, D., Fils, J. and Clairon, A., Dimarcq, N., Landragin, A., Bouyer, P., and **Bordé, C. J.** (2004). Cold atom gyroscope for precision measurements. In *Laser Spectroscopy*, pages 68-70. World Scientific.
30. **Lemaire, J.-L.**, Testor, G., and Field, D. C. G. (2004). The compact star forming region N88 in the Small Magellanic Cloud\*. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani *EdP-Sciences, Conference Series*, p.114.
31. **Lestrade, J.-F.** (2004a). Detectability of Debris Disks Around Red Dwarfs at Submillimeter Wavelengths. In *American Institute of Physics Conference Series*, pages 115-118.
32. **Lestrade, J.-F.** (2004b). Detectability of Debris Disks around Red Dwarfs by Future Submillimeter Satellites. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani *EdP-Sciences, Conference Series*, p.255.
33. **Lique, F., Spielfiedel, A., Dubernet, M. L., and Feautrier, N.** (2004a). Rotational excitation of SO by He at low temperature. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani *EdP-Sciences, Conference Series*, p.135.
34. **Lique, F., Tcham-Brillet, W.-U. L., Spielfiedel, A., and Feautrier, N.** (2004b). Far-wing profiles of the Lyman alpha line of H perturbed by H: quantum calculations. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani *EdP-Sciences, Conference Series*, p.310.
35. Maestrini, A. and Thomas, B. (2004). Report on the Evaluation of the Capabilities of United Monolithic Semiconductors to Produce Schottky Diode Based Mixers in the Band 100-380GHz. In *European Space Agency, ESTEC, March 16th*.
36. **Mellier, Y.** (2004). The Canada-France-Hawaii Legacy Survey: scientific goals, status of the survey, quality assessment and first data release. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani *EdP-Sciences, Conference Series*, p.8.
37. **Meynadier, F. and Heydari-Malayeri, M.** (2004). Massive star forming regions in the Magellanic Clouds : results from recent observations. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani *EdP-Sciences, Conference Series*, p.290.
38. Pesenti, N., Dougados, C., **Cabrit, S.**, Ferreira, J., Garcia, P. J. V., and O'Brien, D. (2004). High-angular resolution diagnostics: disc winds in young stars. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani *EdP-Sciences, Conference Series*, p.298.
39. **Rodriguez-Fernandez, N. J. and Combes, F.** (2004). Molecular survey in the Galactic Center. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004*, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani *EdP-Sciences, Conference Series*, page 117.
40. **Rodriguez-Fernandez, N. J.** and Martin-Pintado, J. (2004). The Galactic center ISM as seen by ISO. In *4th Cologne-Zermatt-Bonn-symposium, meeting held in Zermatt, Switzerland, Sept 22-26, 2003*, Eds.: S. Pfalzner, C. Kramer, C. Straubmeier and A. Heithausen *Springer Proceedings in Physics*, page 291.
41. Rollinde, E., Srianand, R., **Petitjean, P.**, and Chand, H. (2004). Density structure in host galaxy of quasars from the longitudinal proximity effect. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise*,

## Liste de publications

meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.170.

42. Salomé, P. and **Combes, F.** (2004a). Cold Molecular Gas in Abell 1795. In *The Riddle of Cooling Flows in Galaxies and Clusters of galaxies*.
43. Salomé, P. and **Combes, F.** (2004b). Cold molecular gas in cooling flows. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Française, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.118*.
44. Salomé, P. and **Combes, F.** (2004c). Molecular gas maps of the RXJ0821+07 cluster core. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Française, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.131*.
45. **Signore, M.** and Blanchard, A. (2004). Basics of Cosmology. In "*Frontiers of the Universe*", *CARGESE 2003*. NATO ASI.
46. **Thomas, B., Beaudin, G., and Maestrini, A.** (2004). Design of a wideband 330ghz sub-harmonic mixer with planar schottky diodes. In *Mediterranean Microwave Symp., (MMS'2004)*; Marseille; France.
47. Thomas, B., Maestrini, A., and Beaudin, G. (2004). Design of a broadband sub-harmonic mixer using planar schottky diodes at 330ghz. In *29th Int. Conf. IR and millimeter waves/IEEE 12th Int. Conf. on THz Electronics*, Karlsruhe, Germany. IEEE.
48. Wyart, J.-F. and **Tchang-Brillet, W.-U. L.** (2004). Spectroscopic studies of heavy atoms and ions of astrophysical interest. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Française, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.326*.
49. Yurchenko, V., Murphy, J., and **Lamarre, J.-M.** (2004). Broadband Physical Optics Simulations of large Multi-reflector antennas for radio-astronomy. In *CRIMICO 2004, Sebastopol, Sept.13-17*.

### 9.1.5.3 Conférences Invitées

1. **Bommier, V.** and **Derouich, M.** Transfert de rayonnement et polarisation atomique: mesure Hanle de l'intensité du champ magnétique turbulent de la photosphère du soleil calme. In *Atelier GRETA'2004, Transfert radiatif V/IR/mm et application au VLTI et ALMA, Meudon (France), 27-29 avril 2004*.
2. **Dubernet, M.-L.** Access to databases of atomic and molecular data in the virtual observatory. In *8th biennial HITRAN Database conference, june 2004*.
3. **Dubernet, M.-L.** Bases de données en physique atomique et moléculaire pour IR et mm. In *Atelier transfert radiatif V/IR/mm et application au VLTI et ALMA, Meudon, avril 2004*.
4. **Dubernet, M.-L.** Collisional excitation processes. In *Workshop sur la préparation scientifique d'Herschel, Leiden, 2004*.
5. **Dubernet, M.-L.** (2004). Atomic and Molecular Databases and their integration in Virtual Observatories. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Française, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.183*.
6. **Falgarone, E., Hily-Blant, P., and Levrier, F.** (2004). Structure of molecular clouds. In *Magnetic fields and star formation: Theory versus observations*, volume 291 of *Astrophysics & Space Sciences*. Dordrecht: Kluwer. in press.
7. **Fillion, J.-H.** Spectroscopie et photodynamique de la molécule d'eau. In *Journées de Spectroscopie moléculaire, Dunkerque, 1-3 Juin 2004*.
8. **Fillion, J.-H.** (2004). Spectroscopie et photodynamique de la molécule d'eau. Journées de Spectroscopie moléculaire, Dunkerque, 1-3 Juin 2004.

## Liste de publications

9. **Lamarre, J.-M.** (2004). Planck HFI: status and performances. In *2nd Planck Symposium: "Setting the scene", 26-30 January 2004, Orsay.*
10. **Rodriguez-Fernandez, N. J.** and **Combes, F.** (2004). Molecular survey in the Galactic Center. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, page 117.*
11. **Sahal-Bréchet, S.** A tribute to H. Van Regemorter†: line shapes, collisions and radiation. In *17 th International Conference on Spectral Line Shapes, Paris, 21-25 Juin 2004.*
12. Salomé, P. and **Combes, F.** (2004). Cold molecular gas in cooling flows. In *SF2A-2004: Semaine de l'Astrophysique Francaise, meeting held in Paris, France, June 14-18, 2004, Eds.: F. Combes, D. Barret, T. Contini, F. Meynadier and L. Pagani EdP-Sciences, Conference Series, p.118.*

### 9.1.5.4 Livres, Catalogues, Communications sans actes et Divers

1. Galfalk, M., Olofsson, G., Kaas, A. A., Olofsson, S., Bontemps, S., Nordh, L., Abergel, A., Andre, P., Boulanger, F., Burgdorf, M., Casali, M. M., Cesarsky, C. J., Davies, J., **Falgarone, E.**, Montmerle, T., **Pérouault, M.**, Persi, P., Prusti, T., Puget, J. L., and Sibille, F. (2004). L1551 ISOCAM observations (Galfalk+, 2004). Catalogue VizierR.
2. Lequeux, J., Falgarone, E., and Ryter, C. (2004). *The interstellar medium (traduction de l'ouvrage en Français)*. A&A Library. Springer Verlag.
3. **Viallefond, F.** and Lucas, R. (2004). ALMA Export Data Format. Technical report, LERMA and IRAM.