

# THÈSE DE DOCTORAT

présentée par

**Pierre Chanial**

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ  
DENIS DIDEROT PARIS VII

Spécialité : Astrophysique et Techniques Spatiales

---

## Étude multi-longueurs d'ondes des galaxies normales et à flambées d'étoiles de l'Univers local.

---

Soutenue le 12 juin 2003 devant la commission d'examen composée de :

M. James BARTLETT ..... Président  
Mme Véronique BUAT ..... Rapporteur  
M. Eli DWEK ..... Rapporteur  
M. Laurent VIGROUX ..... Directeur de thèse  
M. Bruno GUIDERDONI ..... Examineur  
M. David ELBAZ ..... Examineur

Service d'Astrophysique, DSM/DAPNIA/SAP,  
CE de Saclay, 91191 Gif sur Yvette

*À mon père*

# Remerciements

*Mes premiers remerciements vont naturellement à Laurent Vigroux, pour m'avoir fait partager sa passion pour les galaxies, ces objets de beautés si singulières, et qui a su, en me proposant un sujet d'étude ouvert, me faire confiance tout au long de la thèse.*

*Je tiens ensuite à remercier particulièrement Bruno Guiderdoni pour son rôle stimulant et ses encouragements pour approfondir mes recherches.*

*Merci à David Elbaz, Hector Flores et Suzanne Madden pour leur constante disponibilité, et avec qui j'ai eu la chance d'avoir de nombreuses interactions scientifiques et amicales.*

*Merci pour l'accueil chaleureux du Service d'Astrophysique de Saclay, et particulièrement merci à Marc Sauvage, Jean-Luc Starck et René Gastaud.*

*Merci à ma mère et à mon frère pour leur accompagnement bienveillant.*

*Et surtout, Fabienne, merci pour tout.*



# Table des matières

<b>I</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
I.1	Formation et évolution des galaxies . . . . .	4
I.1.1	Le fond extragalactique . . . . .	4
I.1.2	L'histoire de la formation stellaire . . . . .	5
I.1.3	Les modèles de formation des galaxies . . . . .	10
I.2	Constitution et évolution d'une galaxie . . . . .	13
I.2.1	Le cycle de la matière . . . . .	13
I.2.2	L'évolution du milieu interstellaire . . . . .	14
I.3	La formation stellaire au sein d'une galaxie . . . . .	15
I.4	Bilan optique-infrarouge . . . . .	17
I.4.1	L'atténuation par la poussière . . . . .	18
I.4.2	Emission de la poussière . . . . .	25
<b>II</b>	<b>L'Univers local: Base de données panchromatiques</b>	<b>29</b>
II.1	Description de la base de données . . . . .	30
II.1.1	Définition de l'échantillon . . . . .	31
II.1.2	Complétude . . . . .	32
II.1.3	Photométrie . . . . .	32
II.2	L'Univers local vu par le PSCzp . . . . .	32
II.2.1	Répartition spatiale des sources . . . . .	33
II.2.2	Le champ de vitesse . . . . .	34
II.3	Construction de la base de données. . . . .	36
II.3.1	Stratégie . . . . .	36
II.3.2	Méthodologie . . . . .	40
II.3.3	Astrométrie du PSCz . . . . .	41
II.4	Identification des sources NVSS . . . . .	43
II.5	Identification des sources 2MASS étendues . . . . .	44
II.6	Identification des contreparties LEDA. . . . .	47
II.7	Identification avec le FSC . . . . .	49
II.8	Autres catalogues . . . . .	50
II.8.1	Bandes U, B et V . . . . .	50
II.8.2	Bandes R et I . . . . .	50
II.8.3	Catalogues infrarouge moyen. . . . .	51
II.8.4	Ultraviolet lointain . . . . .	52
II.9	L'extinction Galactique . . . . .	53
II.10	Synthèse . . . . .	60

<b>III</b>	<b>Les effets de concentration dans les galaxies normales</b>	<b>63</b>
III.1	Choix de la taille caractéristique . . . . .	65
III.1.1	La taille continuum radio . . . . .	65
III.1.2	La taille $H_\alpha$ . . . . .	67
III.1.3	La taille en bande B . . . . .	68
III.1.4	La taille CO . . . . .	71
III.2	La relation taille-luminosité-température . . . . .	74
III.3	Interprétation des paramètres globaux. . . . .	78
III.3.1	Cas opaque dans l'infrarouge lointain. . . . .	78
III.3.2	Cas transparent dans l'infrarouge lointain . . . . .	79
III.4	Conclusion . . . . .	82
<b>IV</b>	<b>Stardust-2</b>	<b>83</b>
IV.1	Le modèle infrarouge . . . . .	83
IV.1.1	Le continuum à $4\mu\text{m}$ . . . . .	84
IV.1.2	Les bandes aromatiques en émission . . . . .	86
IV.1.3	Les très petits grains . . . . .	87
IV.1.4	Les corrélations infrarouges . . . . .	90
IV.2	Le modèle radio . . . . .	95
IV.3	Le modèle optique . . . . .	97
IV.3.1	Les limites du modèle de l'ellipsoïde oblat . . . . .	98
IV.3.2	Les limites de la méthode dite de Calzetti . . . . .	102
IV.3.3	Paramétrisation empirique de l'atténuation à $2000\text{Å}$ . . . . .	106
IV.3.4	L'atténuation sur tout le spectre . . . . .	109
<b>V</b>	<b>Conclusion et Perspectives</b>	<b>113</b>
<b>VI</b>	<b>ANNEXES</b>	<b>115</b>
<b>A</b>	<b>Paquetage CIR</b>	<b>117</b>
A.1	Routines de réduction . . . . .	117
A.1.1	CONVERT_FLUX . . . . .	117
A.1.2	CORRECT_COLOR . . . . .	118
A.1.3	CORRECT_DARK_LIBRARY . . . . .	118
A.1.4	CORRECT_DARK_MODEL . . . . .	119
A.1.5	CORRECT_DARK_VILSPA . . . . .	120
A.1.6	CORRECT_FLAT_AUTO . . . . .	120
A.1.7	CORRECT_FLAT_LIBRARY . . . . .	121
A.1.8	CORRECT_FLAT_USER . . . . .	122
A.1.9	CORRECT_GLITCH_MR . . . . .	122
A.1.10	CORRECT_TRANSIENT_FS . . . . .	123
A.1.11	EXTRACT_BEAM_SWITCH . . . . .	124
A.1.12	EXTRACT_CVF . . . . .	125
A.1.13	EXTRACT_RASTER . . . . .	125

A.1.14	EXTRACT_STARING . . . . .	126
A.1.15	PROJECT_RASTER_DISTORTION . . . . .	126
A.1.16	PROJECT_RASTER_NODISTORTION . . . . .	128
A.1.17	READ_XCISP . . . . .	128
A.1.18	REDUCE_PDS . . . . .	131
A.1.19	WRITEFITS_RASTER . . . . .	131
A.1.20	XPHOT . . . . .	131
A.1.21	XRASTER_PHOT . . . . .	133
A.1.22	XSLICE . . . . .	133
A.2	Routines de visualisation . . . . .	133
A.2.1	CIR_HELP . . . . .	133
A.2.2	CVF_DISPLAY . . . . .	134
A.2.3	DISPLAY_Astrometry . . . . .	135
A.2.4	DISPLAY_FRAMES . . . . .	135
A.2.5	PRINT_HEADER . . . . .	136
A.2.6	PRINT_HELP . . . . .	136
A.2.7	PRINT_HISTORY . . . . .	136
A.2.8	PRINT_INFO . . . . .	137
A.2.9	PRINT_STAT . . . . .	137
A.2.10	PS_COLOR . . . . .	138
A.2.11	TVISO . . . . .	138
A.2.12	XCUBE . . . . .	139
A.2.13	XIMAGE . . . . .	141
<b>B</b>	<b>Articles</b>	<b>143</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>209</b>





# Liste des figures

I.1	Spectre du fond extragalactique de l'UV jusqu'au millimétrique . . . . .	6
I.2	Fonction de luminosité bolométrique des galaxies de l'Univers local . . .	7
I.3	Densité comobile de formation d'étoiles . . . . .	10
I.4	Images HST de sources ultralumineuses en infrarouge . . . . .	12
I.5	Cycle de la matière au sein d'une galaxie . . . . .	14
I.6	Loi de Schmidt composite . . . . .	16
I.7	Variation de la loi d'extinction dans la Galaxie . . . . .	20
I.8	Lois d'extinction moyenne de la Galaxies et de ses satellites. . . . .	21
I.9	Loi d'extinction dans l'infrarouge moyen . . . . .	22
I.10	Lois d'atténuation pour des géométries simples . . . . .	24
II.1	Distribution en décalage spectral des galaxies du PSCzp . . . . .	33
II.2	Distribution spatiale des galaxies du PSCzp . . . . .	35
II.3	Identifications des sources du PSCz . . . . .	37
II.3	(suite) . . . . .	38
II.3	(suite) . . . . .	39
II.4	Recalibration de la densité spatiale de probabilité des sources IRAS . .	42
II.5	Fonctions de répartition des sources du relevé NVSS . . . . .	44
II.6	Distributions et densités des relevés PSCz, LEDA, 2XMASS et NVSS .	45
II.7	Histogrammes des densités des relevés PSCzp, 2MASS, LEDA et NVSS	46
II.8	Comparaison 2MASS - Fioc et Rocca-Volmerange (1999), bande J . . .	48
II.9	Comparaison 2MASS - Fioc et Rocca-Volmerange (1999), bande H . . .	48
II.10	Comparaison 2MASS - Fioc et Rocca-Volmerange (1999), bande K . . .	48
II.11	Correction des flux infrarouges à partir du FSC . . . . .	49
II.12	Histogrammes de la luminosité infrarouge et du rapport $R(60/100)$ pour l'échantillon ISOCAM . . . . .	51
II.13	Comparaison Rifatto et al. (1995b) - Marcum et al. (2001), 2500 Å . .	53
II.14	Cartes de rougissement d'une région du ciel centrée su M 82 . . . . .	54
II.15	Comparaison des rougissements entre Burstein et Heiles (1982) et Schlegel et al. (1998) . . . . .	55
II.16	Cartes de rougissement autour de M 82 et M 83 . . . . .	56
II.17	Masques de l'estimateur de surdensité de rougissement . . . . .	57
II.18	Histogrammes de la surdensité de rougissement . . . . .	58
II.19	Histogramme du rougissement Galactique des sources du PSCzp . . . .	59
III.1	Corrélation entre les tailles infrarouge lointain et continuum radio . . .	66
III.2	Diagramme $R(60/100)$ - luminosité infrarouge totale, tailles $H_\alpha$ . . . .	67
III.3	Diagramme $R(60/100)$ - luminosité infrarouge totale, tailles radio . . .	68

III.4	Variation du rapport $r_{H\alpha}/r_{1,4GHz}$ en fonction de $L_{IR}/L_B$ . . . . .	69
III.5	Variation du rapport $r_B/r_{1,4GHz}$ en fonction de $R(60/100)$ . . . . .	70
III.6	Corrélation entre les tailles CO et continuum radio . . . . .	73
III.7	Histogrammes de l'échantillon IRAS résolu à 1,4 GHz . . . . .	76
III.8	Diagramme $R(60/100)$ - température du corps noir . . . . .	77
III.9	Corrélation entre la température efficace et la densité surfacique infrarouge	81
IV.1	Spectres MIR de galaxies observées par PHOT-S . . . . .	85
IV.2	Distribution d'énergie spectrale de nébuleuses par reflexion . . . . .	86
IV.3	Décomposition du spectres MIR de six sources . . . . .	88
IV.4	Spectre générique des bandes infrarouges non-identifiées. . . . .	89
IV.5	Décomposition du spectre MIR la nébuleuse M17 . . . . .	89
IV.6	Décomposition du spectre MIR de galaxies CVF-CAMACTIV . . . . .	91
IV.6	(suite) . . . . .	92
IV.7	Relation température - $R(12-15/6-9)$ . . . . .	93
IV.8	Corrélations couleur-couleur infrarouges et sub-millimétrique. Les lignes solides correspondent aux valeurs imposées pour le modèle infrarouge. .	94
IV.9	Spectres synthétiques infrarouges . . . . .	95
IV.10	Variation de l'indice spectral non-thermique en fonction de $R(60/100)$ .	96
IV.11	Comparaison des rougisement prédits par STARDUST-1 et observés .	100
IV.12	Corrélation entre le rougisement et le chemin optique, échantillon IUE	101
IV.13	Corrélation entre le rougisement et le chemin optique, échantillon SFG	104
IV.14	Comparaison entre la méthode de Calzetti et du rapport de flux . . . .	105
IV.15	Corrélation entre l'atténuation UV et le chemin optique, tailles radio . .	107
IV.16	Corrélation entre l'atténuation UV et le chemin optique, tailles optiques	108
IV.17	Effets de la taille dans la distribution d'énergie spectrale modélisée . . .	111

# Liste des tableaux

I.1	Composantes du milieu interstellaire . . . . .	13
II.1	Amas de galaxies identifiables dans le PSCzp . . . . .	34
II.2	Liste des galaxies du PSCzp dont l'extinction Galactique a été corrigée.	58
II.3	Description synthétique de la base de données PSCzp. . . . .	60
II.4	Description des champs de la base de données PSCzp. . . . .	61
II.5	(suite) . . . . .	62
III.1	Echantillon de galaxies observées en CO à haute résolution . . . . .	72
IV.1	Echantillon de galaxies observées par CVF-CAMACTIV . . . . .	90
IV.2	Echantillon de galaxies observées par IUE et résolues en radio . . . . .	99
IV.3	Echantillon de galaxies SFG résolues en radio . . . . .	103



# Préambule

L'entreprise visant à modéliser le spectre photométrique d'une galaxie ressemble au premier abord au combat voué à l'échec d'un mortel aux prises avec l'Hydre de Lerne. Si l'on se donne pour but de décrire une galaxie, les grandes échelles spatiales apparaîtront en premier, comme le bulbe et les bras du disque, puis surgiront les échelles moyennes, celles des amas stellaires ou des nuages moléculaires, et d'autres encore jusqu'aux plus petites, interagissant avec les premières et entre elles, comme celles des étoiles, des grains de poussière, des molécules, des atomes ou des rayons cosmiques.

Le travail de modélisateur consiste donc à lutter contre cette complexification et celui-ci ne peut alors se faire que par étapes successives, en isolant les échelles les unes par rapport aux autres, puis en raffinant leurs interactions. Les exemples empiriques de la loi d'atténuation de Calzetti et al. (1994, 2000) et de la loi de Schmidt (1959) sont à cet égard remarquables. Si le détail de la géométrie et de la composition de la poussière, de même que les mécanismes du déclenchement de la formation d'étoiles, restent pour le moins peu établis, ces lois permettent de s'affranchir des échelles inférieures et donnent, dans leur domaine de validité, une description raisonnable de l'échelle globale.

Désireux de fournir une description du spectre photométrique des galaxies lié à la formation d'étoiles<sup>1</sup>, et dans la perspective d'appliquer un tel modèle aux galaxies distantes pour lesquelles nous disposons de peu d'observables, je me suis attaché dans un premier temps à définir un jeu de paramètres globaux fondamentaux et dans un deuxième, à le relier à des observables.

Cette démarche m'a amené dans un premier temps à rassembler les derniers résultats observationnels obtenus, en mettant à profit les récents relevés sur tout le ciel, et de développer une base de données multi-longueurs d'onde de l'UV jusqu'à la radio, composée de 14 585 galaxies locales sélectionnées dans l'infrarouge et non-biaisée par les effets d'ouverture. Cette base de donnée, qui pourra servir de point de référence pour les études des galaxies distantes, sera présentée dans le chapitre II, après le chapitre introductif.

Dans un deuxième temps, afin de comprendre les moteurs de l'évolution des galaxies, j'ai étudié un paramètre qui jusqu'alors avait été peu pris en compte dans des efforts similaires de modélisation, à savoir la taille de la région de formation

---

<sup>1</sup>le terme d'activité dans le présent manuscrit se réfèrera, sauf mention expresse, à l'intensité de la formation stellaire. De même, une galaxie normale sera définie comme une galaxie présentant une formation stellaire modérée

d'étoiles (que nous abrègerons RFE). Après avoir discuté ses différents estimateurs, j'étudierai les effets de concentration du gaz moléculaire et de la luminosité infrarouge et je présenterai dans le chapitre III une nouvelle relation empirique exprimant la réponse en température effective des grains de poussière exposés à une luminosité, donnée à l'intérieur d'une RFE de taille fixée.

Cette relation nous permettra de redistribuer dans l'infrarouge l'énergie absorbée par la poussière. Le chapitre IV présentera un modèle spectro-photométrique semi-empirique qui, en particulier, fera appel à l'établissement d'une seconde relation empirique donnant l'atténuation de la poussière dans une galaxie de masse de gaz initial, d'âge, de temps caractéristique de formation d'étoiles et de taille fixée.

# Chapitre I

## Introduction

---

<b>I.1</b>	<b>Formation et évolution des galaxies . . . . .</b>	<b>4</b>
I.1.1	Le fond extragalactique . . . . .	4
I.1.2	L’histoire de la formation stellaire . . . . .	5
I.1.3	Les modèles de formation des galaxies . . . . .	10
<b>I.2</b>	<b>Constitution et évolution d’une galaxie . . . . .</b>	<b>13</b>
I.2.1	Le cycle de la matière . . . . .	13
I.2.2	L’évolution du milieu interstellaire . . . . .	14
<b>I.3</b>	<b>La formation stellaire au sein d’une galaxie . . . . .</b>	<b>15</b>
<b>I.4</b>	<b>Bilan optique-infrarouge . . . . .</b>	<b>17</b>
I.4.1	L’atténuation par la poussière . . . . .	18
I.4.2	Emission de la poussière . . . . .	25

---

Apparu dans la langue française au milieu du XVI<sup>e</sup> siècle, le mot *galaxie* est formé à partir du grec *gala*, le lait, en référence à l’aspect laiteux des objets célestes alors appelés *nébuleuses blanches*. La découverte que certaines d’entre elles étaient extérieures à notre Galaxie ne remonte qu’au début du XX<sup>e</sup> (E. Hubble, 1924). La Voie Lactée était devenue un représentant, parmi une multitude d’autres, de cette classe d’objets composée d’étoiles, de poussière et de gaz interstellaire dont la gravitation assure la cohésion et dont la masse peut atteindre  $10^{12} M_{\odot}$ . Les galaxies possèdent un contraste de densité de l’ordre de  $10^6$  par rapport au milieu extragalactique, et sont par conséquent aisément discernables. Par extrapolation du nombre de galaxies détectées dans le HDF (*Hubble deep field*), nous savons que l’Univers contient plus de 70 milliards de galaxies.

Leur nature complexe et variée exige une étude qui appréhende simultanément leurs différents aspects, par une approche multi-paramétrique comme celle menée par Spinoglio sur un échantillon de galaxies sélectionnées à  $12 \mu\text{m}$  et Boselli sur des

galaxies normales des amas de la Vierge ou de Coma. Ainsi, il est nécessaire de collecter un grand nombre de connaissances provenant de traceurs variés (comme les flux, raies d'émission et absorption, morphologie, etc). Leur étude multi-longueurs d'onde est indispensable car chaque longueur d'onde apporte une information complémentaire, soit en indiquant la présence d'un certain type d'activité, soit en permettant de quantifier des paramètres physiques de la galaxie et de son environnement. La combinaison des télescopes ultraviolets (IUE, AIT) ou optiques (HST, CHFT) et la nouvelle génération de télescopes terrestres et spatiaux dans le domaine infrarouge (Infrared Space Observatory, ISO), millimétrique (SCUBA) et radio (VLA), ont mis en évidence la complexité des galaxies proches et ont permis de réaliser les premières études multi-longueur d'ondes des galaxies distantes. La compréhension des phénomènes physiques régissant les galaxies proches et distantes reste en partie lacunaire et aucune solution théorique générale ne vient étayer la modélisation.

Pour décrire les moteurs et les traceurs de l'évolution de la matière, nous allons examiner successivement les différentes échelles en jeu: celle de l'Univers, d'une galaxie, puis des composantes de cette dernière.

## I.1 Formation et évolution des galaxies

L'évolution de la matière, à l'échelle cosmique, implique d'une part l'interaction au sein des galaxies des populations stellaires et des constituants du milieu interstellaire comme le gaz et la poussière, et d'autre part les interactions entre les galaxies et leur environnement comme la pression intra-amas ou la rencontre avec d'autres galaxies. Après avoir examiné ses preuves tangibles, nous présenterons deux scénarios de formation et d'évolution.

### I.1.1 Le fond extragalactique

Si certains cherchaient ou cherchent encore dans le ciel des présages de l'avenir, celui-ci est avant tout un témoin du passé. Du fait de la finitude de la vitesse de la lumière, il nous renseigne sur l'histoire cosmique. Le fond extragalactique galactique<sup>1</sup> allant des rayons X jusqu'au millimétrique est d'un intérêt cosmologique considérable car il contient le souvenir fossile du rayonnement de toutes les sources de l'Univers depuis leur naissance.

Le fond extragalactique infrarouge a été prédit entre 5 et 15  $\mu\text{m}$  par Partridge

---

<sup>1</sup>Dans le cadre de ce manuscrit, nous ne nous intéresserons pas au rayonnement cosmique micro-onde. Nous entendons par fond extragalactique galactique la somme du rayonnement des sources extragalactiques résolues et du fond diffus auquel ont été soustraits l'émission diffuse interplanétaire et interstellaire ainsi que le rayonnement cosmique micro-onde. Par souci de simplicité, nous l'appellerons désormais *fond extragalactique*.



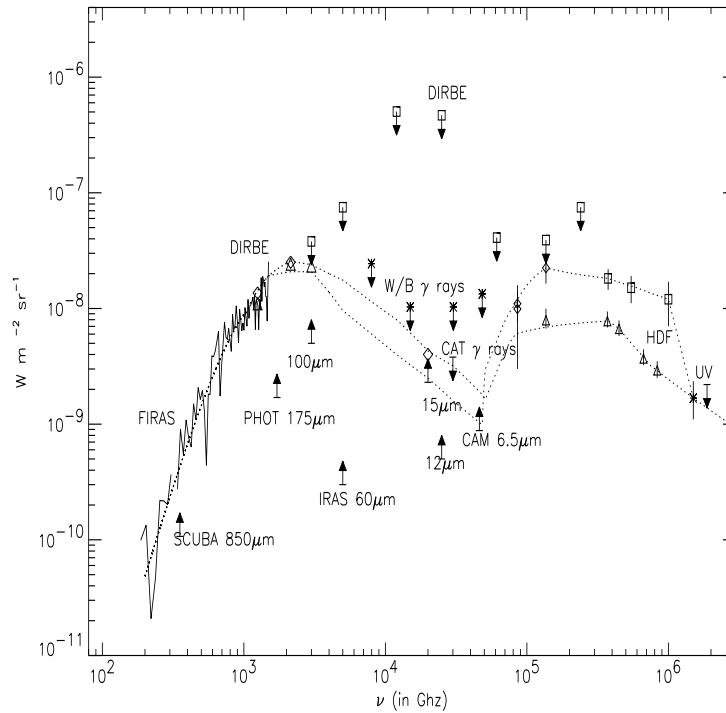
et Peebles (1967) comme le résultat du décalage vers le rouge de la distribution d'énergie spectrale optique des galaxies distantes. Si les observations ont confirmé son existence, elles ont en revanche dévoilé une toute autre nature. Le fond extragalactique infrarouge a été détecté entre  $170\ \mu\text{m}$  et  $5\ \text{mm}$  par Puget et al. (1996), Guiderdoni et al. (1997) et Fixsen et al. (1998) dans les données FIRAS puis DIRBE (Hauser et al. 1998) du satellite COBE.

La figure I.1 (Gispert et al. 2000) présente une compilation des efforts effectués de l'UV jusqu'au millimétrique pour contraindre le spectre du fond extragalactique en représentation  $\nu F_\nu$ . La comparaison des contributions optiques/UV ( $\lambda < 6\ \mu\text{m}$ ) et infrarouges indique que cette dernière est entre 1 et 2,6 fois supérieure (Gispert et al. 2000). Cela implique, en faisant l'hypothèse que le fond extragalactique provient des galaxies, que celles-ci ont une bolométrie moyennée dans le temps dominée par l'infrarouge. Or, l'Univers local n'offre pas le même tableau. Dans celui-ci, la contribution de l'infrarouge à la bolométrie des galaxies est de l'ordre de 30% (Soifer et Neugebauer 1991). Cette différence ne peut s'expliquer par l'effet du décalage spectral vers le rouge des sources lointaines et est bien la preuve d'une évolution des distributions moyennes d'énergie spectrale des galaxies au cours du temps. L'importance du rôle de la poussière à tous les décalages spectraux est manifeste (Guiderdoni et al. 1997).

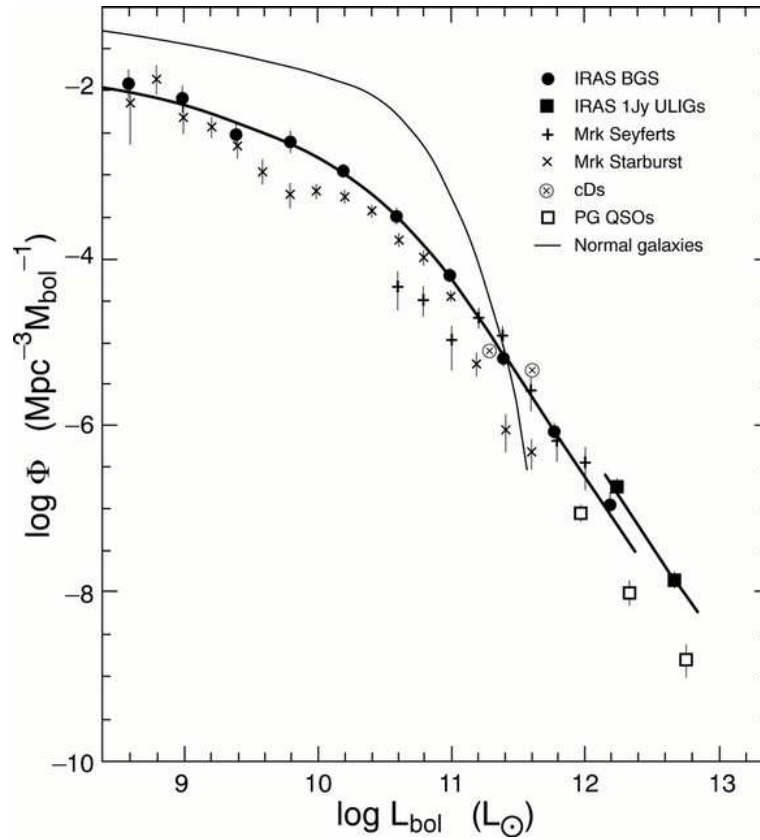
Une autre façon de voir cette évolution, non plus en terme de domination relative du rayonnement infrarouge par rapport à celui optique/UV, mais en terme de luminosité absolue, a été apporté par les relevés profonds ISOCAM. Nous avons montré (Elbaz et al. 2001, en annexe) que les galaxies détectées par ISOCAM ( $\langle z \rangle = 0.8$ , Aussel et al. 1999) sont responsables de la majorité du fond diffus infrarouge lointain et dominant donc l'histoire cosmique du rayonnement infrarouge. Ces galaxies sont très brillantes: 75% d'entre elles ont une luminosité infrarouge supérieure à  $10^{11} L_\odot$  alors que les galaxies de même luminosité infrarouge ne produisent que 6% de la densité de luminosité infrarouge de l'Univers local (figure I.2). L'importance dans le passé des galaxies dominées par l'infrarouge et plus encore celles lumineuses en infrarouge motive leur étude dans l'Univers local (Chapitre II). Le fond extragalactique offre une vision intégrée de l'histoire cosmique que nous allons maintenant préciser dans le temps.

## I.1.2 L'histoire de la formation stellaire

Avant de présenter les principaux résultats concernant l'évolution cosmique de la formation d'étoiles, nous allons présenter ses différents indicateurs.



**Figure I.1:** *Distribution d'énergie spectrale du spectre du fond extragalactique de l'UV jusqu'au millimétrique, tiré de Gispert et al. (2000). La contribution du domaine infrarouge est supérieure à celle de l'optique d'un facteur 1–2,6. Dans le domaine UV, les valeurs supérieures viennent de Martin et al. (1991) et les points de Armand et al. (1994); les points optiques et proche-infrarouge de Pozzetti et al., 1998 (triangles) et Bernstein et al., (2002) (carrés); les points à 3,5 et 2,2  $\mu\text{m}$  de Dwek et Arendt (1998) et Gorjian et al. (2000); les valeurs supérieures indiquées par un carré sont de Hauser et al. (1998) et celles par des croix de Biller et al. (1995); La valeur supérieure "CAT" est issue de Renault et al. (2001); les limites inférieures à 6.5 (Altieri et al. 1999), 12 (Clements et al. 1999) et 15  $\mu\text{m}$  (Elbaz et al. 1999) proviennent des comptages ISOCAM; à plus grande longueur d'onde, sont incluses les valeurs à 100, 140 and 240  $\mu\text{m}$  Lagache et al. 2000 ( $\Delta$ ) et Hauser et al. 1998 ( $\diamond$ ), celles de DIRBE, la limite inférieure de Dwek et al. (1998), la limite supérieure provenant des comptages à 60 (Lonsdale et al. 1990), 175 (Puget et al. 1999) et 850  $\mu$  (Barger et al. 1999a). Les lignes en pointillé restreignent le domaine du fond extragalactique compatible avec toutes les contraintes observationnelles.*



**Figure I.2:** Fonction de luminosité bolométrique des galaxies normales et des galaxies lumineuses en infrarouge, tiré de Sanders et Mirabel (1996). les galaxies plus lumineuses que  $L_{\text{IR}} = 10^{11} L_{\odot}$  ne représentent que 6% de la densité de luminosité infrarouge de l'Univers local.

## Les estimateurs de formation stellaire

Les indicateurs usuels du taux de formation d'étoiles (SFR, *Star Formation Rate*) ne permettent pas de mesurer le taux de formation instantané. Ils estiment un taux moyenné sur une durée qui est environ celle de la vie des étoiles tracées et pendant laquelle une hypothèse sur le taux de formation stellaire instantané est effectuée. Ils ne rendent pas compte de la formation de toutes les étoiles: une correction est effectuée en faisant le choix plus ou moins sensible suivant l'indicateur d'une fonction de masse initiale (IMF, *Initial Mass Function*, Salpeter 1955, Scalo 1986). Enfin, ces indicateurs peuvent être atténués ou contaminés par des objets sans lien avec la formation stellaire et nécessitent des corrections.

- la raie de recombinaison  $H_\alpha$  (calibrée par Kennicutt 1983) est émise par le milieu interstellaire ionisé par les étoiles jeunes et chaudes de masse supérieure à  $10 M_\odot$  (de durée de vie  $2 \cdot 10^7$  ans). Le flux dans l'UV lointain est également utilisé comme indicateur de la formation stellaire (Donas et Deharveng 1984), il tient compte des étoiles de plus faible masse ( $M > 1,5 M_\odot$ , Buat et al. 1987) mais est dominé par les étoiles de masse  $M > 5 M_\odot$ , ce qui donne une échelle de temps de l'ordre de  $10^8$  ans. Les estimateurs UV et  $H_\alpha$  sont très sensibles aux effets d'atténuation. La connaissance de la luminosité infrarouge permet une bonne détermination de l'atténuation (calibration avec le rapport  $F_{IR}/F_{UV}$ , Buat et Xu 1996, Gordon et al. 2000). Des efforts soutenus sont réalisés pour élaborer une technique de correction ne faisant pas appel à l'infrarouge. L'atténuation reste sous-estimée après correction par le décrétement de Balmer pour les galaxies plus lumineuses que  $3 \cdot 10^{11} L_\odot$  (Cardiel et al. 2003) en infrarouge. Une calibration de l'atténuation avec la pente UV  $\beta$  a été proposée par Meurer et al. (1999) Nous discuterons cette relation dans le chapitre IV. Plus récemment, Buat et al. (2002) ont étudié une calibration avec le rapport  $F_{H_\alpha}/F_{UV}$ .

- le flux du continuum radio provient de l'émission synchrotron des électrons accélérés par les explosions d'étoiles plus massives que  $8 M_\odot$  en supernovæ. Après soustraction de la contamination thermique ou liée à la présence d'un noyau actif, l'indicateur radio sera sensible aux étoiles de masse supérieure à  $8 M_\odot$  et aux variations temporelles supérieures à leurs âges, soit  $4 \cdot 10^7$  ans (Condon 1992).

- la raie  $H_\alpha$  n'étant plus observable par les spectromètres optiques au-delà de  $z \sim 0,3$ , Kennicutt (1992) a proposé et calibré la raie [O II]. Cet estimateur est moins fiable car la luminosité [O II] dépend fortement de la métallicité.

- la luminosité infrarouge totale ou lointaine ( $40 \mu\text{m}$ – $120 \mu\text{m}$ ) est un estimateur courant du taux de formation stellaire. Cela résulte des propriétés absorbantes de la poussière qui privilégient les photons de courte longueur d'onde. Celle-ci est donc préférentiellement chauffée par les étoiles jeunes et chaudes. Comme l'estimateur radio, celui-ci peut être contaminé par la présence d'un noyau actif. A la différence des estimateurs précédents, l'estimateur  $\text{SFR}_{IR}$  intègre sur une durée plus

grande car il peut être affecté par la présence d'une population relativement vieille (Helou 1986, Lonsdale-Persson et Helou 1987, Sauvage et Thuan 1992). Cependant, pour les galaxies les plus actives, cet effet est négligeable (Buat et Xu 1996, Kennicutt 1998). En outre, les calibrations habituelles ne tiennent compte que de la formation stellaire enfouie. Les luminosités infrarouge moyen à 7 et 15  $\mu\text{m}$  sont aussi des estimateurs de formation stellaire car elles sont positivement corrélées aux luminosités  $H_\alpha$  dans les disques des galaxies locales de formation stellaire modérée (Roussel et al. 2001c), ainsi qu'à la luminosité infrarouge lointain pour les galaxies actives jusqu'à  $z \sim 1$  (Chary & Elbaz 2001).

## Les relevés

Lilly et al. (1996) ont observé une évolution de la densité comobile de luminosité UV au repos (2800 Å) proportionnelle à  $(1+z)^{3,9}$  pour des galaxies du CFRS (*Canada-France Redshift Survey*). Plus récemment, Cowie et al. (1999) ont suggéré de réduire cette évolution à  $(1+z)^{1,5}$ . Hogg et al. (1998) estiment que l'évolution de la densité comobile de luminosité OII varie comme  $(1+z)^{3,3}$ .

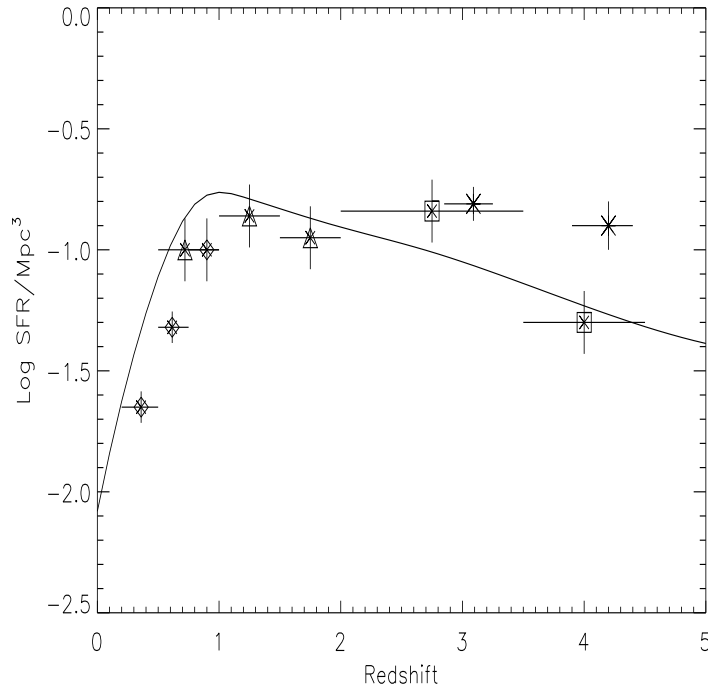
Les observations à 15  $\mu\text{m}$  par le satellite ISOCAM ont mis en évidence les effets d'extinction affectant les estimateurs optiques: Flores et al. (1999) dérivent une évolution de la luminosité comobile de luminosité infrarouge proportionnelle à  $(1+z)^{5,5}$ , soit une augmentation d'un facteur 3 de la densité comobile de formation stellaire à  $z=1$  par rapport à celle donnée par Lilly et al. (1996).

Elbaz et al. (1999) ont mis en évidence une augmentation du nombre de sources d'éclat plus faible que 2 mJy détectées à 15  $\mu\text{m}$  par rapport aux comptages optiques, compatible avec les études dans le domaine radio (Fomalont et al. 1991 et articles suivants). Les travaux qui en ont suivi indiquent d'une part une très forte évolution en luminosité et/ou en nombre (Chary et Elbaz 2001, Xu et al. 2001, Franceschini et al. 2001) et d'autre part que les sources ISOCAM sont un sous-échantillon des sources détectées dans les bandes K et B, impossibles à discerner des autres sources sans la connaissance du flux infrarouge.

Le suivi des sources ISOCAM en rayons X par le satellite XMM a permis à Fadda et al. (2002) de montrer que les sources détectées à 15  $\mu\text{m}$  sont dominées par les galaxies à flambée d'étoiles, ce qui a permis d'établir catégoriquement la forte augmentation des galaxies à flambée d'étoiles jusqu'à un décalage spectral de 1,5.

Au-delà de  $z \sim 1$ , l'évolution de la densité comobile de formation stellaire reste sujet à débats. Celle-ci peut soit décliner, soit former un plateau. A ces distances lointaines, les relevés actuels infrarouges et radio ne sont pas assez sensibles. Les estimateurs optiques continuent à souffrir de l'extinction (Madau et al. 1996, Steidel et al. 1999) car le fait que les galaxies lointaines soient sous-métalliques n'impliquent pas qu'elles soient dénuées de poussières (Sauvage et al. 1999, Thuan et al. 1999).

Les relevés submillimétriques SCUBA à  $850\ \mu\text{m}$  (Smail et al. 1997, Hughes et al. 1998) n'apportent qu'une information dégénérée du fait de la difficulté d'identifier leurs sources correctement (des erreurs d'identification ont été reconnues: Hughes et al. 1998, Downes et al. 1999, Smail et al. 1999) et par conséquent de leur attribuer une distance.



**Figure 1.3:** Evolution cosmique de la densité comobile de formation d'étoiles (Synthèse par Gispert et al. 2000).

### I.1.3 Les modèles de formation des galaxies

Nous avons vu que les galaxies évoluaient, il reste à se poser la question des moteurs de leur formation. Les galaxies, telles des *Univers-Iles* avec leur propre histoire, sont-elles le siège d'une évolution interne fixée par des conditions initiales ou bien dépendent-elles des effets environnementaux?

Pour expliquer les grandes lignes de la formation et de l'évolution des galaxies, deux modèles sont en concurrence, sans qu'il soit encore possible d'en exclure un de façon catégorique. Le premier scénario, appelé effondrement monolithique, envisage que la plupart des galaxies massives se font formées en même temps et très tôt, à partir de fluctuations de densité primordiales. Puis, elles subissent une évolution passive au fur et à mesure que les étoiles vieillissent. Dans ce modèle, l'évolution est

gouvernée par les conditions initiales fixées par le sursaut initial et les interactions entre les galaxies sont secondaires. Au contraire, celles-ci fournissent le déterminant du second scénario, dit de formation hiérarchique, dans lequel les structures naissent de fluctuations primordiales moins importantes, se rencontrent et s'aggrègent pour en former de plus grandes.

Des études du relevé profond CFRS ont montré que les galaxies massives comme les elliptiques à un décalage spectral de  $z \sim 1$ , ont une densité comobile numérique comparable aux densités actuelles (Franceschini et al. 1998, Schade et al. 1999) et que pendant le même laps de temps, les échelles de longueur des disques des grandes spirales n'avaient pas évolué (Lilly et al. 1998). D'autre part, Chiosi et Carraro (2002), après avoir réanalysé la contribution des vents galactiques, affirment que les galaxies elliptiques les plus massives résultent d'un unique sursaut précoce de formation stellaire. Ces résultats et la contrainte imposée par la relation entre la luminosité et la métallicité des galaxies elliptiques, semblent confirmer le scénario de formation monolithique des galaxies selon lequel la majeure part de la formation stellaire se produit dès lors que la plupart du gaz s'est accumulée dans des puits de potentiel gravitationnel.

Cependant, au-delà de  $z \sim 1$ , les galaxies elliptiques seraient beaucoup moins nombreuses et les disques des galaxies spirales plus petits; plus généralement, les rapports masse sur luminosité diminuent (Driver et al. 1998, Barger et al. 1999b, Rodighiero et al. 2001, Dickinson et al. 2003). Ce sont des conséquences attendues du modèle hiérarchique.

En fait, Madau et al. (1998) montrent que les deux modèles de formation d'étoiles sont compatibles avec les densités de luminosité observées dans le visible dès lors que l'on masque le rayonnement des galaxies distantes par de l'extinction dans le cas de l'effondrement monolithique. Pour trancher la question, des observations directes ou corrigées de l'extinction seront nécessaires à grand décalage spectral.

Il reste cependant que le modèle d'effondrement monolithique s'accommode mal avec les observations optiques montrant que l'importance des interactions croît avec le décalage spectral:

- Le Fèvre et al (2000) ont montré la forte évolution du nombre de galaxies en interaction avec le décalage spectral jusqu'à  $z = 1$ .
- 68% des galaxies du HDF sélectionnées dans l'optique sont dans des groupes ou des associations de galaxies (Cohen et al. 2000).
- les galaxies compactes lumineuses présentent des signes d'interaction et sont candidats à être les progéniteurs des bulbes des galaxies spirales massives (Hammer et al. 2001).

De plus, le suivi optique des échantillons de galaxies infrarouges proches et dis-

tantes a amené des arguments en faveur du scenario de formation hiérarchique:

- dans l'Univers local observé par IRAS, la probabilité qu'une source infrarouge sans noyau actif révèle des contreparties en interaction croît avec la luminosité infrarouge. Au-delà de  $10^{11} L_{\odot}$ , la plupart des galaxies lumineuses sont marquées par des effets d'interaction (références dans Sanders et Mirabel 1996). En outre, Borne et al. (1999) ont mis en évidence des collisions ou fusions multiple pour les galaxies les plus lumineuses (figure I.4).

- à  $z \sim 0,8$  dans le CFRS, plus de 30% des galaxies ISOCAM détectées dans le CFRS sont en interaction (Flores et al. 1999). Aussel (2002) montre qu'aucune des sources ISOCAM du HDF n'est une galaxie de champ isolée. Comme nous avons montré que ces galaxies étaient responsables de la majorité du fond diffus infrarouge, nous concluons que la majorité de la formation cosmique stellaire a eu lieu dans des galaxies en interaction ou du moins en association.



**Figure I.4:** Images HST an bande I de sources ultralumineuses en infrarouge. Elles révèlent des galaxies multiples en interaction ou collision (Borne et al. 1999)

Après avoir envisagé la plausibilité du scenario selon lequel l'histoire de la for-



mation cosmique stellaire a été gouvernée par les interactions et les collisions, nous allons examiner une échelle inférieure, celle d'une galaxie.

## I.2 Constitution et évolution d'une galaxie

Une galaxie pourrait se décrire simplement: elle est composée d'étoiles et d'un milieu interstellaire. Cette description sous forme de truisme est révélatrice de la complexité de ce qui n'est pas stellaire au sein d'une galaxie. Le tableau I.1 présente les différentes phases du milieu interstellaire dans la Galaxie, d'après Lequeux (2002). Comme leurs masses totales ne sont pas connues avec précision, la prise en compte de toute la variété du milieu interstellaire dans un modèle destiné à être appliqué sur des galaxies distantes aboutirait à faire des postulats Galactocentriques hardis ou à introduire des paramètres libres difficiles à contraindre. Il est cependant possible

**Tableau I.1:** Composantes du milieu interstellaire de la Galaxie, tiré de Lequeux (2002). Les masses totales sont données à titre indicatif.

Milieu		Densité [cm <sup>-3</sup> ]	Température [K]	Masse totale [M <sub>⊙</sub> ]
Atomique (HI)	Froid	≈ 25	≈ 100	1,5 10 <sup>9</sup>
	Tiède	≈ 0,25	≈ 8 000	1,5 10 <sup>9</sup>
Moléculaire (H <sub>2</sub> )		≥ 1 000	≤ 100	10 <sup>9</sup> ?
Ionisé	Région HII	≈ 1 – 10 <sup>4</sup>	≈ 10 000	5 10 <sup>7</sup>
	Diffus	≈ 0,03	≈ 8 000	10 <sup>9</sup>
	Chaud	≈ 6 10 <sup>-3</sup>	≈ 5 10 <sup>5</sup>	10 <sup>8</sup> ?

d'extraire dans les grandes lignes l'évolution de la matière dans une galaxie.

### I.2.1 Le cycle de la matière

Une galaxie est le siège de continuelles transformations faisant appel à toutes les formes d'énergie. Le gaz du milieu interstellaire ou du halo s'effondre, en combinant les actions des forces gravitationnelles, magnétiques, turbulentes et de pression, pour former les disques à grande échelle et les étoiles aux petites échelles. Durant l'évolution stellaire, les réactions thermonucléaires enrichissent les étoiles en métaux lourds qui seront réinjectés dans le milieu interstellaire par le biais de mécanismes la dotant d'énergie cinétique, comme les vents stellaires ou les explosion des étoiles massives en supernovæ. Cette énergie cinétique contribuera à chauffer le milieu interstellaire en se transformant en une énergie interne qui aura pour effet de ralentir l'effondrement des nuages moléculaires et donc, dans certaine mesure, de s'opposer à

la formation stellaire et de limiter la durée des sursauts. Le cycle de la matière avec ses temps caractéristiques est présenté dans la figure I.5 (Vigroux 2002). Si de la matière sort du cycle sous la forme d'étoiles brunes ou blanches, d'étoiles à neutron et de trous noirs ou sous la forme de vents extragalactiques, des apports sont également injectés lors de l'effondrement de gaz extragalactique, ou lors de collision ou fusion survenant lors d'une rencontre avec une autre galaxie.

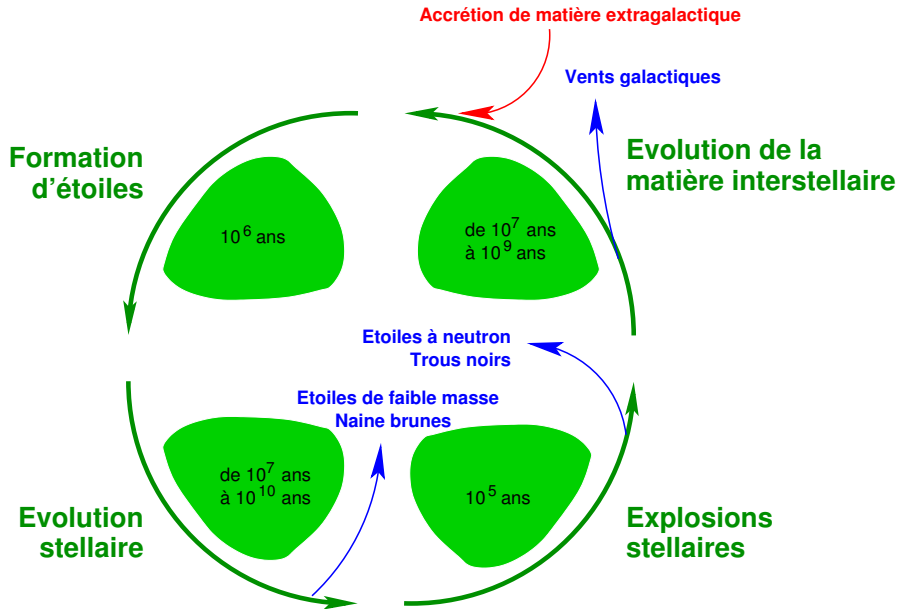


Figure I.5: Cycle de la matière au sein d'une galaxie (Vigroux 2002).

## I.2.2 L'évolution du milieu interstellaire

Si l'on se place maintenant à l'échelle des composants du milieu interstellaire, des processus physiques complexes et variés de formation, de destruction se produisent résultant en un échange de masse entre les phases du milieu interstellaire ou modifiant la distribution de taille des grains de poussières.

- gaz ionisé tiède et neutre: l'échange entre ces deux phases est dominé par les effets dissociatifs du rayonnement UV des étoiles jeunes et chaudes, capables d'émettre dans le continuum Lyman. Environ 30% des étoiles O se situent hors des régions HII (Lequeux 2002) et contribuent à chauffer le milieu neutre diffus.

- gaz atomique et moléculaire: le gaz atomique se combine en gaz moléculaire sur la surface des grains lors de la condensation gravitationnelle des nuages du milieu interstellaire. Le gaz moléculaire est détruit par les vents stellaires, les explosions d'étoiles massives en super-novæ et par l'ionisation. A plus grande échelle, la destruction des nuages moléculaires s'opère par photo-ionisation, photo-dissociation

ou fragmentation par les étoiles massives qui naissent à l'intérieur en un laps de temps moyen de l'ordre de  $10^7$  ans (Leisawitz et al. 1989)

– gaz et poussières: la poussière se forme généralement dans le milieu neutre dense des nuages moléculaires, des enveloppes froides d'étoiles évoluées (nébuleuses planétaires) et dans le milieu enrichi par les vents des étoiles Wolf-Rayet des novæ et des supernovæ suivant des processus de nucléation, de condensation de molécules volatiles, d'accrétation d'atomes et de coagulation des grains. La destruction des de la poussière se produit dans le milieu diffus sous l'effet des chocs induits par les supernovæ ou les vents stellaires. Les processus efficaces sont l'érosion par les ions ou les atomes de haute énergie, la fragmentation et la vaporisation par collision grain-grain. Ce n'est que dans les cas extrêmes de rayonnement UV-X très intenses comme la proximité avec des étoiles massives jeunes ou d'un noyau actif de galaxie sur les grains de plus petite taille que le processus destructif de photo-érosion est efficace. La durée de vie de la poussière réfractaire comme le graphite et le silicate détruite par les chocs de l'ordre de  $200 \text{ km s}^{-1}$  est de l'ordre de  $5 \cdot 10^8$  ans (Jones et al. 1994, 1996).

– le gaz chaud, accéléré par les supernovæ, occupe un grand volume et peut se déplacer sur de grande distance. Sous la forme de vents ou de *fontaines* galactiques (Houck et Bregman 1990), il peut s'échapper du champ gravitationnel des galaxies ou bien se refroidir pour former des nuages neutres dans le halo qui seront recyclés en retombant dans le disque.

### I.3 La formation stellaire au sein d'une galaxie

Alors que la phase de formation des étoiles par effondrement du nuage moléculaire est un phénomène encore mal compris (cf. Pudritz 2001) de par la variété des processus physiques mis en jeu comme la gravitation, la turbulence, les champs magnétiques ou les rayons cosmiques, il existe deux lois empiriques décrivant la formation d'étoiles sur des échelles globales galactiques (supérieures à 1 kpc).

La première loi indique que la formation stellaire ne se produit qu'au-dessus d'un seuil qui peut être fixé (Gallagher et Hunter 1984, Guiderdoni 1987a, Hunter et al. 2001):

$$\Sigma_{\text{SFR}} > \Sigma_0 \sim 5 M_{\odot} \text{ pc}^{-2} \quad (\text{I.1})$$

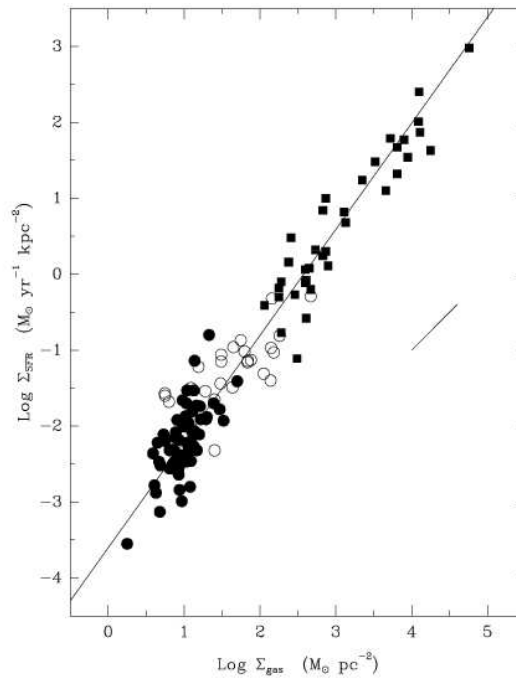
ou qui découle du critère d'instabilité de Toomre (1964) pour les disques (Zasov et Simakov 1988, Kennicutt 1989),

$$\Sigma_{\text{gaz}} > \Sigma_c \sim 0,7 \frac{c\kappa}{\pi G} \quad (\text{I.2})$$

où  $c$  est la vitesse de dispersion et  $\kappa$  la fréquence épicyclique. Le seuil  $\Sigma_c$  vient de la théorie des instabilités auto-gravitantes dans des disques de gaz à rotation différentielle. Lorsque  $\Sigma_{\text{gaz}} > \Sigma_c$ , les bras spiraux peuvent se former facilement et peuvent s'effondrer en des nuages moléculaires géants qui seront le siège de la formation d'étoile. Cependant, le seuil  $\Sigma_c$  de densité surfacique de gaz reste valide dans le cas d'absence de bras spiraux (Vader et Vigroux 1991, van der Hulst 1993, Downes et Solomon 1998)

La seconde loi, dite de Schmidt (Schmidt, 1959), lie le taux surfacique de formation stellaire à la densité surfacique de gaz (Buat et al. 1989, Kennicutt 1989, 1998, Zhang et al. 2001),

$$\Sigma_{\text{SFR}} = \Sigma_{\text{gaz}}^{1,4}. \quad (\text{I.3})$$



**Figure I.6:** Loi de Schmidt composite reliant le taux surfacique de formation d'étoiles à la densité surfacique de gaz. Les ronds correspondent à des galaxies normales, les cercles aux régions circumnucléaires de ces galaxies et les carrés à un échantillon de galaxies lumineuses en infrarouge et donc actives en formation stellaire. La ligne solide est l'ajustement aux données et a pour pente 1,4. (Kennicutt 1998)

Cette loi, présentée dans la figure I.6, se vérifie de façon remarquable sur 4 ordres de grandeurs en densité surfacique et sur 5 ordres de grandeurs en taux surfacique de formation stellaire. Le taux surfacique de formation stellaire peut s'écrire de la

façon générale suivante:

$$\Sigma_{\text{SFR}} \sim \text{efficacité} \times \Sigma_{\text{gaz}} \times \text{taux de formation des nuages} = \frac{\epsilon \Sigma_{\text{gaz}}}{\tau} \quad (\text{I.4})$$

La loi de Schmidt ne permet pas de discriminer le processus physique responsable de la formation stellaire. Plusieurs interprétations ont été données:

– Dans le disque autogravitant (qui vérifie déjà le seuil de formation d'étoile observé dans les galaxies, Quirk 1972),  $\tau \propto (G\rho)^{-0.5}$  peut être assimilé au temps de croissance des perturbations dans le disque (Larson 1988, Elmegreen 1994).

– Silk (1997) et Elmegreen (1997b) ont suggéré que le taux surfacique de formation d'étoiles dépend de l'échelle de temps dynamique local,

$$\Sigma_{\text{SFR}} \propto \frac{\Sigma_{\text{gaz}}}{\tau_{\text{dyn}}} \quad (\text{I.5})$$

Ici,  $\tau = \tau_{\text{dyn}}$  correspond au temps orbital local du disque. Kennicutt (1998) a vérifié observationnellement cette relation et en a déduit une efficacité moyenne de formation stellaire d'environ 10% de la masse de gaz disponible par orbite. Alors que dans l'interprétation précédente, une augmentation de l'efficacité de formation stellaire résulte uniquement d'une augmentation de la densité du gaz, dans ce cadre, elle résulte aussi d'échelles dynamiques plus courtes.

– Tan (2000), arguant que la présence d'un champ magnétique inhibe ou ralentit la formation spontanée d'instabilités découlant du critère de Toomre, déduit la loi de Schmidt à partir d'un modèle où la formation d'étoiles est provoquée par les collisions entre les nuages et où  $\tau$  correspond au temps de collision moyen internuage.

Les lois empiriques que nous avons évoquées rendent ainsi compte de la formation stellaire dans les disques des galaxies modérées et dans les galaxies à flambée d'étoiles lumineuses en infrarouge. Cependant, non seulement plusieurs mécanismes de formation stellaire sont compatibles avec la loi de Schmidt, comme nous venons de le voir, mais de surcroît, elles n'expliquent pas le déclenchement des sursauts de formation stellaire qui sont dû, très vraisemblablement, à des effets environnementaux comme les interactions ou la collision avec une galaxie extérieure.

## I.4 Bilan optique-infrarouge

Les observations du satellite IRAS dans l'infrarouge ont apporté une surprise de taille. Dans leur revue, Soifer et al. (1987) indiquent que seulement la moitié des 25 000 galaxies détectées étaient connues dans l'optique. Il était alors découvert que des galaxies de l'Univers local rayonnent jusqu'à 99% de leur luminosité

bolométrique dans l'infrarouge, alors que pour d'autres, comme les elliptiques, la quasi-totalité du rayonnement se fait dans l'optique et le proche-infrarouge. La poussière, responsable de l'émission infrarouge au-delà de  $6\ \mu\text{m}$  des galaxies sans noyau actif, avait donc la faculté de modifier complètement la distribution d'énergie spectrale de certaines sources.

Pour interpréter l'émission infrarouge, il est nécessaire de faire le bilan énergétique du milieu interstellaire. C'est un système physique ouvert alimenté par l'énergie rayonnée par les étoiles. Cet apport d'énergie est déposé préférentiellement sur les grains interstellaires qui, à la différence du gaz, absorbent de façon continue la lumière visible et ultraviolette. Le refroidissement des grains s'effectue de façon dominante par l'émission de photons infrarouges et pour le reste (quelques pourcents de l'énergie absorbée) par l'éjection de particules énergétiques, surtout des électrons arrachés par effet photoélectrique ou très marginalement des atomes par photo-érosion. Ce sont ces électrons qui, en se thermalisant dans le milieu interstellaire, vont permettre le chauffage du gaz. D'autre part, les grains de poussière jouent un rôle fondamental dans la chimie du milieu interstellaire. Par exemple, ils servent de catalyseur dans la formation de la molécule la plus répandue, le dihydrogène, qui à son tour initie toute la chimie en phase gazeuse. La recombinaison d'un atome d'hydrogène incident (provenant du gaz ou migrant à la surface du grain) s'effectue avec un autre atome d'hydrogène lié au grain par physisorption ou chimisorption.

Les grains de poussières jouent donc un rôle essentiel dans l'évolution d'une galaxie et dans la distribution spectrale que nous observons. Nous allons décrire deux de ces phénomènes plus en détail, à savoir l'absorption et l'émission de photons par la poussière.

### I.4.1 L'atténuation par la poussière

La détermination de l'atténuation dans une galaxie dépend très fortement de la loi d'extinction utilisée et de la distribution relative de la poussière par rapport aux étoiles. Des paramètres fondamentaux tels que le taux de formation instantané déduit à partir de la raie  $H_\alpha$  peuvent être très affectés.

#### Généralités

Nous appellerons indifféremment atténuation, obscuration ou extinction effective la fraction transmise (ou observée)  $I_\lambda^t$  de la lumière monochromatique émise intrinsèquement  $I_\lambda^o$ . Celle-ci mesure la diminution de la luminosité d'une source au travers du milieu interstellaire et résulte de deux processus physiques: l'absorption et la diffusion des photons par le milieu. L'atténuation s'exprime couramment en

magnitude:

$$A_\lambda = -2.5 \log \left( \frac{I_\lambda^t}{I_\lambda^o} \right) \quad (\text{I.6})$$

$$= m_\lambda^t - m_\lambda^o \quad (\text{I.7})$$

Nous réserverons le terme d'extinction pour désigner l'atténuation de la lumière émise par une source ponctuelle située derrière un écran de poussière. Dans ce cas de géométrie simple, en définissant l'épaisseur optique  $\tau_\lambda$  par

$$\tau_\lambda = \int_{\text{écran}} \kappa_\lambda ds, \quad (\text{I.8})$$

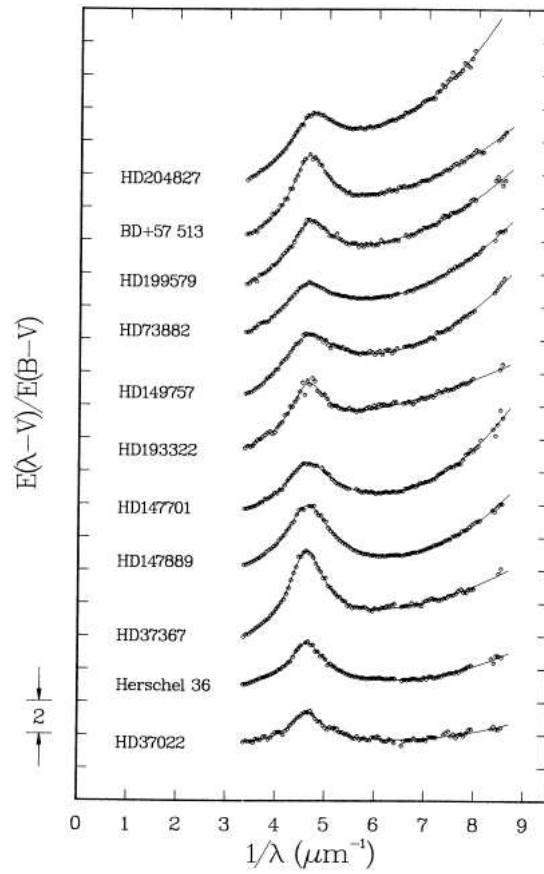
l'extinction a pour expression:

$$I_\lambda^t = I_\lambda^o e^{-\tau_\lambda} \quad (\text{I.9})$$

$$A_\lambda = 1.086 \tau_\lambda, \quad (\text{I.10})$$

Le modèle d'écran est justifié pour mesurer l'atténuation par le milieu interstellaire de la lumière émise par une étoile et a permis d'établir des courbes (ou loi) d'extinction dans différentes lignes de visée en comparant les spectres atténués d'étoiles de même classe. Cette méthode exige de résoudre les étoiles et son champ d'application se limite pour l'instant à notre Galaxie, ses satellites et marginalement son compagnon proche Andromède (M31). Au sein de notre Galaxie, la loi d'extinction n'est pas uniforme et varie considérablement: la figure I.7 présente des lois d'extinction dans la direction de 11 étoiles de la Galaxie (Fitzpatrick et Massa 1988). Greenberg et Chlewicki, (1983) ont montré que l'excès d'extinction à  $0,2175 \mu\text{m}$  et la pente dans l'UV lointain variaient indépendamment de l'extinction optique. Ainsi, l'anisotropie de la loi d'extinction implique que la composition ou la distribution spatiale de la poussière change suivant les lignes de visée.

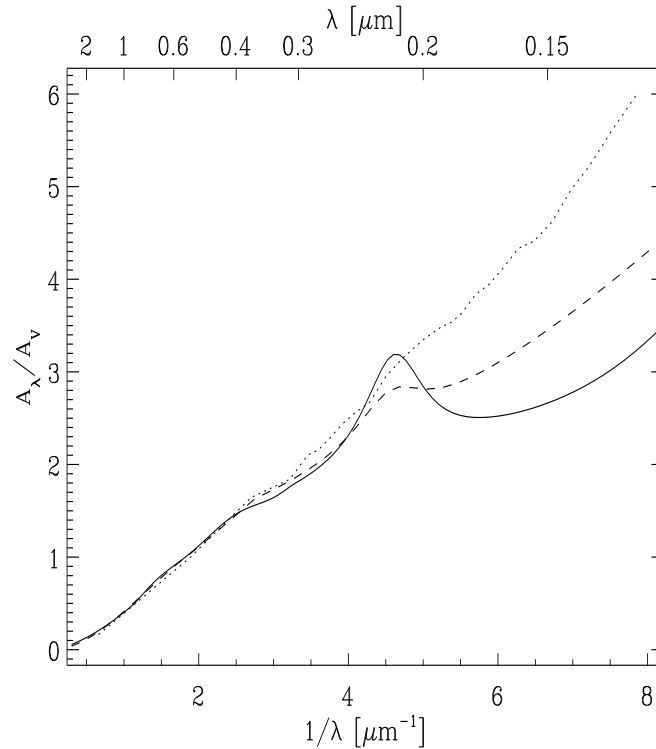
Les lois d'extinction moyenne varient également d'une galaxie à une autre, ainsi que le montre la figure I.8 pour les Nuages de Magellan et la Galaxie. Bianchi et al. (1996) trouvent pour M31 une courbe d'extinction similaire à celle de notre Galaxie, hormis un excès d'extinction moins marqué à  $0,2175 \mu\text{m}$ . M31 a une métallicité comparable à notre galaxie et certains auteurs (Lequeux 1984, 1988, Guiderdoni et Rocca-Volmerange 1987) ont proposé une dépendance de la courbe d'extinction en fonction de la métallicité: les courbes d'extinction de la Galaxie, le Grand et le Petit nuage de Magellan, qui ont pour métallicités respectives décroissantes  $[O/H] = 12 + \log(O/H) = 8,76, 8,50$  et  $8,00$ , présentent une diminution de l'excès à  $0,2175 \mu\text{m}$  et une augmentation de la pente dans l'ultraviolet lointain. D'autres interprétations existent pour expliquer les variations des courbes d'extinction cependant, comme par exemple la variation relative des composantes graphitique et silicatée (Mathis et al. 1977, Draine et Lee 1984) ou celle d'un mélange triple composé



**Figure I.7:** Variation au sein de notre Galaxie de la loi d'extinction intégrée le long de la ligne de visée de 11 étoiles différentes (Fitzpatrick et Massa 1988). Les cercles correspondent aux observations par le satellite IUE, la ligne solide au modèle empirique des auteurs.

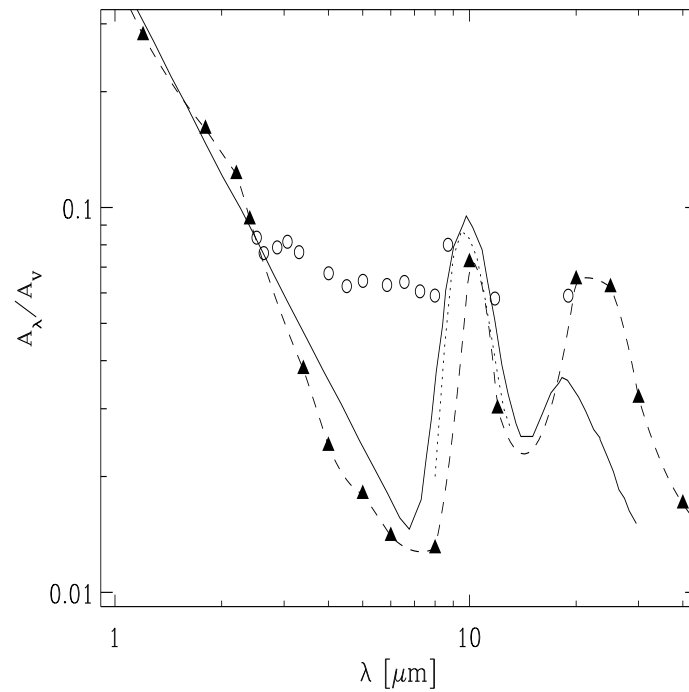


de très petits grains carbonés responsables de l'excès d'extinction à  $0,2175\ \mu\text{m}$ , de silicates enveloppés dans un manteau de matériau réfractaire organique comme du carbone amorphe hydrogéné et de PAHs responsables de l'extinction dans l'UV lointain (Greenberg 1989, Li et al. 1997) Dans le domaine infrarouge, la détermi-



**Figure I.8:** Lois d'extinction moyennes pour la Galaxie (trait plein, Cardelli et al. 1989), le Grand Nuage de Magellan (en tiret, Howarth 1983) et le Petit Nuage de Magellan (en pointillé, Prévot et al. 1984 et Bouchet et al. 1985). On constate la disparité des excès à  $0,2175\ \mu\text{m}$  et des pentes dans l'UV lointain.

nation des lois d'extinction est beaucoup plus difficile et elle est entachée d'erreurs plus grandes. La courbe d'extinction n'est pas plus universelle que celle en optique et UV. La figure I.9 présente les lois d'extinction dans l'infrarouge moyen modélisées par Draine et Lee (1984) et Mathis et al. (1983) ainsi que celles observées par Rieke et Lebofsky (1985) et Lutz (1999). Les larges bandes d'absorption correspondent aux modes vibrationnels de valence (ou d'élongation, *stretching*) des liaisons Si–O et de déformation plane (ou de flexion, *bending*) O–Si–O. Le large écart entre les observations de Lutz (1999) et celles de Rieke et Lebofsky (1985) à  $8\ \mu\text{m}$  ne s'explique pas facilement car toutes deux, à l'exception d'une étoile pour les derniers, ont été déterminées vers le centre galactique. Plus de travaux seront nécessaires pour contraindre les lois d'extinction dans l'infrarouge et particulièrement entre 4 et  $8\ \mu\text{m}$ .



**Figure I.9:** Loi d'extinction dans l'infrarouge moyen. La courbe solide correspond à la loi d'extinction du modèle de Draine et Lee (1984), la courbe en pointillé aux observations de Rieke et Lebofsky (1985) la courbe en tiret et les triangles au modèle de Mathis et al. (1983) et les cercles aux observations de Lutz (1999). On remarque la grande différence dans le domaine 4-8  $\mu\text{m}$ .

## Les effets de géométrie

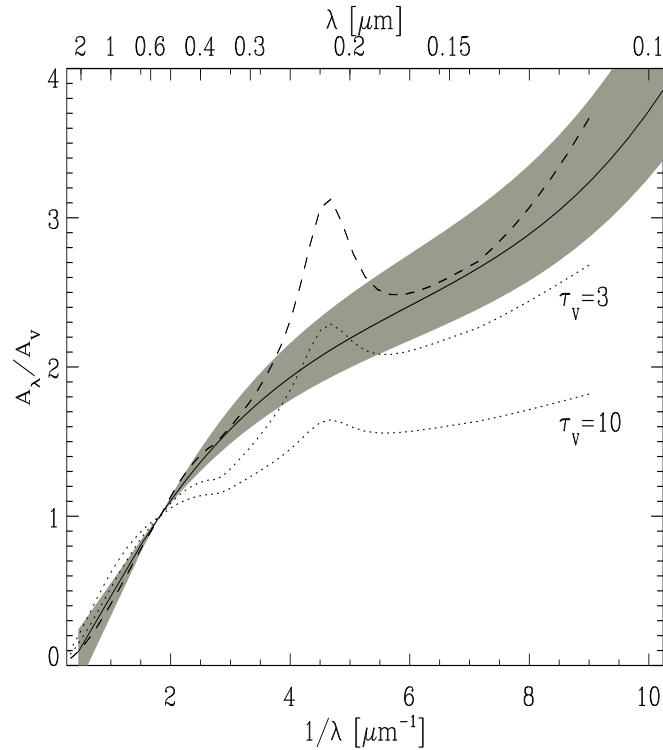
Aux variations locales de la courbe d'extinction, s'ajoutent des effets encore plus marqués liés à la distribution globale de la poussière par rapport aux étoiles. Dans le cas d'une galaxie, la source de lumière est spatialement étendue et son obscuration résulte aussi bien des propriétés physiques locales de la poussière telles que leur composition, leur forme et leur taille ainsi que les propriétés à plus grande échelle comme la géométrie du milieu interstellaire. Connaissant les propriétés physiques de la poussière et la distribution des sources et du milieu interstellaire, l'atténuation se déduit de l'équation intégral-différentielle de transfert radiatif:

$$\frac{dI_\lambda}{ds} = -\kappa_\lambda I_\lambda(s, \theta, \phi) + \epsilon_\lambda(s, \theta, \phi) + \kappa_\lambda \frac{\omega_\lambda}{4\pi} \int_{\Omega} I_\lambda(s, \theta', \phi') \Phi_\lambda(\cos \Theta) d\Omega' \quad (\text{I.11})$$

où  $I_\lambda(s, \theta, \phi)$  est l'intensité spécifique monochromatique de rayonnement,  $ds$  l'élément infinitésimal de chemin optique,  $d\Omega'$ , l'angle solide vu par le grain de poussière,  $\kappa_\lambda$  est le coefficient d'extinction (ou d'opacité) monochromatique (tenant compte de l'absorption et de la diffusion) de la poussière par unité de chemin optique  $s$ ,  $\epsilon_\lambda(s, \theta, \phi)$  l'émissivité monochromatique des sources le long de la direction de propagation,  $\omega_\lambda$  est l'albédo, soit la fraction de l'opacité due à la diffusion et  $\Phi_\lambda(\cos \Theta)$  la fonction de phase des grains de poussière exprimé en fonction de  $\Theta$ , l'angle entre le rayon incident  $(\theta, \phi)$  et le rayon diffusé  $(\theta', \phi')$ .

Malheureusement, pour une galaxie, la structure du milieu interstellaire est fractale (Elmegreen et Falgarone 1995, Elmegreen 1997a), et se matérialise sous une forme diffuse ou sous la forme de nuages filamentaires ou sphéroïdaux, tout comme la distribution des étoiles (Elmegreen et Elmegreen 2001). L'obscuration dépend très fortement de la position relative des étoiles par rapport aux nuages moléculaires. Les étoiles y naissent, mais elles peuvent s'en échapper et dans certains cas les détruire. La résolution de l'équation I.11 est donc particulièrement ardue pour les galaxies et l'on est généralement amené soit à faire des hypothèses très simplificatrices (écran ou nuages de poussière, ou bien une géométrie uniforme) soit à faire une étude empirique.

La figure I.10 illustre les variations de la courbe d'atténuation en en présentant des exemples extrêmement idéalisés pour une même loi d'extinction, celle de la Galaxie: un écran de poussière entre l'observateur et la source supposée ponctuelle et une distribution uniforme des poussières et des étoiles pour des épaisseurs optiques locales  $\tau = 3$  et 10. Dans ce modèle, comme le montre la figure, l'atténuation peut être très élevée sans pour autant impliquer un rougissement élevé du rayonnement de la source (Witt et al. 1992). La ligne solide correspond à la loi d'atténuation déterminée par Calzetti et al. 1994 avec pour facteur de normalisation  $R_V = A_V / (A_B - A_V) = 4,05 \pm 0,80$  dérivé par (Calzetti et al. 2000). Cette courbe a été déduite d'observations par le satellite IUE de 39 galaxies à flambée d'étoiles suff-



**Figure I.10:** Lois d'atténuation pour des géométries simples. La ligne en trait plein est la courbe d'atténuation proposée par Calzetti et al. 1994 avec pour normalisation  $R_V = 4,05 \pm 0,80$ . La région grisée correspond aux incertitudes liées à ce facteur de normalisation. La ligne en tiret correspond à un modèle d'écran en prenant pour loi d'extinction celle de la Galaxie. Les lignes en pointillée correspondent à un milieu diffusif où la poussière et les étoiles sont homogènement distribués, pour une profondeur optique locale  $\tau = 3$  et  $10$  et en prenant les valeurs d'albédo de Natta et Panagia (1984) et la loi d'extinction de la Galaxie. Nous remarquons que la géométrie joue un rôle essentiel dans la détermination de l'atténuation.

isamment brillantes en UV pour être détectées. Le biais de cet échantillon vers les galaxies pauvres en poussière est à garder en mémoire si l'on cherche à appliquer cette loi pour des galaxies non représentatives de l'échantillon IUE. Cette loi d'atténuation est, aux erreurs près, similaire à un écran de poussière avec une loi d'extinction Galactique, hormis l'absence d'excès d'atténuation à  $0,2175 \mu\text{m}$ . Les erreurs sur cette loi d'extinction proviennent de la difficulté d'établir un point de référence non-éteint pour les galaxies à flambée d'étoiles. Pour cela, un bilan bolométrique est nécessaire, mais n'a été réalisé que sur 4 galaxies par Calzetti et al. 2000. Une autre limitation de cette loi vient de l'ouverture restreinte de IUE ( $10'' \times 20''$ ) qui n'échantillonne que les régions centrales des galaxies.

## I.4.2 Emission de la poussière

Nous ne tenterons pas ici de présenter les différents modèles de poussière car cela sortirait du cadre de notre introduction. Nous nous contenterons de donner des éléments pour fournir une vision d'ensemble cohérente sur les constituants de la poussière et leur émission. Dans la littérature, l'émission infrarouge est généralement attribuée à trois composantes de la poussière. Cette décomposition volontairement simpliste car supposant une discontinuité de la distribution en taille et en température de la poussière a le mérite d'expliquer dans les grandes lignes les variations du spectre infrarouge et de la loi d'extinction que l'on peut observer localement d'une région à une autre d'une galaxie ou globalement d'une galaxie à une autre.

Les grains les plus gros dominent généralement largement la luminosité bolométrique infrarouge. Ils sont composés de silicate et de graphite et se caractérisent par leur taille  $\gtrsim 0.01 \mu\text{m}$  et par le fait qu'ils soient en équilibre thermique ( $T \sim 15\text{-}50\text{K}$ ) avec le champ de rayonnement interstellaire (Mathis et al. 1977, 1990; Draine et Lee 1984).

Visibles en infrarouge moyen ( $5 \lesssim \lambda \lesssim 40 \mu\text{m}$ ), de très petits grains (VSGs, Very Small Grains), de taille inférieure à  $50 \text{Å}$  forment la deuxième composante du spectre infrarouge. Ces grains sont excités par chauffage impulsif (ou stochastique) ce qui leur permet, après avoir absorbé un photon, d'atteindre transitoirement une température très élevée ( $T > 100\text{K}$ ) et de se désexciter en rayonnant à courte longueur d'onde. Ce sont ces grains qui, selon de modèle de Désert et al. (1990), seraient responsables de l'excès autour de  $0,2175 \mu\text{m}$  de la courbe d'extinction. Puget et Léger (1989) ont mis en évidence une taille suffisante pour manifester de manière constante une énergie, sous forme d'un continuum.

L'observation de bandes infrarouges en émission centrées à 3,3, 6,2, 7,7, 8,6, 11,3 et  $12,7 \mu\text{m}$  a conduit à introduire une troisième composante au spectre d'émission infrarouge: les UIBs (Unidentified Infrared bands) dont l'appellation peut prendre différentes formes dans la littérature suivant le degré d'identification des agents émissifs

revendiqué par l'auteur: IEFs (*Infrared Emission Features*), AFEs (*Aromatic Feature in Emission*) ou PAH (carbures polycycliques aromatiques hydrogénés). Les UIBs, ainsi que leur continuum associé, font l'objet d'une recherche soutenue depuis une dizaine d'années. Roche et Aitken (1986) ont proposé des porteurs carbonés après avoir montré que leur intensité dans les nébuleuses planétaires était corrélée au rapport C/O. Les premiers à avoir noté que les positions des bandes étaient caractéristiques des modes vibrationnels de valence et de déformation plane des liaisons C-H et C-C furent Dulley et Williams (1981). Depuis, des confirmations observationnelles et en laboratoire ont pu l'étayer, même si la nature exacte des porteurs reste débattue. L'hypothèse des PAHs a été avancée par Léger et Puget (1984) et Allamandola et al. (1985). Ces molécules contiendraient moins d'une centaine d'atomes. D'autres études suggèrent plutôt un porteur solide contenant des carbones hydrogénés aromatiques comme du carbone amorphe hydrogéné (Dulley et Williams 1981), du charbon (Papoular et al. 1989, 1993), des fullérènes (Webster 1993) ou des nanodiamants (Jones et d'Hendécourt 2000). Le modèle des PAHs est le plus largement accepté dans la communauté scientifique car il permet de reproduire le spectres des UIBs (en fréquence et en intensité relative) et d'émettre efficacement par chauffage stochastique dans l'infrarouge moyen à la différence des plus gros grains carbonés. Uchida et al. (1998) détectèrent la présence d'UIBs dans une nébuleuse par réflexion soumise à un champ radiatif extrêmement faible (vdB133), ce qui tendit à invalider le modèle des PAHs. Leur interprétation fut réfutée par Li et Draine (2002) qui montrèrent que les PAHs étaient susceptibles d'être excités également par des photons de faible énergie.

La localisation spatiale des principaux constituants infrarouges des SEDs s'est considérablement améliorée grâce aux instruments IRAS et surtout ISOCAM. Ce dernier a notamment permis de cartographier la distribution spatiale des UIBs et des VSGs. La présence des UIBs est quasiment universelle dans le milieu interstellaire puisqu'on les trouve dans les nébuleuses planétaires et protoplanétaires, les régions HII normales et ultracompactes, dans les enveloppes circumstellaires et le milieu interstellaire diffus de la Galaxie ainsi que dans les galaxies externes. Grâce à ISOCAM, Cesarsky et al. (1996b, 1996c) ont démontré qu'elles sont aussi caractéristiques des PDR (*Photo-Dissociation Region*), c'est-à-dire de la zone intermédiaire entre la région HII (complètement ionisée) et les régions de gaz moléculaire extérieur. Cela explique pourquoi, sur plus de trois ordres de grandeurs, les luminosités à 7 et 15  $\mu\text{m}$  qui tracent les UIBs, tracent également la formation d'étoiles (Roussel 2001)

L'histoire de la formation de chaque galaxie apparaît encore ouverte et nous allons, pour la contraindre, présenter dans le chapitre II le PSCzp, large base de données multi-longueurs d'onde que nous avons construite. Peu d'études statistiques ont été réalisées sur les différentes tailles d'une galaxie: optique,  $\text{H}\alpha$ , gaz moléculaire, infrarouge et radio. Dans le but de mieux comprendre les relations liant les paramètres globaux régissant les galaxies, nous nous attacherons dans le chapitre III à montrer leurs similitudes ou leurs différences. Nous y établirons une relation

empirique entre la luminosité infrarouge lointain, la température efficace des gros grains de poussière et la taille de la région de formation d'étoiles (RFE) que nous expliquerons par un calcul analytique. Enfin, le chapitre IV présentera un modèle semi-empirique d'évolution spectro-photométrique qui en découle en partie et qui couvre les domaines de longueurs d'onde entre l'ultraviolet lointain et la radio.





# Chapitre II

## L'Univers local: Base de données panchromatiques

---

<b>II.1 Description de la base de données . . . . .</b>	<b>30</b>
II.1.1 Définition de l'échantillon . . . . .	31
II.1.2 Complétude . . . . .	32
II.1.3 Photométrie . . . . .	32
<b>II.2 L'Univers local vu par le PSCzp . . . . .</b>	<b>32</b>
II.2.1 Répartition spatiale des sources . . . . .	33
II.2.2 Le champ de vitesse . . . . .	34
<b>II.3 Construction de la base de données. . . . .</b>	<b>36</b>
II.3.1 Stratégie . . . . .	36
II.3.2 Méthodologie . . . . .	40
II.3.3 Astrométrie du PSCz . . . . .	41
<b>II.4 Identification des sources NVSS . . . . .</b>	<b>43</b>
<b>II.5 Identification des sources 2MASS étendues . . . . .</b>	<b>44</b>
<b>II.6 Identification des contreparties LEDA. . . . .</b>	<b>47</b>
<b>II.7 Identification avec le FSC . . . . .</b>	<b>49</b>
<b>II.8 Autres catalogues . . . . .</b>	<b>50</b>
II.8.1 Bandes U, B et V . . . . .	50
II.8.2 Bandes R et I . . . . .	50
II.8.3 Catalogues infrarouge moyen. . . . .	51
II.8.4 Ultraviolet lointain . . . . .	52
<b>II.9 L'extinction Galactique . . . . .</b>	<b>53</b>
<b>II.10 Synthèse . . . . .</b>	<b>60</b>

---

Les premières études recoupant les propriétés optiques, infrarouges et radio des galaxies distantes ont fait apparaître le besoin de construire un échantillon de galaxies locales de flux homogènes afin de dériver des spectres génériques multi-longueurs d'onde représentatifs de l'Univers local.

Les premiers pas dans cette direction ont été faits par Spinoglio et al. (1995) qui observèrent en infrarouge proche (bandes J, H, K) l'échantillon de Rush et al. (1993) constitué de 893 galaxies détectées par IRAS et sélectionnées à  $12\ \mu\text{m}$ . Ils appliquèrent une correction d'ouverture pour tenir compte du fait que les densités de flux infrarouge IRAS sont spatialement intégrées sur toute la galaxie. En raison de la basse sensibilité de la bande infrarouge à  $12\ \mu\text{m}$ , cet échantillon est biaisé vers les galaxies proches ou de faible rapport  $60\ \mu\text{m}/12\ \mu\text{m}$ . Ainsi, comparé à un échantillon de même taille sélectionné à  $60\ \mu\text{m}$  (ce qui revient, en première approximation, à faire une sélection en flux infrarouge lointain), l'échantillon de Rush et al. (1993) est dépeuplé en galaxies lumineuses en infrarouge ( $L_{\text{IR}} > 10^{11} L_{\odot}$ , majoritaires dans les relevés profonds ISOCAM) et surpeuplé en galaxies dont l'émission infrarouge, du moins en partie, résulte de la présence d'un noyau actif.

Un autre effort a été conduit par Schmitt et al. (1997). En se basant sur les distributions d'énergie spectrale (depuis la radio jusqu'aux rayons X) de 47 galaxies sélectionnées dans l'UV par le satellite IUE, ils ont construit des spectres génériques selon le type d'activité (Seyfert, galaxies à flambée d'étoiles, LINER, etc). Le principal écueil de leur échantillon est l'inhomogénéité des ouvertures dans lesquelles les densités de flux sont mesurées à différentes longueurs d'onde. De plus, celui-ci ne comporte qu'un nombre restreint de galaxies proches.

Ainsi, nous constatons d'une part qu'il n'existe pas de grand catalogue multi-longueurs d'ondes corrigé des effets d'ouverture pour l'Univers local et que d'autre part, se manifeste le besoin de définir proprement un point de référence local. Cette double motivation nous a amené à entreprendre la construction d'un large échantillon d'environ 15 000 galaxies de l'Univers local sélectionnées à  $60\ \mu\text{m}$  et dont les densités de flux ne dépendent pas de l'effet d'ouverture. Ce point de référence local nous a permis, en testant différentes corrélations couleur-couleur ou en établissant de nouvelles relations liant des paramètres fondamentaux, d'élaborer et valider le modèle semi-empirique que nous présenterons dans la chapitre IV. Par la suite, cette base de données locales nous permettra d'effectuer des comparaisons entre les galaxies locales et celles de l'Univers lointain.

## II.1 Description de la base de données

La base de données extragalactiques que nous avons construite contient des mesures photométriques intégrées allant de l'ultraviolet lointain jusqu'à la radio

pour 14 585 galaxies de l'Univers local (PSCzp, *IRAS Point Source Catalog with redshift and integrated photometry*, Chaniai et al. en préparation). La constitution d'un tel catalogue a été rendue possible par la disponibilité de missions d'observation sur tout le ciel, telles IRAS (infrarouge), 2MASS (proche infrarouge) et NVSS (radio). La mise en commun des données issues de ces missions nous a permis de définir un échantillon homogène et complet à  $60 \mu\text{m}$ .

### II.1.1 Définition de l'échantillon

Afin de construire le PSCzp, nous avons utilisé le catalogue des sources ponctuelles avec redshift (PSCz, Saunders et al. 2000) comme liste de départ. Ce catalogue contient 15 411 sources extragalactiques détectées et sélectionnées en infrarouge à  $60 \mu\text{m}$ . Il fournit des décalages spectraux pour 14 677 d'entre elles et contient également des informations optiques et infrarouges à  $12 \mu\text{m}$ ,  $25 \mu\text{m}$ , et  $100 \mu\text{m}$ .

Les galaxies du PSCz proviennent essentiellement du *Catalogue IRAS des Sources Ponctuelles* (PSC, *Point Source Catalog*, Beichman et al. 1988) auquel ont été ajoutées des sources du *Catalogue IRAS des Sources Ponctuelles Rejetées* (RSC, *Point Source Catalogue Rejected File*, Beichman et al. 1988), celles du *Catalogue des Sources Faiblement Etendues* (SSSC, *Small Scale Structure Catalog*, aussi connu sous le nom de *Small Extended Source Catalog*, Helou et Walker 1988) puis celles du *Catalogue des Galaxies Optiques Etendues* (LOGC, *Large Optical Galaxy Catalog*, Rice et al. 1988) afin d'améliorer la complétude de l'échantillon.

Nous avons rejeté de cette liste de départ les galaxies pour lesquelles le décalage spectral n'est pas disponible (soit parce que l'observation de la galaxie, bien que planifiée n'était pas encore effectuée au moment de la parution du PSCz, soit parce qu'elle a été jugée trop coûteuse en temps d'observation lorsque la contrepartie candidate était plus faible en magnitude que  $b_J > 19.5 \text{ mag}$ ) ou pour lesquelles le décalage spectral est considéré comme douteux par les auteurs (819 sources). En outre, nous avons également éliminé les sept galaxies dont la densité de flux à  $60 \mu\text{m}$  n'est pas disponible. Ces sources, détectées à  $100 \mu\text{m}$ , avaient été incluses au PSCz sur la foi de leur coefficient de corrélation à  $60 \mu\text{m}$ . Ce dernier indique une détection à  $60 \mu\text{m}$  réelle, même si l'estimation de la densité de flux n'est pas fiable.

L'échantillon ainsi obtenu contient 14 585 sources. Le choix du PSCz pour servir de base à la constitution d'un catalogue panchromatique de flux totaux se justifie, comme nous allons le voir, par son excellente complétude et profondeur sur tout le ciel, ainsi que par la correction des effets de taille effectuée à la photométrie des quatre bandes infrarouges IRAS.

### II.1.2 Complétude

La principale source d'incomplétude du PSCz (Saunders et al. 2000) vient des régions pour lesquelles, du fait du balayage du ciel par le satellite IRAS, seules deux détections sont confirmées dans un intervalle compris entre 100 minutes et 36 heures ( $HCON = 2$ , *Hours-Confirmation*). L'incomplétude cumulée du PSC, à partir duquel le PSCz est basé est de l'ordre de 5% à 0,6 Jy. Les auteurs, après l'ajout des sources du RSC, estiment avoir réduit cette incomplétude à 1,5%.

La deuxième cause d'incomplétude découle des critères de couleurs que les auteurs ont utilisés pour établir leur première liste de source à partir du PSC. Ces critères dépeuplent l'échantillon des galaxies proches les plus froides. Cependant, toujours selon les auteurs, l'inclusion des sources du SSSC a permis de récupérer la grande majorité des sources manquantes.

Au final, la complétude cumulée du PSCzp pour les sources plus brillantes que 0,595 Jy à  $60 \mu\text{m}$  est de 98,5% sur plus de 84% du ciel et ne diffère pas significativement de celle du PSCz. Il en résulte que le PSCzp hérite du PSCz la qualité d'être le relevé IRAS le plus profond parmi les autres catalogues disponibles sur tout le ciel et constitués de sources de décalage spectral connu.

### II.1.3 Photométrie

Les auteurs du PSCz ont apporté un soin remarquable pour que les flux infrarouges soient représentatifs de toute l'extension spatiale des galaxies. En effet, à la différence du PSC (qui ajuste les sources avec une gaussienne et qui mesure le flux total des sources de largeur à mi-hauteur  $< 2'$ ) et plus encore du "catalogue IRAS des sources faibles" (FSC, Moshir et al. 1989, qui mesure le pic d'émission, sans tolérance à l'extension spatiale), le PSCz fournit des densités de flux intégrées totales rendant compte de l'émission infrarouge moyennement étendue ( $2' < \text{FWHM} < 8'$ , d'après le SSSC et en utilisant le logiciel ADDSCAN fourni par IPAC<sup>1</sup>) et très étendue (de diamètre isophotal en bande B  $D_{25} > 8'$ , d'après le LOGC).

## II.2 L'Univers local vu par le PSCzp

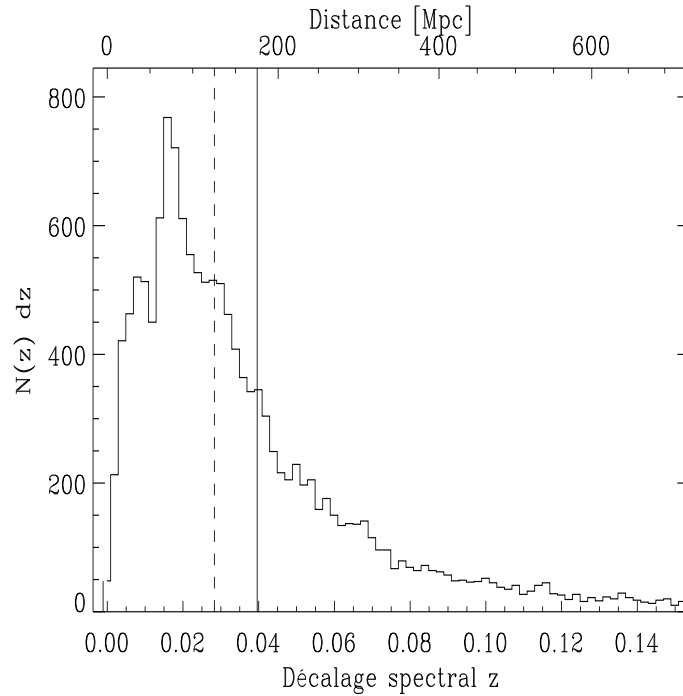
Le PSCzp échantillonne une région d'environ  $200 \text{ Mpc}^3$  (figure II.1). Notons que cette taille est comparable à celle prise pour les simulations cosmologiques actuelles: le PSCzp pourra ainsi offrir un point de comparaison à  $z = 0$ .

Les galaxies du PSCzp ont un décalage spectral moyen  $\langle z \rangle = 0,0396$ , d'écart-type

---

<sup>1</sup>Les densités de flux des sources faibles et étendues obtenues à partir d'ADDSCAN sont surestimées. Les auteurs du PSCz ont appliqué une correction de biais en considérant la taille optique des sources.

$\sigma_z = 0,0401$  et de médiane  $z_{\text{médiane}} = 0,0283$ . Cela correspond à une distance moyenne  $\langle D \rangle = 180,3$  Mpc, d'écart-type  $\sigma_D = 204,5$  Mpc et de médiane  $D_{\text{médiane}} = 124,5$  Mpc.



**Figure II.1:** Distribution en décalage spectral des galaxies du PSCzp par intervalle de 0,002. Les lignes verticales solide et en tiret correspondent respectivement à la moyenne et la médiane de la distribution.

### II.2.1 Répartition spatiale des sources

Nous avons complété l'information du décalage spectral fournie par le PSCz par une distance. Nous allons brièvement exposer les différentes techniques utilisées pour déprojeter les objets de la voûte céleste.

Pour les galaxies les plus proches, il est possible de tirer avantage d'une relation liant la médiane et la période de la luminosité d'une classe d'étoiles variables intrinsèquement brillantes: les céphéides. La détermination de la distance de ces étoiles repose sur la calibration de la distance des céphéides de notre Galaxie, qui fut réalisée par le satellite Hipparcos. Pour les galaxies locales, j'ai utilisé la Base Données extragalactiques de Céphéides (Lanoix et al. 1999)

Pour celles dont nous ne disposons pas d'observations de céphéides, nous avons

fait appel à des calibrations sur des étoiles brillantes (Karachentsev et Makarov 1996) ou reposant sur la loi de Tully-Fisher (Tully 1988). En dernier ressort, nous avons estimé la distance à partir du décalage spectral, en adoptant le modèle cosmologique de Friedmann-Robertson-Walker avec les paramètres suivants:  $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ,  $\Omega_m = 0,3$  et  $\Lambda_0 = 0,7$ . Les distances ont été corrigées à partir modèle linéaire de chute virgocentrique décrit par Schechter (1980).

**Tableau II.1:** Amas de galaxies identifiables dans le PSCzp

Nom de l'amas	Coordonnées			Distance
	$x_G$	$y_G$	$z_G$	
Eridanus-Fornax	-8	-4	-12	15,0
Vierge	1	-3	10	10,5
Centaure	14	-22	11	24,9
Paon	33	-16	17	40,4
Hydre	0	-30	17	34,5
N1600	-38	-14	-26	48,1

NOTES - Les coordonnées et les distances sont exprimées en Mpc.

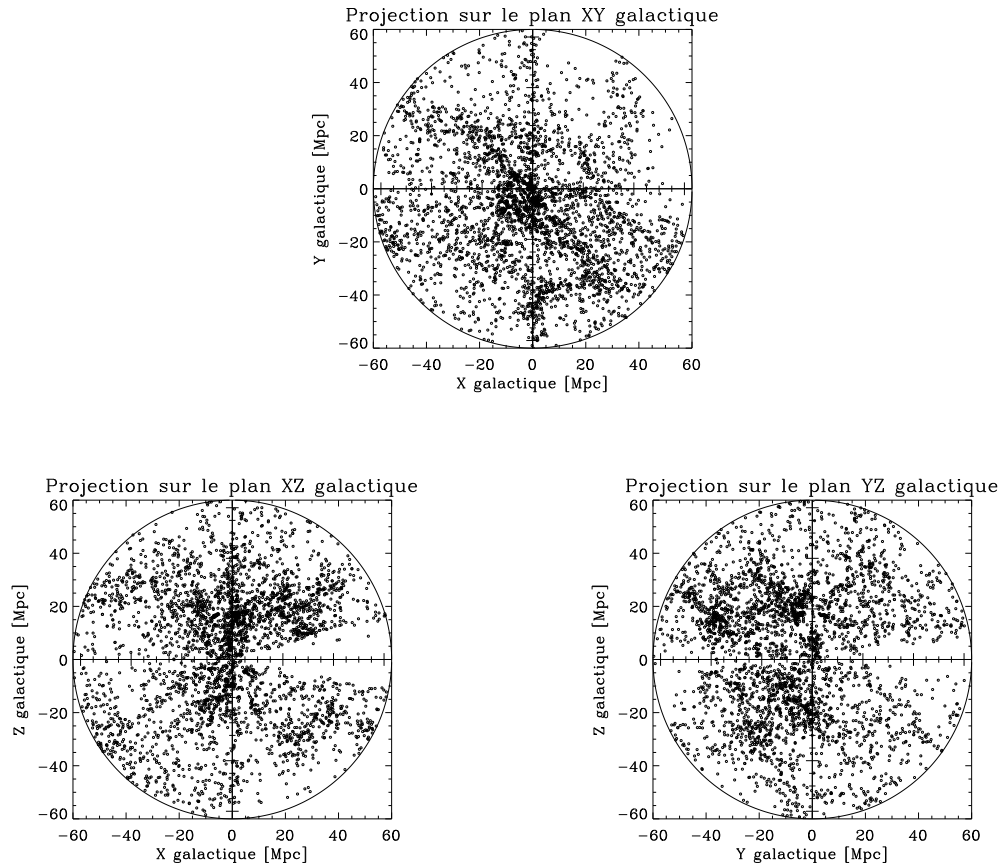
RÉFÉRENCE - Rowan-Robinson et al. 1990

La figure II.2 représente par projections l'Univers local vu par le PSCzp. Des structures en amas apparaissent et sont identifiées dans le tableau II.1. Nous pourrions donc utiliser le PSCzp pour étudier les effets d'environnement, en comparant les galaxies de champ à celles qui sont membres d'un amas.

## II.2.2 Le champ de vitesse

Les relevés IRAS ont servi à déterminer le champ de vitesse de l'Univers local. Leur avantage sur les relevés optiques consistent à ne pas être affectés par l'extinction. Néanmoins, l'hypothèse selon laquelle de tels relevés tracent la masse de l'Univers local peut être discutée car d'une part, une fraction des galaxies les plus massives, les elliptiques, n'est pas représentée, et d'autre part, parce que des galaxies de faible masse peuvent émettre préférentiellement dans l'infrarouge si elles subissent un épisode de formation d'étoiles. Notre échantillon étant un sous-ensemble du PSCz, son utilisation à de telles fins ne permettra pas d'études plus fines que celles déjà réalisées sur le PSCz (Rowan-Robinson et al. 2000).

Le Soleil et les étoiles de son voisinage décrivent une orbite autour du centre galactique ( $l = 90^\circ$ ,  $b = 0^\circ$ ,  $V = 220(15) \text{ km s}^{-1}$ ). Le centre de la Voie Lactée possède une vitesse particulière par rapport au groupe local en direction d'Andromède ( $l = 121^\circ 2$ ,  $b = -21^\circ 6$ ,  $V = 100 \text{ km s}^{-1}$ ). Le groupe local, à son tour, prend part à un mouvement d'ensemble en direction du centre de l'amas de la Vierge ( $l = 279^\circ 7$ ,



**Figure II.2:** Projections de la distribution spatiale des galaxies du PSCzp ( $cz < 5000 \text{ km s}^{-1}$ ). Les axes X et Y pointent respectivement vers le centre et le pôle galactique

$b = 74^\circ 5$ ,  $V = 250 \text{ km s}^{-1}$ ). Enfin, dans le repère au repos du fond diffus 3K, un mouvement organisé a été mis en évidence (Dressler et al. 1987) bien que cela reste sujet à débat.

## II.3 Construction de la base de données.

Après avoir décrit les sources composant le PSCzp, leur distribution spatiale et leur champ de vitesse, nous allons maintenant présenter ce qui constitue le cœur du travail effectué sur cet échantillon, à savoir son identification dans les relevés en bande B (LEDA), proche-infrarouge (2MASS) et radio (NVSS).

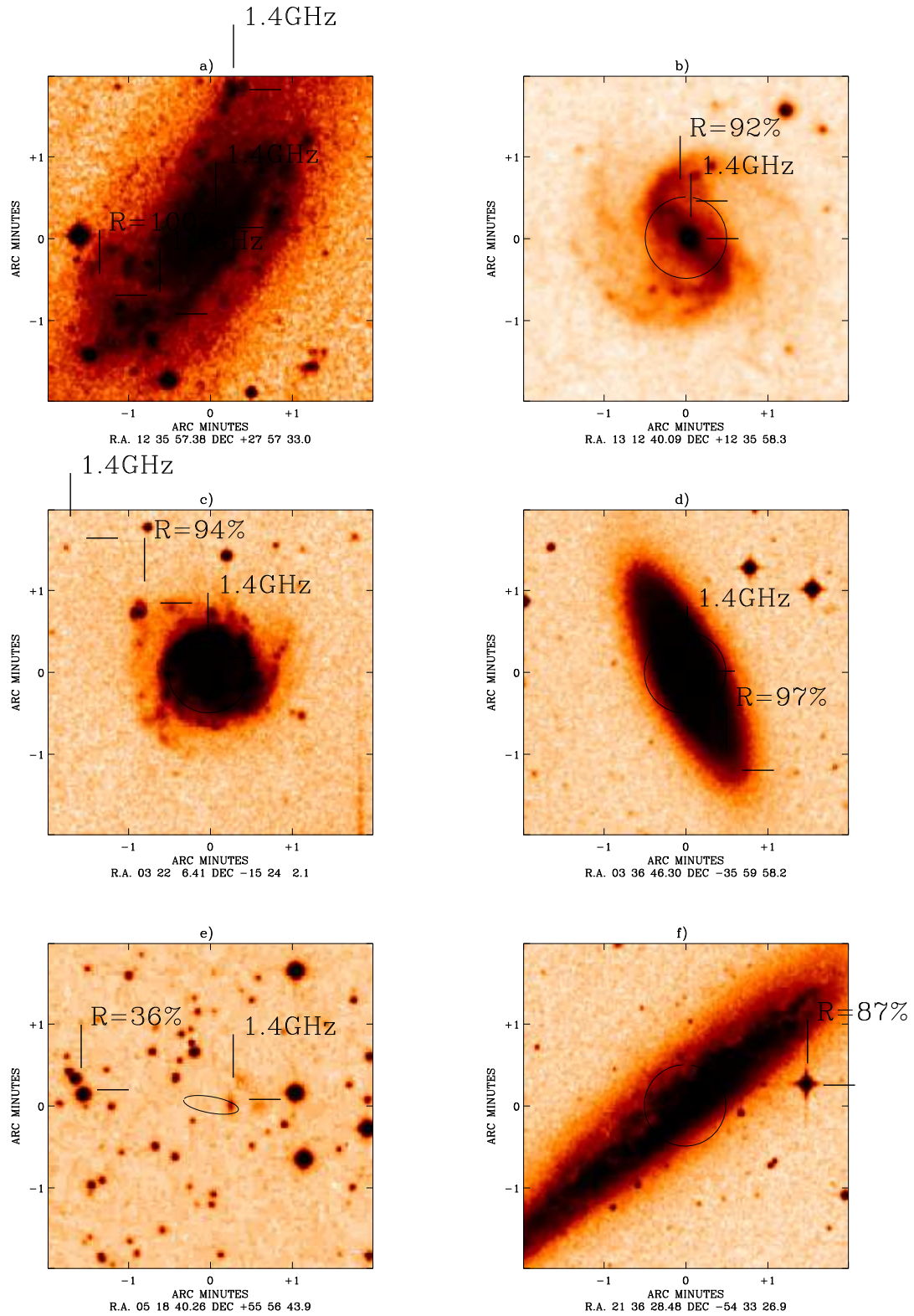
### II.3.1 Stratégie

La première méthode venant à l'esprit consisterait à se baser sur les contreparties optiques des sources du PSCz et d'identifier leurs contreparties dans les relevés à d'autres longueurs d'onde. En effet, et nous y reviendrons, l'incertitude sur la position des sources optiques est petite par rapport à celles des sources infrarouges. Cependant, après inspection, nous nous sommes aperçu d'un nombre non-négligeable de fausses identifications données par le PSCz. Plus précisément en termes statistiques, la probabilité pour une source optique d'être la contrepartie de la source infrarouge est incorrectement estimée dans le PSCz. Quelques uns de ces exemples particulièrement évidents sont montrés sur la figure II.3. Nous montrerons que cela est dû à trois facteurs:

- la nature non-gaussienne des distributions de densité spatiale des détections IRAS
- la paramétrisation de la vraisemblance (la méthode elle-même du maximum de vraisemblance n'est pas en cause)
- identification des contreparties à partir de plaques optiques.

Depuis la récente disponibilité de relevés radio sur tout le ciel et sachant que l'émission visible est très faiblement corrélée avec l'émission infrarouge, nous sommes en droit de reconsidérer la justesse du choix d'un catalogue dans le visible pour déterminer les candidats les plus probables et l'astrométrie des sources infrarouges, comme cela a été fait pour le PSCz. Nous verrons que l'utilisation du catalogue NVSS à 1,4 GHz permettra de corriger l'identification et lèvera l'ambiguïté dans la plupart des cas. Notons tout de suite que cela ne remet pas en cause, ou plutôt ne dégrade que très marginalement la détermination des décalages spectraux des sources infrarouges: d'une part, la plupart de ces décalages ont été obtenus en cherchant une





**Figure II.3:** *Identifications des sources du PSCz. Les ellipses correspondent aux ellipses d'erreur IRAS. La probabilité d'identification donnée par le PSCz est indiquée.*

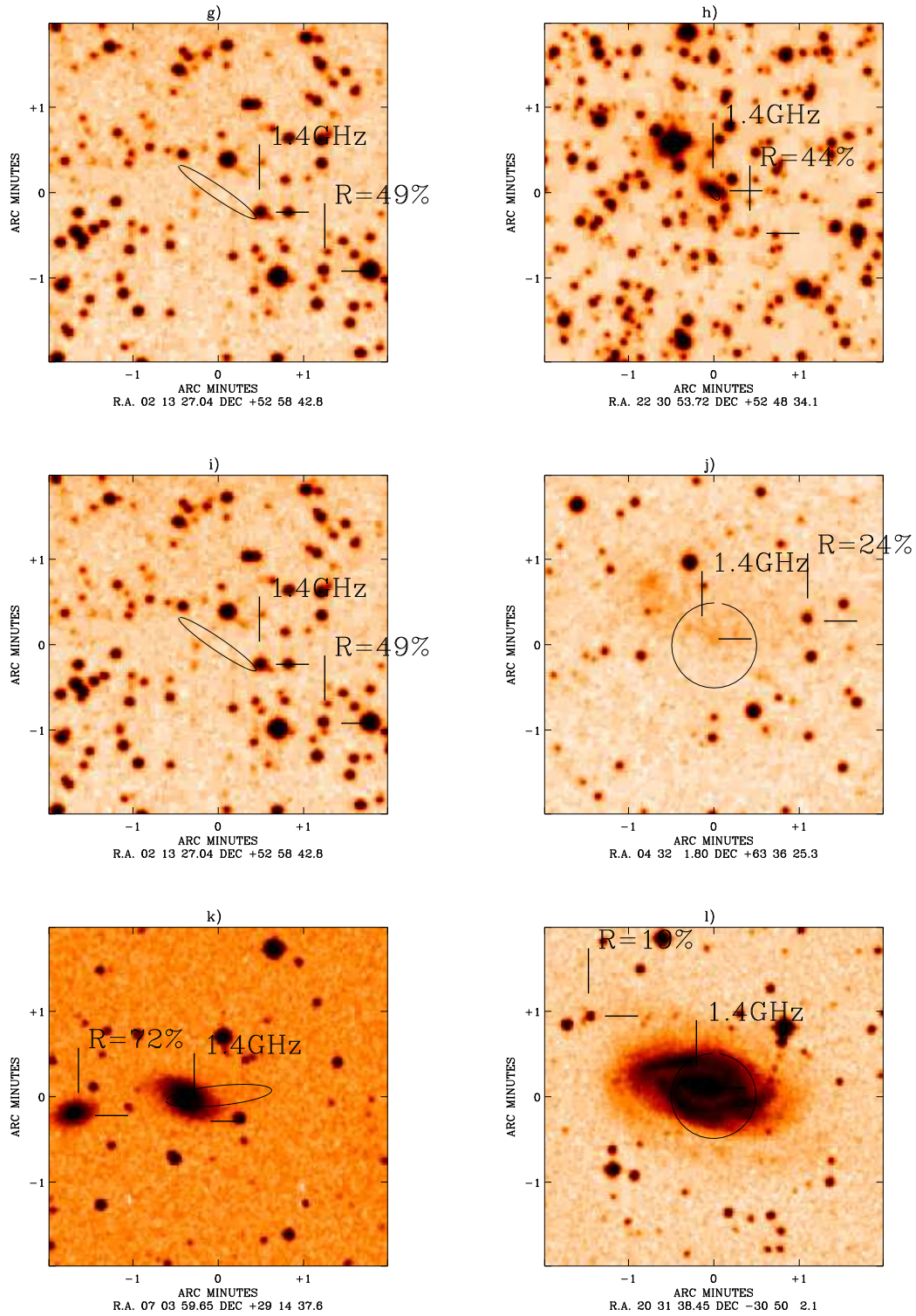


Figure II.3: (suite)

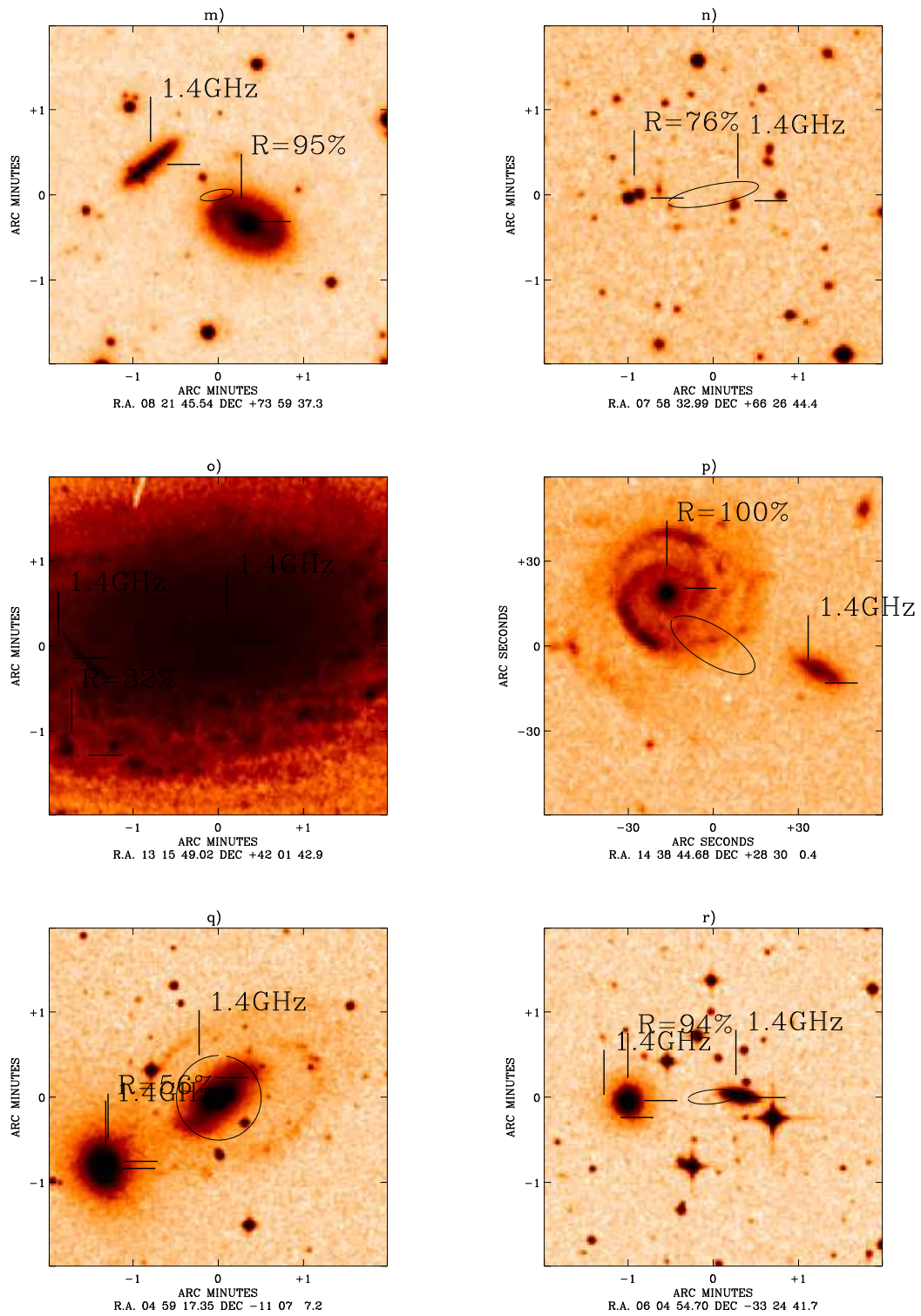


Figure II.3: (suite)

identification dans ZCAT (*CfA redshift catalogue*, Huchra et al. 1992) à l'intérieur de  $2'$  autour de la source IRAS et d'autre part, aux limites de sensibilité des catalogues concernés, la probabilité que deux sources séparées de quelques arc minutes soient proches d'une source IRAS est très faible et indique très vraisemblablement la présence d'une interaction, sinon d'une association. Ce cas de figure est corroboré par les travaux d'Aussel (2002) qui montrent que la totalité des 43 galaxies détectées à  $15\mu\text{m}$  par ISOCAM dans le HDF (*Hubble Deep Field*) appartiennent à des associations.

La qualité de l'astrométrie de ce relevé radio nous a permis d'identifier les contreparties dans le proche infrarouge (2MASS) puis dans le visible (LEDA). Le prix à payer pour avoir une meilleure fiabilité sera de se limiter à la complétude spatiale du relevé NVSS, à savoir  $\delta > -40^\circ$ . Cependant, cette limitation n'est que provisoire, et limitée au cadre de ce travail de thèse. D'autres catalogues moins optimaux (2MASS, LEDA) pourront être utilisés pour traiter cette région australe du ciel. Pour le moment, nous nous contenterons des identifications du PSCz.

Enfin, pour le catalogue final, nous ne nous sommes pas restreints au candidat le plus probable et nous fournissons une liste d'association de candidats vraisemblables qui ont subi le même traitement que le meilleur candidat dans la recherche d'identification optique et proche-infrarouge. Ces associations pourront servir de base à des travaux futurs sur l'histoire des galaxies en interaction, ou de point de comparaison pour les galaxies lointaines dont la séparation des composantes n'est pas possible. Les problèmes d'identification liés à la confusion apparaîtront avec le satellite SIRTf.

### II.3.2 Méthodologie

Différentes méthodes d'intercorrélation sont envisageables.

- approche proximate.
- Approche fréquentiste.

La méthode développée par Downes et al. (1986) tient compte de l'information sur le flux des sources candidats mais à proprement parler, elle renseigne sur la probabilité de coïncidence avec une source fortuite et pas sur la probabilité qu'une source soit candidate:

$$P_{\text{fortuit}}(> m) = \exp(-\pi d^2 n(> m)) \quad (\text{II.1})$$

Dans le cas d'associations (nous avons vu dans le chapitre introductif que c'est un cas de figure très fréquent), les probabilités de chacun des candidats d'être fortuitement associés à la source sont toutes très faibles, alors que dans la très grande majorité des cas, la source n'a qu'une unique contrepartie. En outre, cette méthode ne prend pas en compte la complétude des catalogues.

- Approche bayésienne.

C'est la méthode que nous avons adoptée car est optimale au sens statistique et tient compte de la complétude du catalogue des candidats. En outre, la méthode développée par Sutherland et Saunders (1992) permet de faire la distinction entre la probabilité d'association et d'identification.

La première s'écrit sous forme de vraisemblance:

$$L = \frac{q(S_\nu)}{n(S_\nu)f(x, y)} \quad (\text{II.2})$$

D'après Sutherland et Saunders (1992), la probabilité  $R_i$  qu'un candidat soit la contrepartie s'écrit:

$$R_i = \frac{L_i}{\sum L_i + (1 - Q)} \quad (\text{II.3})$$

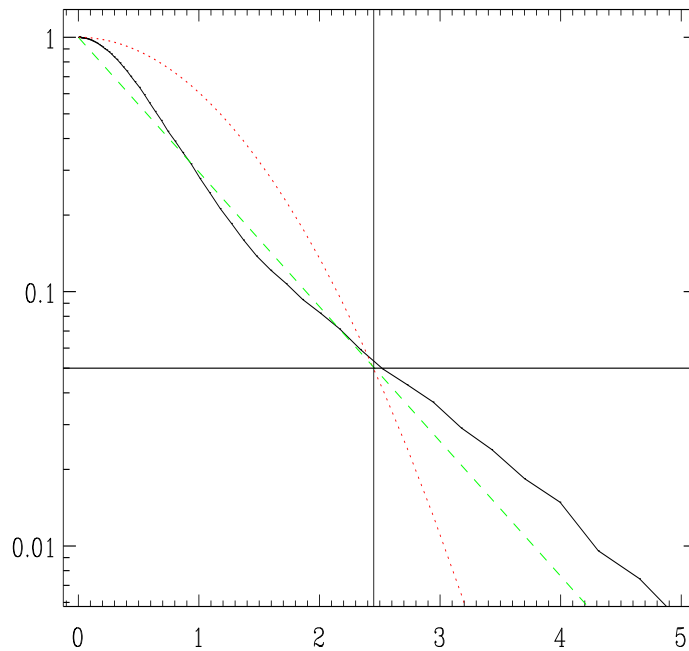
où  $L_i$  est la vraisemblance que la source  $i$  soit une contrepartie et  $Q$  est la complétude du catalogue des cibles.

Pour déterminer la probabilité d'identification, nous avons préféré utiliser les fonctions de répartition (montrées dans la figure II.5) plutôt que les fonctions de densité car ces dernières sont bruitées dans les limites des faibles et forts flux.

### II.3.3 Astrométrie du PSCz

Les détecteurs IRAS à  $60\mu\text{m}$  étant rectangulaires ( $1.5'$  dans la direction du balayage de la voûte céleste par le satellite et de  $4.5'$  dans la direction transverse), il en résulte une incertitude sur la position des sources anisotrope. L'ellipse d'erreur donnée dans les catalogues IRAS (Beichman et al. 1988) contient par construction 95% de chance de contenir la source. Elle a pour demi-axes moyens  $44''$  et  $15''$ . Cependant, lorsque l'on utilise une paramétrisation gaussienne bivariée pour décrire la densité de probabilité de la position d'une source IRAS, on remarque que la fiabilité des identifications dans la direction transverse est surestimée. La figure II.3

présente certaines identifications faites par les auteurs du PSCz. Nous remarquons que des galaxies plus brillantes et plus proches de la position de la source infrarouge n'ont pas été retenues comme meilleur candidat. Or, ce sont ces galaxies brillantes qui émettent en radio et du fait de la corrélation entre la radio et l'infrarouge, elles devraient avoir une probabilité plus grande d'être la source d'émission infrarouge. Nous utilisons ici une information que ne possède pas la vraisemblance  $L$ , il est donc normal que celle-ci n'en rende pas compte. C'est cet argument doublé du constat de rejet de nombreuses galaxies brillantes et spatialement proches de la source infrarouge qui m'a conduit à envisager que la densité de probabilité de source pouvait s'étendre sur un domaine plus grand.



**Figure II.4:** La probabilité  $P(>d)$  pour qu'une source réelle soit mesurée au-delà de  $d$  est représentée en trait plein pour un échantillon dont la fiabilité d'identification est supérieure à 99%. En pointillé est tracée la modélisation gaussienne et en tiret l'ajustement par une loi exponentielle.

L'étude menée sur un échantillon de 85 étoiles par Wolstencroft et al. (1986) montre un accord avec la loi de distribution gaussienne. Cependant, l'échantillon n'est pas assez grand pour qu'un écart puisse être observé. Nous avons extrait 7943 sources du PSCz dont le meilleur candidat optique, selon les auteurs, a une probabilité supérieure à 99% d'être la contrepartie. Les écarts en position de ces sources optiques par rapport aux sources IRAS fournissent une bonne estimation de la loi de probabilité qui régit les incertitudes de l'astrométrie IRAS. La figure II.4

montre la fonction de répartition  $P(<d)$  représentant la probabilité qu'une source soit détectée au delà de  $d$ , où  $d$  est la distance réduite  $\sqrt{x^2/\sigma_1^2 + y^2/\sigma_2^2}$ . Nous observons un départ à la loi normale en pointillé, ce qui indique que l'utilisation de cette dernière tend à privilégier excessivement les sources proches de l'ellipse d'erreur et par conséquent les sources alignées avec son grand axe. Nous avons donc recalibré l'erreur de position IRAS en supposant une fonction de répartition de loi exponentielle:

$$P(> d) = e^{-\frac{d}{d_0}} \quad d_0 = 0,85 \quad (\text{II.4})$$

la fraction de sources comprises entre  $d$  et  $d + \delta d$  s'écrit:

$$f(d) = \frac{1}{d_0} e^{-\frac{d}{d_0}} \quad (\text{II.5})$$

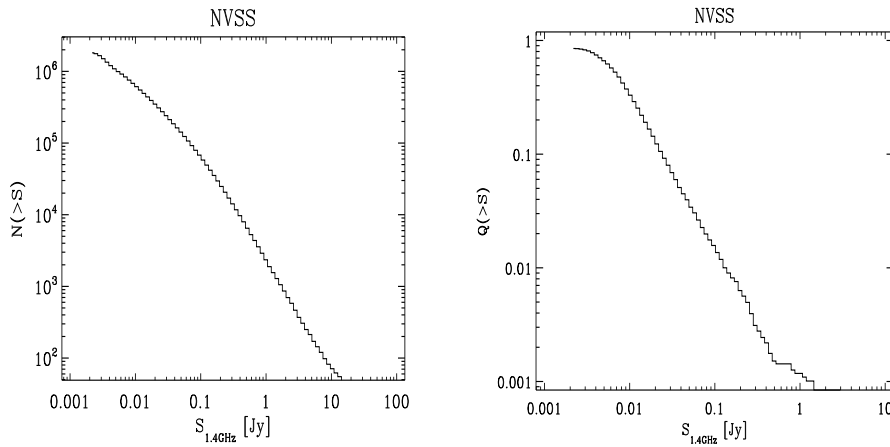
Nous vérifions que cette nouvelle loi de répartition reste cohérente avec le critère des 95% de sources à l'intérieur de l'ellipse d'erreur (soit  $\chi^2 < 5,99$  ou  $d < 2,45$ ) fixé par l'équipe de calibration IRAS. En effet, avec la loi exponentielle, la probabilité d'une détection au-delà de  $d=2,45$  est de 5,6%. Cette recalibration non-gaussienne de l'erreur de position n'a pas de conséquence significative en-deçà de l'ellipse d'erreur et ne se manifeste qu'au-delà. Notons cependant que pour un échantillon de 14585 source tel le PSCzp, 730 sources sont concernées. Nous avons vérifié que la confusion ne pouvait expliquer l'écart à la loi normale, en considérant un échantillon de sources radio non-biaisé dont les éléments sont isolés autour des sources IRAS.

## II.4 Identification des sources NVSS

Pour chaque source infrarouge, nous avons calculé la vraisemblance d'association des candidats radio.

$$L_i = \frac{Q(> S_\nu)F(> d)}{N(> S_\nu)}$$

où  $Q(>S_\nu)$  est la fonction de répartition des flux à 1, 4 GHz intrinsèque aux galaxies du PSCzp par intervalle de densité de flux,  $n(S_\nu)$  celle pour l'ensemble des sources du NVSS et  $F(>d)$  celle des erreurs de position.



**Figure II.5:** *A gauche, fonction de répartition des sources du NVSS, à droite, estimation de la fonction de répartition des sources du PSCzp détectées dans le relevé NVSS.*

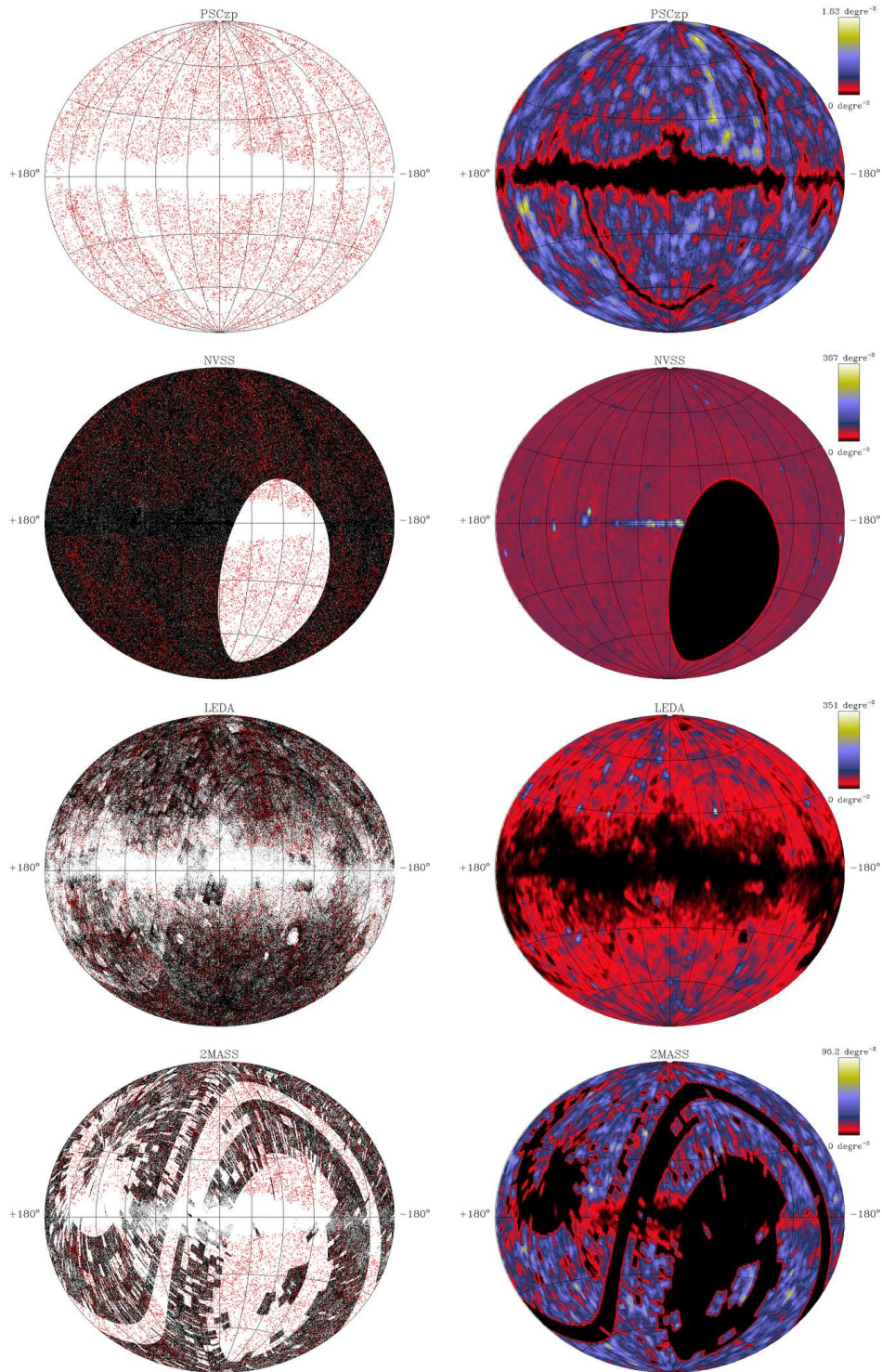
La complétude du catalogue NVSS relative au PSCzp vaut  $Q(S_{lim}) = 86\%$ , et est estimé en comptant le nombre de contreparties à l'intérieur de  $2.45\sigma$  auquel on retranche la densité moyenne. Du fait de la couverture du ciel par le NVSS et le PSCzp, si le catalogue NVSS était complet, on devrait trouver 95% des 14585 sources. (figure II.5) Au final, 10782 candidats NVSS ont une probabilité supérieure à 99% d'être l'identification.

## II.5 Identification des sources 2MASS étendues

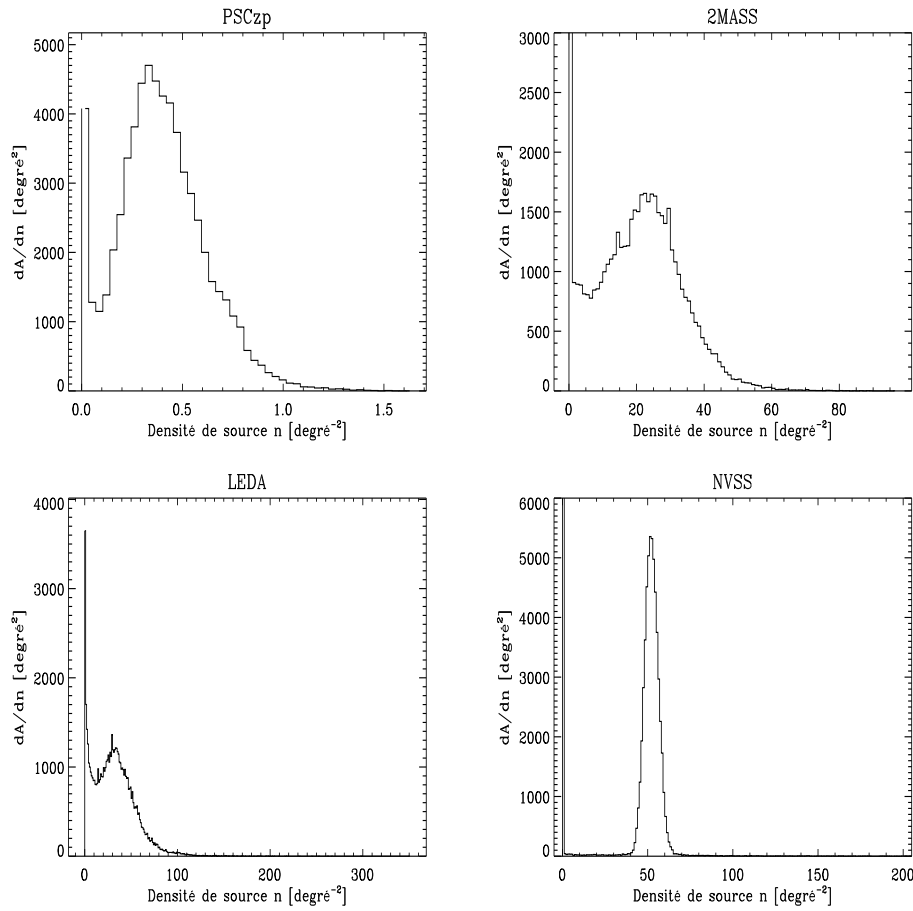
Nous avons utilisé la deuxième version incrémentale du catalogue 2MASS des sources étendues (2XMASS, Jarrett et al. 2000). Ce catalogue couvre 47% du ciel et comprend 585056 sources, soit environ la moitié du ciel prévu pour le catalogue final. Approximativement, 90% des sources sont des galaxies, les 10% restant étant des étoiles doubles ou des artefacts autour des étoiles brillantes. Le relevé est fiable et complet à 99% au-dessus de la latitude galactique  $|b| > 20^\circ$ . En dessous, la complétude a été privilégiée par rapport à la fiabilité (80% autour de  $|b| = 10^\circ$ , jusqu'à 30% dans les régions où la confusion stellaire est la plus élevée). Le seuil de sensibilité ( $10\sigma$ ) dans les bandes J, H et K est respectivement égal à 14.7 (2.1 mJy), 13.9 (3.0 mJy) et 13.1 (4.1 mJy) magnitudes. Les sources de ce catalogue ont été extraites des observations par le processeur de sources étendues GALWORKS.

Le catalogue 2XMASS fournit deux astrométries (ra,dec), (sup\_ra,sup\_dec) pour chaque source. La première est déterminée sur les cartes en bande J, pour lesquelles le relevé est le plus sensible (hormis les sources très affectées par l'extinction) à





**Figure II.6:** De haut en bas, figurent les distributions sur la voûte céleste des catalogues PSCz, LEDA, 2XMASS et NVSS. A gauche, sont représentées les sources et à droite, les densités de source.



**Figure II.7:** De gauche à droite et de haut en bas, sont représentés les histogrammes de densité de surface angulaire pour les catalogues PSCzp, 2MASS, LEDA et NVSS. Les intervalles utilisés sont respectivement 0.035, 1, 1 et 1 deg<sup>-2</sup>

partir de la coordonnée du pixel le plus brillant et d'une méthode de déconvolution. Les coordonnées ainsi obtenues possèdent une incertitude de  $0.5''$ . La deuxième astrométrie est calculée à partir de la méthode du centroïde appliquée à la coaddition des images en bandes J, H, K. Celle-ci ramène l'incertitude à  $0.3''$ . Cependant, nous avons choisi la première astrométrie car la deuxième peut amener à des résultats incorrects dans le cas d'une morphologie complexe.

6732 candidats 2MASS étendus ont une probabilité supérieure à 99% d'être l'identification d'une source NVSS. L'intercorrélation a été réalisé avant que le relevé 2MASS sur tout le ciel soit disponible. Nous nous attendons à doubler le nombre d'identifications de sources 2MASS lorsque nous reprendrons cette étude. Nous avons comparé les magnitudes 2MASS à celles de Fioc et Rocca-Volmerange (1999). Ces auteurs ont rassemblé les observations proche infrarouge en bandes J, H et K pré-2MASS et ont dérivé des magnitudes totales après avoir déterminé un profil de croissance proche-infrarouge. Cette comparaison dans les bandes J, H et K est présentée dans les figures II.8, II.9 et II.10. L'accord entre les deux catalogues est très bon, y compris pour les galaxies les plus brillantes qui sont aussi celles qui sont les plus proches et les plus étendues.

## II.6 Identification des contreparties LEDA.

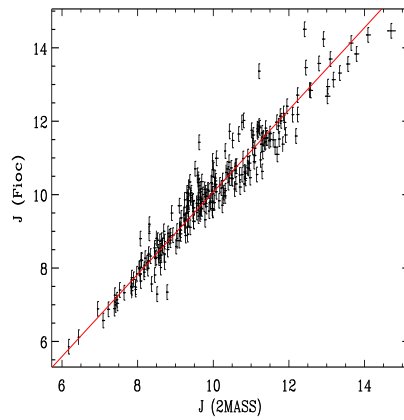
A la différence de la base de données NED (*NASA/IPAC Extragalactic Database*) qui accumule sans trier<sup>2</sup> le maximum de données (astrométrie, décalage spectral, type d'activité et photométrie), la base de données LEDA, maintenue par G. Paturel, a pour objectif de ne fournir qu'un jeu réduit de données uniques et homogénéisées pour chaque galaxie. LEDA a dans le passé servi de base pour construire le Troisième Catalogue de référence des galaxies brillantes (RC3, de Vaucouleurs et al. 1991).

De ce fait, si la base de données NED est la plus apte à fournir l'information la plus complète sur un objet particulier, LEDA se prête plus facilement aux études statistiques, d'autant plus depuis qu'un million de galaxies a été ajouté (Paturel et al. 2000). En outre, l'étude des associations de galaxies n'est pas aisée dans NED: certaines sources sont répertoriées comme galaxies doubles ou triples mais il arrive que leurs composantes soient également présentes. Dans ce cas, il n'existe pas de moyen systématique et robuste d'écarter l'entrée redondante galaxie-multiple car l'information d'appartenance au groupe n'est pas disponible.

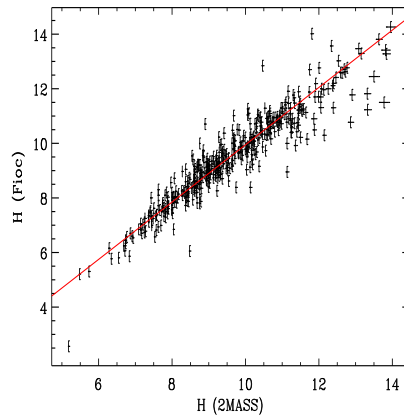
En ce qui concerne la chute en densité de LEDA, la situation est plus compliquée car l'incomplétude du catalogue LEDA est dépendante du modèle de détection des sources faibles (Paturel et al. 2000) et du fait que des entrées IRAS de faible flux

---

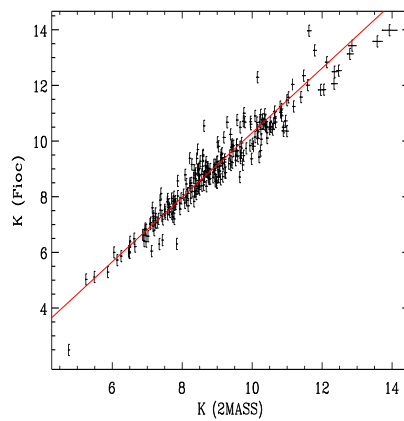
<sup>2</sup>A l'exception de l'astrométrie et du décalage spectral pour lesquels seuls les plus précis sont retenus, les autres restant toutefois accessibles au public



**Figure II.8:** Comparaison en bande J des magnitudes 2MASS à celles du catalogue de Floc et Rocca-Volmerange (1999)



**Figure II.9:** Comparaison en bande H des magnitudes 2MASS à celles du catalogue de Floc et Rocca-Volmerange (1999)

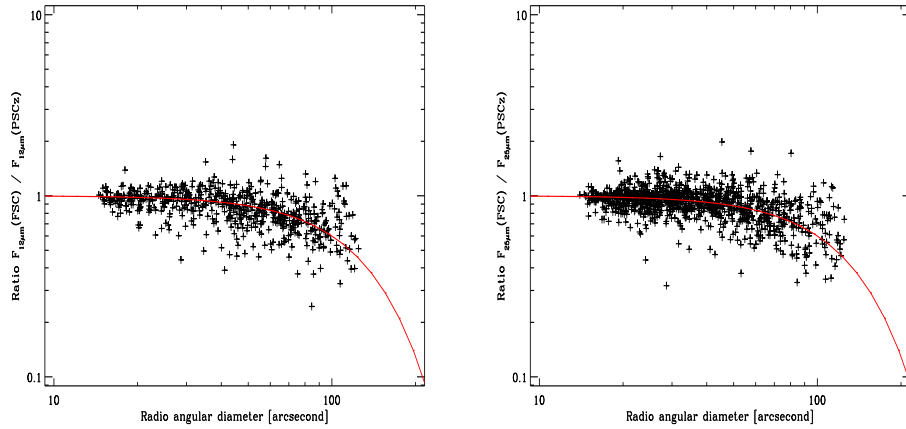


**Figure II.10:** Comparaison en bande K des magnitudes 2MASS à celles du catalogue de Floc et Rocca-Volmerange (1999)

ont déjà été manuellement ajoutées, lors de l'incorporation successive de catalogue dans la base de donnée LEDA.

## II.7 Identification avec le FSC

Le catalogue IRAS des sources faibles est le relevé le plus profond des catalogues IRAS couvrant tout le ciel. Cependant, les 173044 sources infrarouges ne sont pas spécifiquement extragalactiques. Nous avons identifié les sources du PSCz dans le FSC afin d'obtenir les densités de flux à  $12\ \mu\text{m}$ ,  $25\ \mu\text{m}$  et  $100\ \mu\text{m}$  pour lesquelles le PSCz ne fournit que des limites supérieures.



**Figure II.11:** Correction empirique de la densité de flux à  $12\ \mu\text{m}$  et  $25\ \mu\text{m}$  des sources du catalogue IRAS des sources faibles.

Toutefois, dans le cas de galaxies étendues, les densités de flux du FSC peuvent être sous-estimées. En effet, les flux donnés par ce catalogue sont obtenus par la mesure de l'amplitude des pics d'émission sur une image filtrée par la fonction de source ponctuelle. Nous avons donc corrigé de ce biais les sources du FSC en comparant les densité de flux du PSCz et du FSC à taille radio fixée (nous montrerons au chapitre suivant que la taille radio est un bon indicateur de la taille infrarouge à  $60\ \mu\text{m}$ ). La figure II.11 montre la variation du rapport entre les densités de flux du FSC et du PSCz en fonction de la taille angulaire radio  $\delta$  à 1,4 GHz (NVSS, Condon et al. 1998). Cette figure met en évidence le biais évoqué: le FSC ne prend pas en compte la totalité du flux des galaxies angulairement étendues. Nous avons déduit une relation empirique qui détermine le facteur correctif à appliquer aux densités de flux à  $12\ \mu\text{m}$  et  $25\ \mu\text{m}$  issus du FSC pour tenir compte des effets d'ouvertures.

$$f_{12,25\mu}^{\text{total}} = f_{12,25\mu}^{\text{FSC}} e^{-\left(\frac{\delta}{140''}\right)^2} \quad (\text{II.6})$$

A  $100\ \mu\text{m}$ , nous avons vérifié qu'une correction d'ouverture n'a pas lieu d'être, les sources non-détectées à  $100\ \mu\text{m}$  dans le PSCz étant non-résolues. Au final, la comparaison avec le FSC nous a permis d'inclure 2022, 2592 et 413 nouvelles données photométriques à  $12\ \mu\text{m}$ ,  $25\ \mu\text{m}$  et  $100\ \mu\text{m}$ , soit une augmentation respective d'un facteur 2,3, 1,8 et 1,03.

## II.8 Autres catalogues

Afin de compléter les distributions d'énergie spectrale du PSCzp à des longueurs d'onde autres que le continuum radio à 1,4 GHz et celles des bandes J, H, K et IRAS, nous avons fait principalement appel aux catalogues (RC3, *Third Reference Catalog* de Vaucouleurs et al. 1991) et celui de Prugniel et Heraudeau (1998) pour les bandes U, B, V, R et I. Pour l'ultraviolet lointain, nous avons pris le catalogue de Rifatto et al. (1995b) et pour l'infrarouge moyen, nous avons collecté les observations ISOCAM dans les filtres LW2 ( $5 - 8,5\ \mu\text{m}$ ) et LW3 ( $12 - 18\ \mu\text{m}$ ).

### II.8.1 Bandes U, B et V

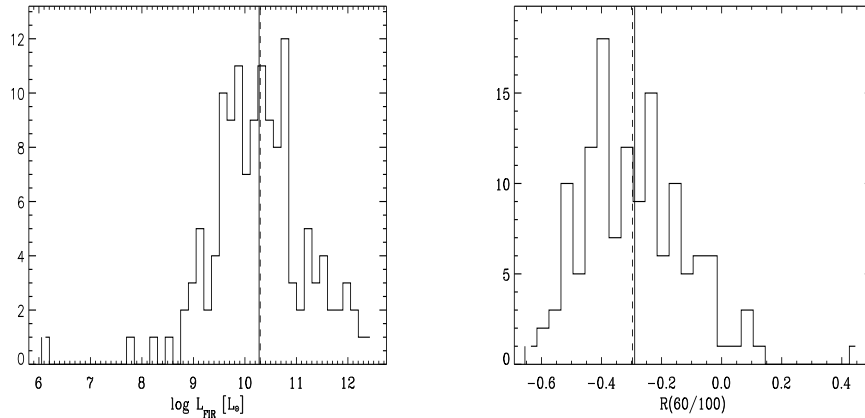
La construction du Troisième Catalogue de Référence des galaxies brillantes a été motivée par la volonté de rassembler les données photométriques des grandes campagnes d'observation dans le visible des années 60 à 80. L'exigence de les rendre compatibles entre elles a fait de ce catalogue le premier effort d'homogénéisation à grande échelle de données disparates. Le RC3 réduit dans un système commun de nombreux paramètres tels que la position, les magnitudes intégrées totales (dans les bandes U, B, V), les couleurs, les vitesses radiales, la raie de l'hydrogène à 21 cm et d'autres informations comme le rayon isophotal. Ces données sont incluses dans LEDA.

### II.8.2 Bandes R et I

Ce catalogue établi par Prugniel et Heraudeau (1998) est un sous-ensemble du RC3 étendu aux bandes R et I. Il fournit en outre, pour 5066 galaxies un profil de brillance de surface parmi les bandes U, B, V, R et I. Les magnitudes totales en bandes R et I ont été obtenues en ajustant les observations multi-ouvertures à une famille de profil de brillance de surface décrite par la combinaison linéaire d'une loi exponentielle et de la loi de Vaucouleurs.

### II.8.3 Catalogues infrarouge moyen.

Nous avons mis en commun plusieurs programmes d'observation par l'instrument ISOCAM dans les filtres LW2 (5 - 8,5  $\mu\text{m}$ ) et LW3 (12 - 18  $\mu\text{m}$ ). Ces différents programmes assurent à notre échantillon de 161 galaxies une large variété de caractéristiques telles que la morphologie, la luminosité infrarouge, la couleur  $R(60/100) = \log 60 \mu\text{m} / 100 \mu\text{m}$  (se reporter à la figure II.12) et de type d'activité spectral. 139 de ces galaxies ont été identifiées dans le PSCzp. Les références sont les suivantes:



**Figure II.12:** *A gauche, distribution de la luminosité infrarouge lointaine (40-500  $\mu\text{m}$ ), à droite, distribution du rapport des couleurs infrarouges IRAS pour l'échantillon ISOCAM. Les deux distributions couvrent un large domaine de valeurs.*

- Roussel et al. (2001a): 69 galaxies sans noyau actif issues du programme CAMBAR et du *Key Project Sample*. Ces galaxies sont proches et résolues dans l'infrarouge moyen.

- Dale et al. (2000): 41 galaxies issues du *Key Project Sample* sans noyau actif. Elles échantillonnent une large gamme d'activité de formation d'étoiles.

- Laurent et al. (2001): 19 galaxies issues du programme CAMACTIV. Ces sources peuvent contenir un noyau actif. Cet échantillon contient 5 galaxies ultralumineuses en infrarouge.

- Boselli et al. (1998): 26 galaxies de l'amas de Virgo. Ce sont des galaxies d'activité normale et ont une luminosité infrarouge totale entre  $2 \cdot 10^8$  et  $2 \cdot 10^{10} L_{\odot}$ .

- Hwang et al. (1999): 6 paires de galaxies en train de fusionner. Les distances de séparation sont comprises entre 2,2 et 25,8 kpc.

## II.8.4 Ultraviolet lointain

Le domaine de l'ultraviolet lointain est celui pour lequel nous disposons du moins d'observations pour trois raisons. D'abord, l'atmosphère terrestre absorbe à de telles longueurs d'onde, si bien qu'il est nécessaire de recourir à des missions spatiales ou montées sur ballon pour réaliser de telles observations. La deuxième raison vient du fait que la densité de flux de la plupart des galaxies chute fortement dans l'ultraviolet lointain, rendant la détection plus difficile. L'émission dans l'ultraviolet lointain provient d'étoiles massives jeunes O et B. Par conséquent, celles-ci sont absentes des galaxies ne présentant plus de formation stellaire active comme les elliptiques. Lorsque ces étoiles sont présentes, leur rayonnement est atténué par la poussière, qui se forme en l'espace très court de  $10^7$  ans dans leur lieu de naissance, les nuages moléculaires. Enfin, la troisième raison provient de la difficulté accrue de détecter des galaxies à grand décalage spectral, l'effet de k-correction accentuant plus encore le point précédent.

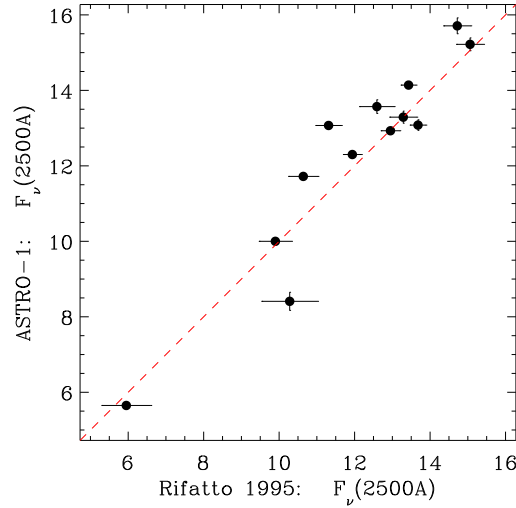
Cependant, un intérêt croissant se manifeste pour l'ultraviolet lointain depuis qu'à la surprise générale, des galaxies ultralumineuses ont y été détectées (Trentham et al. 1999, Surace et Sanders 2000 pour le proche ultraviolet) et que d'autre part, a été découverte pour des galaxies à flambée d'étoiles une relation liant la pente dans l'ultraviolet et le rapport entre les luminosités infrarouges et ultraviolettes au repos qui permet de dériver, en faisant un bilan énergétique, une estimation de l'atténuation à partir des seules données optiques (Meurer et al. 1999). Cette relation est prometteuse, et même si elle semble être en défaut pour les galaxies normales (Buat, communication privée) et pour les galaxies ultralumineuses (Van der Werf et al. 2000). Une étude sur un échantillon plus large sera riche en enseignements. Les observations par le satellite GALEX combleront ce vide observationnel à la fois dans l'ultraviolet proche et lointain.

Les deux principales sources pour les flux ultraviolets totaux proviennent des travaux de Rifatto et al. (1995b) et de Marcum et al. (2001) avec respectivement 187 et 15 identifications dans le PSCzp.

Longo et al. (1991) et Rifatto et al. (1995a) ont effectué une compilation exhaustive des observations ultraviolet lointain des satellites OAO-2, ESRO-TD1, ANS, et IUE, du ballon SCAP 2000, et des fusées ASTROBEE et GUV. Ils les ont normalisé au système photométrique IUE et regroupé en trois domaines de longueurs d'onde centrés sur:  $\lambda = 1650 \text{ \AA}$ ,  $2500 \text{ \AA}$  et  $3150 \text{ \AA}$ . Rifatto et al. (1995b) ont ensuite dérivé des magnitudes totales en établissant des profils de brillance de surface pour trois familles de type E/S0, Sa/Sb et Sc/Sd.

Les données de Marcum et al. (2001) proviennent de la mission ASTRO-1 avec UIT (*Ultraviolet Imaging Telescope*). Les densités de flux total pour 43 galaxies sont disponibles aux longueurs d'ondes  $\lambda = 1500 \text{ \AA}$ ,  $2500 \text{ \AA}$  et ont été obtenues par intégration des densités de flux sur des cartes.





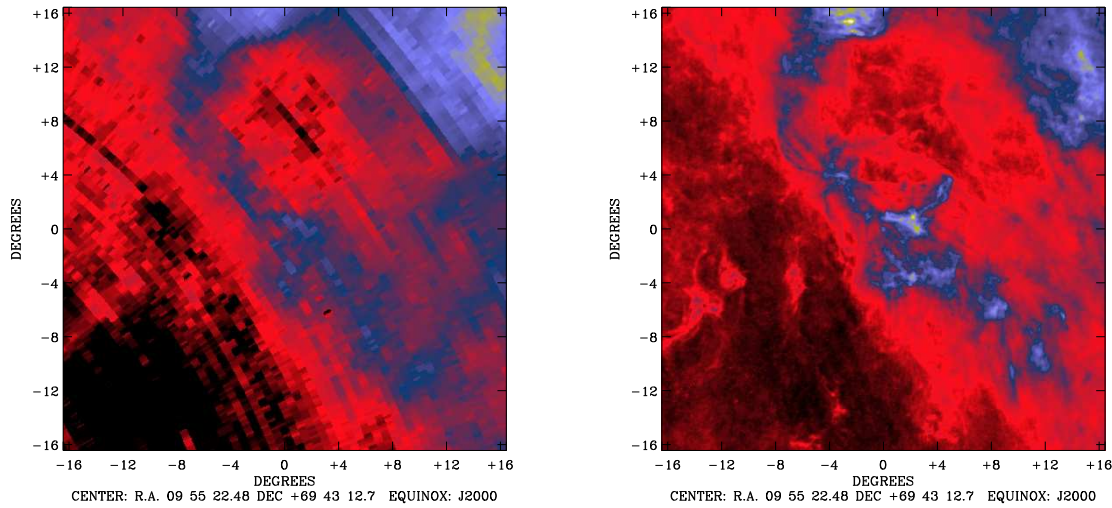
**Figure II.13:** Comparaison des magnitudes ultraviolettes lointain centrées sur  $2500\text{\AA}$  de l'échantillon de Rifatto et al. (1995b) (abscisses) et Marcum et al. (2001) (ordonnées). La ligne en tiret correspond à la relation  $y = x$  et montre un accord satisfaisant entre les deux échantillons.

La figure II.13 présente le bon accord entre les magnitudes totales à  $2500\text{\AA}$  des deux échantillons. Nous remarquons cependant que les erreurs données par Rifatto et al. (1995b) sont sous-estimées car nous n'attendons pas que leurs magnitudes totales soient de meilleure précision. Elles sont, rappelons-le, déduites de profils de brillance de surface moyens à partir d'observations provenant de différents détecteurs et étant, de ce fait, inhomogènes en ouverture et longueur d'onde d'observation. Par conséquent, nous avons multiplié par un facteur 4 les erreurs données par Rifatto et al. (1995b) afin d'obtenir un accord raisonnable avec celles de Marcum et al. (2001).

## II.9 L'extinction Galactique

La lumière des sources extragalactiques est éteinte par la poussière du milieu interstellaire Galactique. L'étude spectrophotométrique des sources extragalactiques nécessite de corriger cet effet exogène et nous avons donc déterminé l'extinction galactique dans la direction de chacune des sources du PSCzp. Pour cela, nous avons comparé les cartes de rougissement de Burstein et Heiles (1982, BH82) et Schlegel et al. (1998, S98). Les premières sont dérivées des cartes de colonnes de densité du gaz hydrogène atomique en faisant l'hypothèse pour l'hémisphère nord que les variations du rapport gaz sur poussière peut être modélisé par les variations moyennées spatialement des densités de galaxies et en supposant ce rapport constant

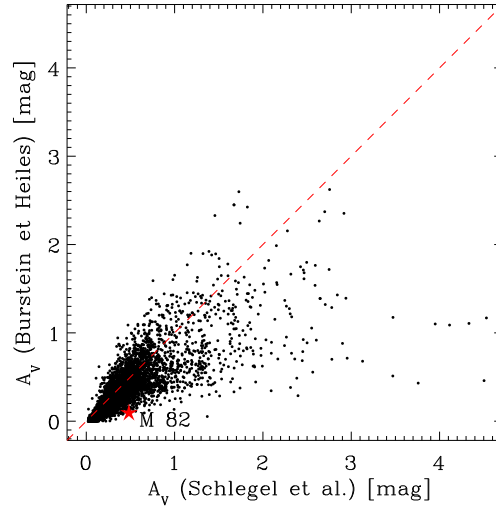
pour l'hémisphère sud. S98 ont construit une carte des températures de la poussière en combinant les cartes IRAS à  $100\ \mu\text{m}$  et DIRBE à  $240\ \mu\text{m}$ , après avoir retiré la contribution de la lumière zodiacale, du fond diffus infrarouge des étoiles et des sources extragalactiques résolues et en ont déduit une mesure de la colonne-densité de poussière.



**Figure II.14:** Comparaison des cartes de rougissement de Burstein et Heiles (1982) à gauche, et de Schlegel et al. (1998) à droite. La région du ciel est centrée sur M 82.

Leur carte d'extinction a une résolution de  $5'$  bien supérieure à celle de Burnstein et Heiles (1982). La figure II.14 illustre ce fait en comparant les deux cartes sur une région du ciel centrée sur la galaxie M 82. La nature fractale du milieu interstellaire apparaît et l'on peut observer sa structure filamentaire. Les contrastes de densité de colonnes sont par conséquent beaucoup plus importants et l'on s'attend à ce que dans la direction de certaines galaxies, le rougissement par le milieu interstellaire soit nettement plus important dans les cartes de S98. que dans celles de BH82. La comparaison des extinctions dans la direction des sources du PSCzp le confirme et est montrée dans la figure II.15.

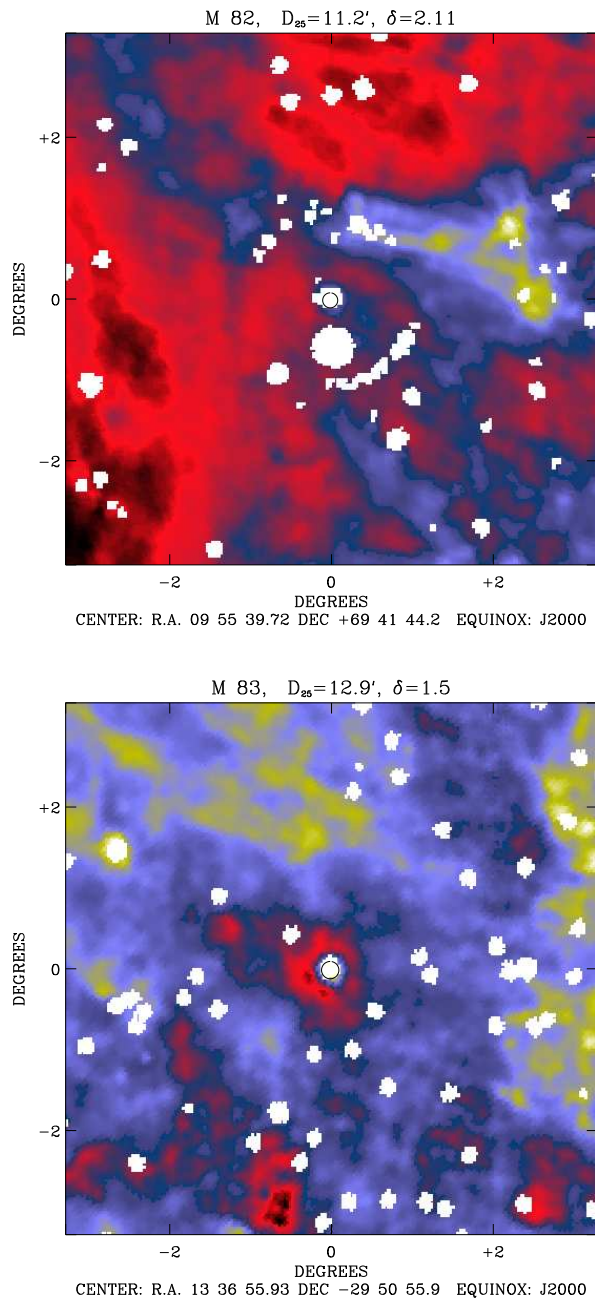
Nous avons utilisé les cartes de rougissement de S98 pour déterminer l'extinction Galactique qui affecte chacune des sources du PSCzp. Toutefois, comme leurs cartes sont basées sur le relevé IRAS à  $100\ \mu\text{m}$ , on peut se demander si le rougissement n'est pas contaminé par les sources infrarouges du PSCzp. S98 ont masqué la contribution des sources du PSCz dans leur carte à  $100\ \mu\text{m}$ . Cependant, avec une résolution de  $5'$ , certaines galaxies proches sont résolues à  $100\ \mu\text{m}$  et l'on peut questionner la fiabilité du masquage des sources extragalactiques. Une inspection visuelle des cartes de



**Figure II.15:** Comparaison des rougissemes déterminés par Schlegel et al. (1998) en abscisses et par Burnstein et Heiles (1982) en ordonnées. La ligne rouge en tiret correspond à la droite  $y = x$ . Les cartes à haute résolution (5') des premiers auteurs ont des contrastes de densité de colonne de poussières plus important et par conséquent, l'extinction Galactique dans la direction de certaines sources peut être nettement supérieure à celle donnée par des cartes à basse résolution.

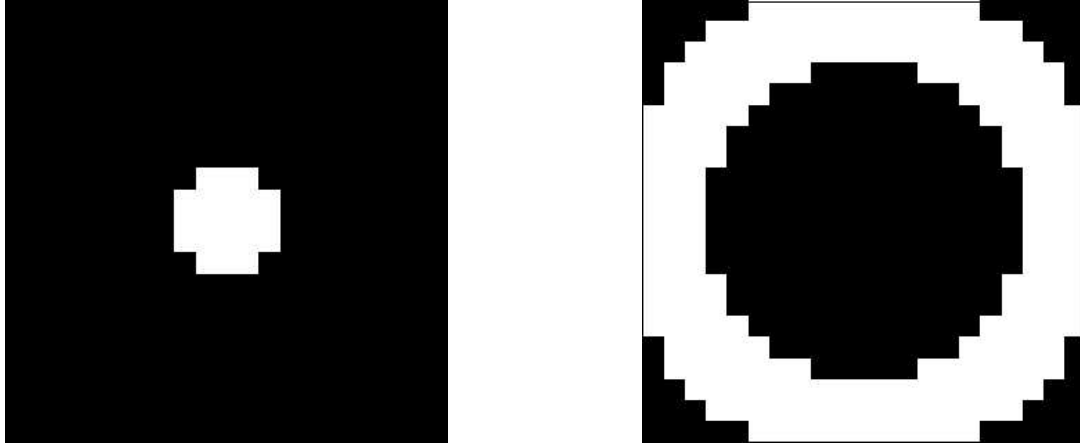
rougissemes dans la direction de sources étendues et brillantes comme M 82 ou M 83 montre que ces deux galaxies se situent étonnamment au centre de surdensités (figure II.16). Les cercles noirs correspondent aux diamètres isophotaux  $D_{25}$  et les régions blanches aux masques de défauts, d'astéroïdes, d'étoiles ou de sources extragalactiques appliqués par S98. L'extinction Galactique dans les directions de ces régions est obtenue par interpolation des pixels voisins non-masqués. Dans le cas de ces deux galaxies, ces pixels définis restent contaminés par l'émission de la galaxie. Notons que M 82 est la source la plus brillante à  $100\ \mu\text{m}$  du PSCzp et des effets de dilution du rayonnement ne peuvent être exclus. Par ailleurs, l'extinction galactique dans les directions de ces deux galaxies sont respectivement 5,2 et 2,0 fois plus importantes dans les cartes de S98 que celles de BH82. Nous avons alors examiné les 20 sources les plus sous-estimées par BH82. Toutes se trouvent dans des régions de haute densité ou dans des filaments et la soustraction de leur flux à  $100\ \mu\text{m}$  a été correctement effectuée. Nous avons alors mené une étude statistique pour quantifier ce biais éventuel.

Pour cela, nous avons défini un estimateur de surdensité  $\hat{\delta}$  par le rapport du rougissemes dans une direction du ciel (masque de gauche dans la figure II.17) et celui dans un anneau entourant cette direction (masque de droite). Nous avons comparé l'échantillon du PSCzp avec un échantillon pseudo-aléatoire. Pour respecter les distributions en latitude de l'échantillon de départ, nous avons simplement pris



**Figure II.16:** Cartes de rougissement autour de M82 (en haut) et M83 (en bas). Le masquage des sources extragalactiques et des étoiles effectué par Schlegel et al. (1998) est indiqué par les pixels blancs. Les cercles noirs correspondent au diamètre  $D_{25}$ . Pour ces deux sources, on distingue les ailes de l'émission infrarouge autour du masque.

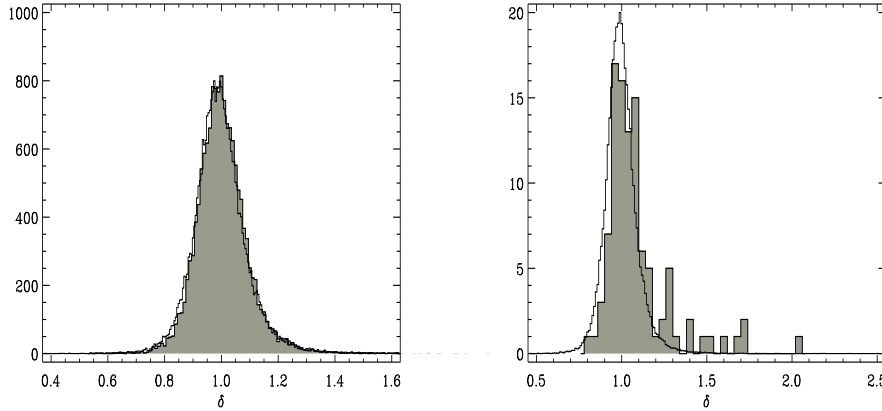
l'union pour  $i \in [1..7]$  de la rotation d'angle  $i\frac{\pi}{4}$  des 7551 galaxies de l'hémisphère galactique nord du PSCzp. L'échantillon ainsi construit contient 52857 pseudo-sources qui ne contaminent pas la carte de rougissement.



**Figure II.17:** Masques appliqués sur les cartes de rougissement (en projection de Lambert) pour déterminer la variation du rougissement entre une direction du ciel (masque de gauche) et son voisinage (masque de droite).

La distribution des surdensités du rougissement dans la direction des sources du PSCzp est comparable à celle de notre échantillon de pseudo-sources (figure II.18 de gauche). Cependant, si l'on se restreint aux sources de diamètre  $D_{25} > 7'$ , nous notons dans la figure de droite un excès de surdensités: 18% de ces sources ont un  $\delta > 1,2$ , alors que ce n'est le cas que pour 3% des pseudo-sources. Cela signifie que la contribution des sources extragalactiques les plus étendues n'a pas été suffisamment masquée par S98. Ces derniers se sont basés sur la calibration de de Vaucouleurs (1991) en masquant les pixels en deça du rayon défini par  $\frac{1}{2}[2]D_{25} + 1,5'$ . Vraisemblablement, les auteurs n'ont pas convolué ce rayon par la PSF d'IRAS à  $100 \mu\text{m}$  (entre  $4,5$  et  $6'$  à  $100 \mu\text{m}$ , d'après Beichman et al. 1988 IV-C).

Il n'est pas aisé de corriger l'effet systématique qui apparaît dans la figure II.18 de droite car la résolution de la carte de rougissement est descendue jusqu'à celle des échelles de taille des galaxies étendues. Pour une surdensité  $\delta$  comprise entre 1,1 et 1,3, il n'est pas possible d'exclure une surdensité locale réelle. Nous n'avons donc corrigé que les 8 sources dont la surdensité  $\delta$  est supérieure à 1,45. L'échantillon de pseudo-sources contenant 0,20% de sources vérifiant  $\delta > 1,45$ , la probabilité qu'une des 8 sources étendues se trouve sur une surdensité réelle  $\delta > 1,45$  est donc de 1,6%. Pour ces 8 sources, nous avons pris la valeur moyenne du rougissement dans le masque annulaire (figure II.17 de droite). Les corrections sont présentées dans le tableau II.2 et en particulier, on remarquera qu'elles atténuent la différence entre les déterminations de S98 et BH82. La distribution du rougissement des sources du PSCzp est présentée dans la figure II.19. Les rougissements moyen et médian sont de 0,31 et 0,18 mag respectivement.

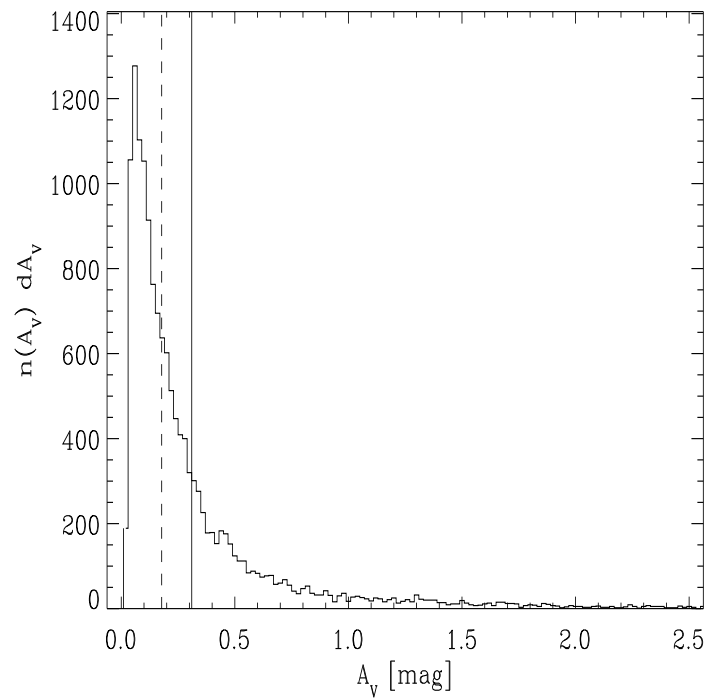


**Figure II.18:** Distribution de  $\delta$ , rapport entre le rougissement dans la direction d'une source et celui de son voisinage. L'histogramme grisé de gauche est celui de toutes les sources du PSCzp et celui de droite celles de diamètre  $D_{25} > 7'$ . Ces histogrammes sont comparés à la distribution d'un tirage pseudo-aléatoire. Dans la figure de droite, l'excès de sources ayant un  $\delta$  élevé indique un masquage insuffisant de l'émission infrarouge des galaxies étendues lors de la construction des cartes de rougissement de Schlegel et al. (1998)

**Tableau II.2:** Liste des galaxies du PSCzp dont l'extinction Galactique a été corrigée.

Nom (1)	$D_{25}$ (2)	$\delta$ (3)	$A_V$ (S98) (4)	$A_V$ (BH82) (5)	$A_V$ (PSCzp) (6)
NGC 134	8,5	1,56	0,055	N/A	0,036
NGC 1313	9,1	1,86	0,333	0,021	0,173
NGC 1365	11,2	1,64	0,063	0	0,039
M 82	11,2	2,11	0,482	0,093	0,228
NGC 3556	8,7	1,77	0,052	0	0,030
NGC 5194	11,2	1,73	0,108	0	0,064
M 83	12,9	1,50	0,206	0,102	0,141
NGC 7793	9,3	1,46	0,060	N/A	0,041

COLONNES - (2) Diamètre isophotal en bande B [ $''$ ] tirés du RC3; (3) rapport du rougissement dans la direction de la source et dans celle de son voisinage; (4) extinction (Schlegel et al. 1998) en magnitude pour  $R_V = 3,1$ ; (5) extinction tirée de Burnstein et Heiles (1982); (6) extinction adoptée pour le PSCzp.



**Figure II.19:** Distribution de l'extinction Galactique dans la bande V affectant les sources du PSCzp par intervalle de 0,02 mag. Les cartes d'extinction sont de Schlegel et al. (1998) pour une valeur  $R_V = 3,1$  adoptée sur tout le ciel. Les valeurs moyenne et médiane sont représentées par les lignes verticales solide et en tiret. N'ont pas été représentées 53 sources éteintes de plus de 2,5 mag.

Au final, notre étude a mis en évidence une surestimation du rougissement Galactique dans la direction des sources les plus étendues. Toutefois, cela ne concerne que très peu de sources et le facteur correctif est toujours inférieur à environ un facteur 2. Concernant l'immense majorité des sources du PSCzp, notre étude basée sur l'estimateur  $\hat{\delta}$  de surdensité apporte une nouvelle validation du travail extrêmement soigné de Schlegel et al. (1998).

## II.10 Synthèse

La base de données homogène que nous avons contruites est résumée dans le tableau II.3 et est décrite dans le tableau II.4. 5486 sources sont identifiées simultanément dans LEDA, NVSS et 2MASS. Ce nombre devrait doubler lorsque nous incluerons la troisième version incrémentale du catalogue 2MASS des sources étendues qui couvre tout le ciel. Pour 14571 sources (99,9%), nous disposons d'une imagerie tirée du DSS (*Digital Sky Survey*) de 4 arcminutes carré.

**Tableau II.3:** Description synthétique de la base de données PSCzp.

Domaine	$\lambda$	Catalogue	#/#sources	couverture
UV	0,16-0,31 $\mu\text{m}$	Rifatto (1995)	178/396	
Optique	U,B,V	LEDA	13201/1006899	100%
NIR	R,I	Prugniel (1998)	2065/5169	
	J,H,K	2MASS	6732/585056	50%
Infrarouge	4-16 $\mu\text{m}$	ISOCAM	139	
Sub-mm	850 $\mu\text{m}$	Dunne (2000)	104	
Radio	1,4 GHz	relevé NVSS	10782/1814748	82%



**Tableau II.4:** Description des champs de la base de données PSCzp.

Champ	Type	Unité	Commentaire
NAME	STRING		Nom usuel de la source
NAME_PSCZ	STRING		Nom de la source donnée dans le PSCz.
PGC	LONG		Numéro PGC d'après LEDA
NAME_NVSS	STRING		Nom de la source donnée dans NVSS.
NAME_2MASS	STRING		Nom de la source donnée dans 2MASS.
RA	DOUBLE	deg déc.	Ascension Droite (J2000)
DEC	DOUBLE	deg	Déclinaison (J2000)
REF_RADEC	BYTE		Référence pour l'astrométrie 0:IRAS,1:NVSS,2:LEDA
Z	FLOAT		Décalage spectral
EZ	FLOAT		Erreur sur le décalage spectral
DISTANCE	FLOAT	Mpc	Distance
EDISTANCE	FLOAT	Mpc	Erreur sur la distance
REF_DISTANCE	STRING		Référence pour la distance
MAJAXIS_LEDA	FLOAT	"	D25 d'après LEDA
EMAJAXIS_LEDA	FLOAT	"	erreur sur MAJAXIS
MINAXIS_LEDA	FLOAT	"	R25/D25
EMINAXIS_LEDA	FLOAT	"	erreur sur MINAXIS
PA_LEDA	FLOAT	deg	Angle de position d'après LEDA
INCL	FLOAT	deg	Inclinaison
MAJAXIS_NVSS	FLOAT	"	grand axe 1,4 GHz d'après NVSS
EMAJAXIS_NVSS	FLOAT	"	erreur sur MAJAXIS_NVSS
MINAXIS_NVSS	FLOAT	"	petit axe 1,4 GHz
EMINAXIS_NVSS	FLOAT	"	erreur sur MINAXIS_NVSS
PA_NVSS	FLOAT	"	Angle de position NVSS
MAJAXIS_2MASS	FLOAT	"	grand axe en bande K d'après 2MASS
EMAJAXIS_2MASS	FLOAT	"	erreur sur MAJAXIS_2MASS
MINAXIS_2MASS	FLOAT	"	petit axe en bande K d'après 2MASS
EMINAXIS_2MASS	FLOAT	"	erreur sur MINAXIS_2MASS
PA_2MASS	FLOAT	"	Angle de position 2MASS
REL_NVSS	FLOAT		Probabilité d'identification de la source NVSS dans le catalogue PSCz
REL_LEDA	FLOAT		Probabilité d'identification de la source LEDA dans le catalogue NVSS
REL_2MASS	FLOAT		Probabilité d'identification de la source 2MASS dans le catalogue NVSS
AGAL	FLOAT	mag	extinction galactique d'après Schlegel (1998)
LFIR	FLOAT	log $L_{\odot}$	Luminosité infrarouge lointaine d'après Helou et al. (1988)
ELFIR	FLOAT	log $L_{\odot}$	Erreur sur LFIR
R60_100	FLOAT		Rapport des flux à 60 et 100 $\mu\text{m}$ .
ER60_100	FLOAT		Erreur sur R60_100
TEMP_DUST	FLOAT	K	Température efficace des gros grains, pour une émissivité de 1,6.
ETEMP_DUST	FLOAT	K	Erreur sur TEMP_DUST

Tableau II.5: Description du PSCzp (suite)

Champ	Type	Unité	Commentaire
IAGN	BYTE		-1: type inconnu 0: Starburst 1: AGN
IAGN_RADIO	BYTE		-1: pas de contrepartie radio 1: candidat AGN d'après son rapport radio/IR
IAGN_IR	BYTE		-1: galaxie non détectée à 25 $\mu\text{m}$ 1: AGN d'après la couleur 25/60 $\mu\text{m}$
IAGN_VERON	BYTE		-1: absent du catalogue de Véron 0: identification Starburst 1: identification AGN
FU	FLOAT	Jy	Flux en bande U d'après LEDA
EU	FLOAT	Jy	Erreur sur le flux en bande U
FB	FLOAT	Jy	Flux en bande B d'après LEDA
EB	FLOAT	Jy	Erreur sur le flux en bande B
FV	FLOAT	Jy	Flux en bande V d'après LEDA
EV	FLOAT	Jy	Erreur sur le flux en bande V
FR	FLOAT	Jy	Flux en bande R d'après Prugniel
ER	FLOAT	Jy	Erreur sur le flux en bande R
FI	FLOAT	Jy	Flux en bande I d'après Prugniel
EI	FLOAT	Jy	Erreur sur le flux en bande I
FJ	FLOAT	Jy	Flux en bande J d'après 2MASS
EJ	FLOAT	Jy	Erreur sur le flux en bande J
FH	FLOAT	Jy	Flux en bande H d'après 2MASS
EH	FLOAT	Jy	Erreur sur le flux en bande H
FK	FLOAT	Jy	Flux en bande K d'après 2MASS
EK	FLOAT	Jy	Erreur sur le flux en bande K
F7	FLOAT	Jy	Flux à 7 $\mu\text{m}$ d'après ISOCAM
E7	FLOAT	Jy	Erreur sur le flux à 7 $\mu\text{m}$
F12	FLOAT	Jy	Flux à 12 $\mu\text{m}$ d'après IRAS
E12	FLOAT	Jy	Erreur sur le flux à 12 $\mu\text{m}$
F15	FLOAT	Jy	Flux à 15 $\mu\text{m}$ d'après ISOCAM
E15	FLOAT	Jy	Erreur sur le flux à 15 $\mu\text{m}$
F25	FLOAT	Jy	Flux à 25 $\mu\text{m}$ d'après IRAS
E25	FLOAT	Jy	Erreur sur le flux à 25 $\mu\text{m}$
F60	FLOAT	Jy	Flux à 60 $\mu\text{m}$ d'après IRAS
E60	FLOAT	Jy	Erreur sur le flux à 60 $\mu\text{m}$
F100	FLOAT	Jy	Flux à 100 $\mu\text{m}$ d'après IRAS
E100	FLOAT	Jy	Erreur sur le flux à 100 $\mu\text{m}$
F850	FLOAT	Jy	Flux à 850 $\mu\text{m}$ d'après SCUBA
E850	FLOAT	Jy	Erreur sur le flux à 850 $\mu\text{m}$
F1_4GHZ	FLOAT	Jy	Flux à 1,4 GHz d'après NVSS
E1_4GHZ	FLOAT	Jy	Erreur sur le flux à 1,4 GHz
REF_IRAS	STRING(4)		Référence pour les flux IRAS =: PSCz, += FSC

# Chapitre III

## Les effets de concentration dans les galaxies normales

---

<b>III.1 Choix de la taille caractéristique . . . . .</b>	<b>65</b>
III.1.1 La taille continuum radio . . . . .	65
III.1.2 La taille $H_\alpha$ . . . . .	67
III.1.3 La taille en bande B . . . . .	68
III.1.4 La taille CO . . . . .	71
<b>III.2 La relation taille-luminosité-température . . . . .</b>	<b>74</b>
<b>III.3 Interprétation des paramètres globaux. . . . .</b>	<b>78</b>
III.3.1 Cas opaque dans l'infrarouge lointain. . . . .	78
III.3.2 Cas transparent dans l'infrarouge lointain . . . . .	79
<b>III.4 Conclusion . . . . .</b>	<b>82</b>

---

Les centres des galaxies lumineuses en infrarouge ( $L_{\text{IR}}(8 - 1000 \mu\text{m}) > 10^{11} L_\odot$ ) possèdent de grandes concentrations de gaz moléculaire par rapport aux galaxies normales (Scoville et al 1991, et références mentionnées dans l'article). La source de cette luminosité infrarouge est très vraisemblablement une flambée d'étoiles dans cette région nucléaire compacte. (Rieke et al. 1985, Joseph et Wright 1985) ou un noyau actif enfoui (Sanders 1988b, Lonsdale et al. 1995). Nous nous sommes donné pour cadre de n'étudier que la formation stellaire et nous allons donc nous intéresser qu'au premier cas.

Devereux (1987) et Hill et al. (1988) introduisirent le concept de compacité infrarouge. Dans leurs études sur des galaxies proches, ils ont considéré les densité de flux à  $10 \mu\text{m}$  provenant d'une observation au sol de faible ouverture et celles à  $12 \mu\text{m}$  de plus grande ouverture issues des observations IRAS. En interprétant le rapport de ces deux densités de flux comme étant un estimateur de compacité infrarouge ils ont

établi une corrélation positive entre le rapport  $f_\nu(12\ \mu\text{m})/f_\nu(25\ \mu\text{m})$  et la compacité. Notons toutefois que leur définition de la compacité ne fait ni référence à des tailles physiques, ni à une mesure bien définie de la luminosité infrarouge.

Une approche complémentaire fut menée par Wang et Helou (1992) qui, peu après le suivi radio du BGS avec le VLA, analysèrent la relation entre la luminosité infrarouge et la surface de la zone de formation d'étoile estimée à partir de la taille continuum radio. Ils mirent en défaut le modèle de Rowan-Robinson (1987) selon lequel la luminosité infrarouge serait proportionnelle à la surface de la région rayonnant dans l'infrarouge, et montrèrent qu'au contraire, l'émission infrarouge des galaxies les plus lumineuses provenait de régions de tailles similaires ou inférieures à celles des galaxies normales, confirmant ainsi les travaux de Carico et al. 1990 dans le proche infrarouge.

Dans le but de fournir une prescription simple utilisable dans un modèle d'évolution spectrophotométrique de galaxies, nous nous sommes posé la question causale suivante: étant donnée une région de formation d'étoiles (RFE) de taille donnée et absorbant une quantité de lumière donnée, quelle est la température moyenne de ses grains de poussière? Nous avons formulé cette question en ne prenant en compte que des observables directes: le bilan énergétique implique que la lumière absorbée est rayonnée par la poussière et est mesurable par la luminosité infrarouge. En outre, le choix de l'expression *température moyenne des grains de poussière* est délibérément simplificateur. Elle signifiera dans notre étude la température d'un corps noir modifié par un index d'émissivité fixé, reproduisant le rapport des couleurs des bandes IRAS  $R(60/100) = \log f_{nu}(60\ \mu\text{m})/f_{nu}(100\ \mu\text{m})$  observées.

Une première réponse ne faisant pas appel à la taille de la RFE a été fournie par Soifer et al. (1987b). Ils mirent à jour une corrélation entre le rapport  $R(60/100)$ , et la luminosité infrarouge lointain. Cependant, les auteurs notèrent une large dispersion. Nous verrons que dernière est expliquée par la prise en compte de la taille de la zone de formation d'étoile, ce qui a motivé de notre part une étude détaillée.

La première étude liant la taille de la zone de formation d'étoile, la luminosité infrarouge lointain et la température des gros grains fut réalisée par Armus et al. (1990) et Lehnert et Heckman (1996). Ces derniers, pour un échantillon de 61 galaxies et en utilisant comme estimateur la taille de demi-luminosité  $H_\alpha$  montrèrent une bonne corrélation entre la densité surfacique infrarouge et la température moyenne des gros grains. Roussel et al. (2001b) ont montré, pour un échantillon de 69 galaxies normales résolues en moyen infrarouge, que le rapport entre les densités de flux à  $15\ \mu\text{m}$  et  $7\ \mu\text{m}$  s'accroît avec la brillance de surface à  $15\ \mu\text{m}$  dans les régions circumnucléaires et avec la densité de colonne de gaz  $H_2$ . En interprétant ce rapport de flux comme un indicateur de la contribution des très petits grains relativement aux bandes UIBs, les auteurs suggèrent que cette corrélation peut s'expliquer par la variation du facteur de remplissage des complexes de formation d'étoiles dans les régions circumnucléaires.

Nous avons donc essayé d'étendre ces approches en nous basant sur un large échantillon de galaxies et d'étudier dans un premier temps de manière empirique le lien entre la taille de la zone caractéristique de la zone de formation d'étoile, sa température efficace déduite de l'infrarouge lointain et la luminosité infrarouge.

## III.1 Choix de la taille caractéristique

Le premier problème qui se pose à nous est de choisir le meilleur estimateur de la taille de la RFE. Le candidat naturel serait la taille infrarouge, du fait de la qualité de l'infrarouge comme indicateur de formation d'étoiles. Toutefois, pour les galaxies les plus calmes et les moins lumineuses, la luminosité infrarouge est dominée par l'émission de la poussière qui reprocesses les photons peu énergétiques d'étoiles vieilles (cf. le paragraphe I.1.2). Cependant, un tel cas de figure peut se surmonter par l'ajout d'une deuxième population d'étoiles. Par contre, du fait de la diffraction à grande longueur d'onde, nous disposons de très peu d'information sur la taille infrarouge lointain des galaxies. Seules les galaxies étendues (de diamètre angulaire plus grand que  $5'$ ) ont pu être cartographiées par IRAS (Rice et al. 1988) ou par ISOPHOT (Alton et al. 1998) et seules quelques galaxies plus lointaines (60-100 Mpc) observées à  $100\ \mu\text{m}$  par le Kuiper Airborne Observatory (KAO) ont été résolues (Zink et al. 2000). Dans le moyen infrarouge, l'échantillon de galaxies résolues le plus complet est celui Roussel et al. (2001*a*) mais ne comprend que des galaxies normales dont la formation d'étoiles est modérée. Celui de Laurent (1999) est constitué de galaxies actives (par sa formation stellaire ou par la présence d'un noyau actif) mais relativement peu d'entre elles sont résolues en infrarouge. Des observations de galaxies infrarouges lumineuses et ultralumineuses ont été faites au sol dans le moyen infrarouge (Wynn-William & Becklyn 1993, Soifer et al. 2000) mais sur des échantillons très restreints.

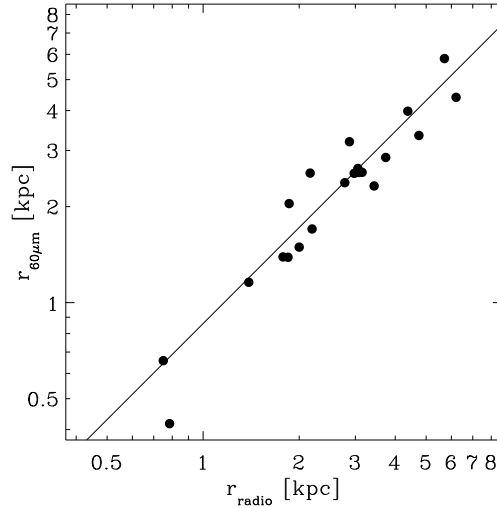
Pour pallier ce manque de données, nous avons considéré la taille continuum radio à 1,4 GHz et montré qu'elle constitue un bon estimateur de la taille infrarouge et par conséquent de la taille de la RFE.

### III.1.1 La taille continuum radio

Du fait de la remarquable corrélation *globale* entre la luminosité continuum radio à 1,4 GHz et la luminosité infrarouge lointain des galaxies sans noyau actif, il est envisageable, voire tentant d'utiliser le continuum radio comme estimateur de la taille de la RFE. Il reste nécessaire de s'assurer préalablement que *localement*, les tailles dans le continuum radio et infrarouge lointain d'une galaxie individuelle sont comparables.

En effet, les tailles dans le continuum radio sont généralement supérieures aux

tailles dans l'infrarouge lointain (Bicay et Helou 1990, Marsh et Helou 1995, Mayya et Rengarayan 1997, Marsh et Helou 1998). Bicay et Helou (1990) ont montré qu'une dilution spatiale provenant de la propagation des rayons cosmiques sur une échelle de quelques centaines de parsecs pouvait expliquer cette différence. De façon à quantifier statistiquement la différence à grande échelle des tailles infrarouge et continuum radio, nous avons pris l'échantillon de Mayya et Rangarayan (1997) qui contient 25 galaxies étendues pour lesquelles un ajustement des profils continuum radio (1,4 GHz) et infrarouge ( $60\mu\text{m}$ ) a été réalisé par les auteurs. Nous avons



**Figure III.1:** *Corrélation entre les tailles infrarouges lointain (ordonnées) et continuum radio (abscisses) d'un échantillon de galaxies étendues observées conjointement par le VLA et IRAS à 1,4 GHz et  $60\mu\text{m}$ . La ligne solide correspond à la relation  $r_{60\mu\text{m}} = 0,86 r_{\text{radio}}$ . La taille est définie pour les deux domaines de longueur d'onde comme étant la demi-largeur des profils observés à  $1/e$  du pic d'intensité. Les tailles infrarouge et continuum radio sont proportionnelles.*

repris les demi-largeurs à hauteur  $1/e$  du pic d'intensité que les auteurs ont déterminées pour les profils continuum radio et à  $60\mu\text{m}$  de leur échantillon (Figure III.1) A l'aide d'une régression linéaire, nous avons obtenu la relation suivante:

$$\left(\frac{r_{60\mu\text{m}}}{1\text{kpc}}\right) = 0,83(0,03) \left(\frac{r_{1,4\text{GHz}}}{1\text{kpc}}\right)^{1,03(0,06)} \quad (\text{III.1})$$

La pente vaut 1,03, ce qui indique d'un point de vu statistique une bonne proportionnalité entre les demi-largeurs à hauteur  $1/e$  radio et infrarouge lointain et justifie l'emploi que nous ferons de la taille continuum radio comme estimateur de la taille de la RFE. L'ajustement est compatible avec une relation de pente 1. Comme les luminosités continuum radio et infrarouge lointain sont très bien corrélées et comme

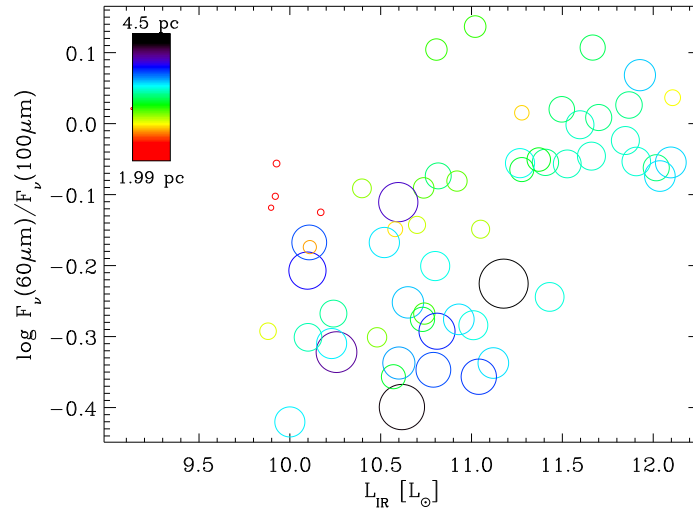
le  $60\ \mu\text{m}$  trace la luminosité infrarouge lointain, nous supposons égaux les rayons à  $60\ \mu\text{m}$  et infrarouge lointain. le réajustement du coefficient de proportionalité amène la relation

$$\left(\frac{r_{\text{IR}}}{1\text{kpc}}\right) = 0,86(0,03) \left(\frac{r_{1,4\text{GHz}}}{1\text{kpc}}\right) \quad (\text{III.2})$$

liant les demi-largeurs à hauteur  $1/e$  des pics d'intensité du continuum radio et infrarouge lointain. Une inspection des profils de l'échantillon de Mayya et Rangarayan (1997) montre que cette relation peut s'étendre aux largeurs à mi-hauteur.

L'échantillon que nous avons étudié ne contient qu'un nombre restreint de galaxies proches. Des études sur des échantillons plus larges et observés à plus haute résolution seront nécessaires pour la confirmer. Nous avons également étudié d'autres estimateurs (décrits dans la section I.1.2) de la taille de la RFE mais ces derniers se sont révélés inférieurs, soit pour des raisons techniques (peu d'observations disponibles), soit pour une raison intrinsèque à l'estimateur.

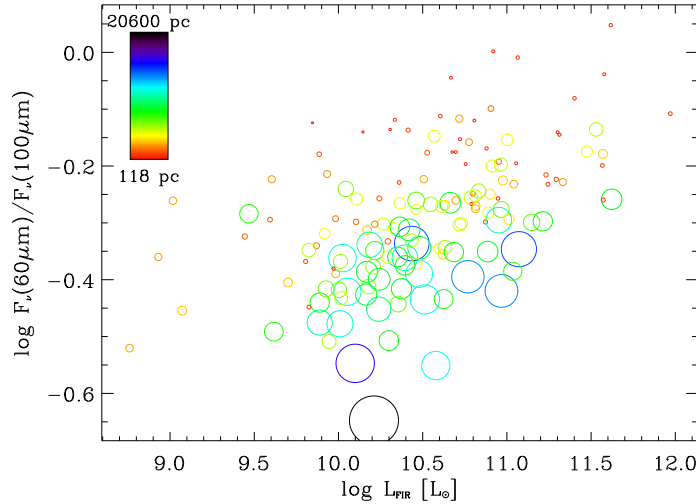
### III.1.2 La taille $H_\alpha$



**Figure III.2:** Couleur  $R(60/100)$  en fonction de la luminosité infrarouge totale ( $8-1000\ \mu\text{m}$ ) des galaxies des échantillons de Armus et al. (1990) et Lehnert et Heckman (1996). Le code de couleur et la taille des cercles indiquent la taille du rayon  $r_{H_\alpha}$

Un estimateur de la formation d'étoiles moins indirect que le continuum radio est fourni par le flux observé dans la raie d'émission  $H_\alpha$ .

Armus et al. (1990) et Lehnert et Heckman (1996) l'ont utilisé pour estimer les tailles de 61 galaxies brillantes sélectionnées à  $60\mu\text{m}$ . En comparant les figures III.2 et III.3, qui présentent la variation de la température effective des gros grains en fonction de la luminosité infrarouge totale, nous constatons qu'apparaît plus nettement pour le continuum radio l'effet intuitif selon lequel, à luminosité infrarouge fixée, la température augmente lorsque la taille diminue, celle-ci étant proportionnelle au rayon des cercles dans les deux figures.



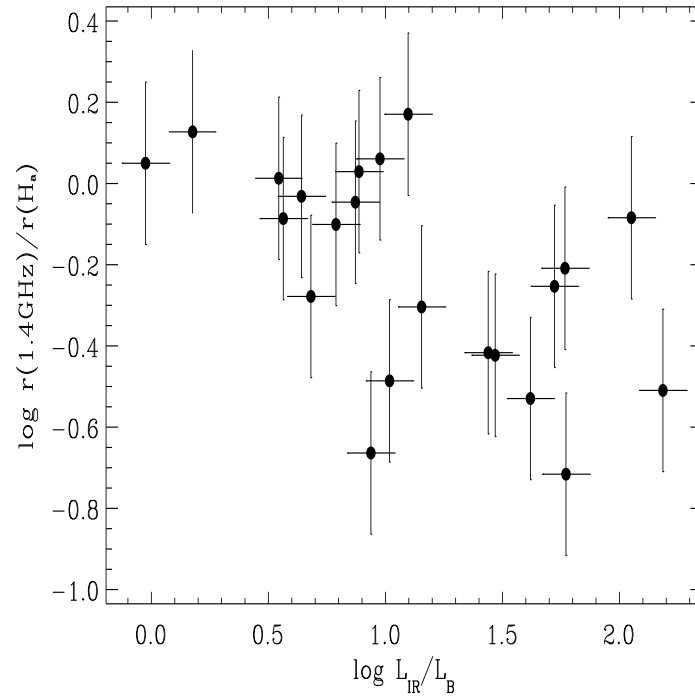
**Figure III.3:** Couleur  $R(60/100)$  en fonction de la luminosité infrarouge totale ( $8-1000\mu\text{m}$ ) des galaxies de l'échantillon de Condon et al. (1990) et Condon et al. (1996) (cf section III.2). La taille et la couleur correspondent au demi-grand axe radio à  $1,4\text{ GHz}$ .

Ces auteurs n'ont pas effectué de correction d'extinction. La figure III.4 illustre le problème en présentant la variation du rapport des tailles  $H_\alpha$  et radio en fonction d'un estimateur global d'extinction, le rapport entre la luminosité infrarouge lointain et bleu. La sous-estimation du pic d'émission compact de la région circumnucléaire entraîne vraisemblablement une surestimation du rayon  $H_\alpha$ . Le rayon  $H_\alpha$  n'est donc pas un bon indicateur de la taille de la RFE.

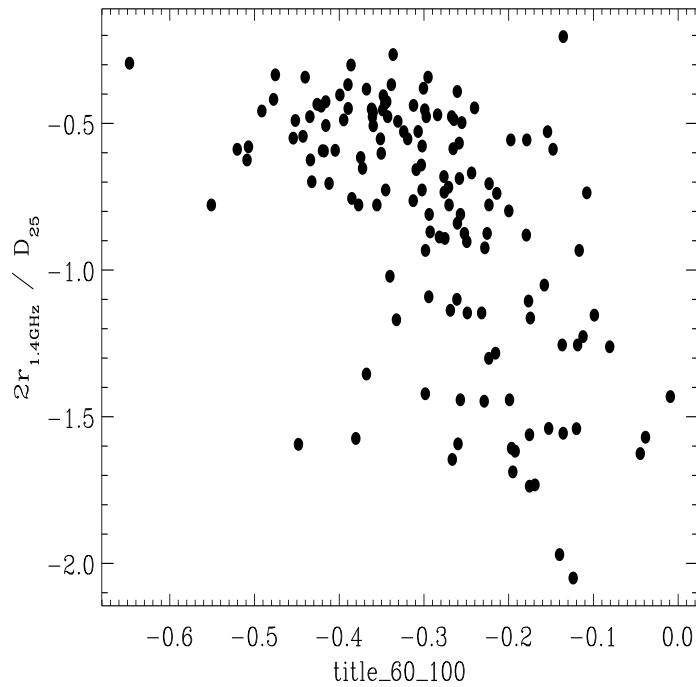
### III.1.3 La taille en bande B

Le catalogue RC3 fournit des diamètres en bande B pour plus de 21600 galaxies. Cependant, la bande B n'est pas un bon indicateur de formation d'étoile. La figure III.5 montre clairement que les deux estimateurs de taille divergent lorsque le rapport  $R(60/100)$  augmente. Plus l'activité de formation d'étoile est intense, plus la taille du continuum radio diminue relativement à celle en bande B.





**Figure III.4:** Variation du rapport entre le rayon de demi-luminosité  $H_\alpha$  et le demi-grand axe radio à 1,4 GHz en fonction du rapport de la luminosité infrarouge totale sur luminosité en bande B. Les galaxies les plus affectées par l'extinction ont des tailles  $H_\alpha$  biaisées vers les grandes tailles.



**Figure III.5:** Variation du rapport entre le diamètre optique isophotal  $D_{25}$  en bande  $B$  et le grand axe du continuum radio à 1,4 GHz en fonction de la couleur  $R(60/100)$ . Pour les galaxies actives de rapport  $R(60/100)$  élevé, la taille en bande  $B$  surestime celle de la région de formation d'étoiles.

L'extinction peut jouer un rôle similaire à celui exercé sur les tailles  $H_\alpha$ , mais dans ce cas, c'est la prédominance d'une population vieille d'étoiles qui contamine l'estimation de la taille de la RFE à partir de la bande B.

### III.1.4 La taille CO

Intégrées spatialement, les luminosités infrarouges et CO sont corrélées (Young et al. 1984, Sanders et al. 1991). Cependant cette corrélation est affectée par l'efficacité de formation d'étoiles, définie par le taux de formation d'étoiles par unité de masse de gaz. Or celle-ci peut varier considérablement: Sanders et al. 1991 ont montré que le rapport entre la luminosité infrarouge et la masse de gaz des galaxies lumineuses en infrarouge peut être supérieure jusqu'à un facteur 20 à celui de notre Galaxie ( $\sim 4 L_\odot M_\odot^{-1}$ , Scoville et Good 1989). Une égalité entre les tailles infrarouges et CO ne va donc pas de soi. Wilson et al. 2000 ont souligné la similarité des contours de l'émission infrarouge moyen et CO dans les Antennes. Cependant aucune étude comparative statistique n'a encore été réalisée. Nous allons encore une fois nous servir de la radio pour mener une telle étude.

Afin de comparer les tailles de l'émission CO et du continuum radio, nous avons combiné deux échantillons. Le premier (tableau III.1) est constitué de galaxies observées en CO par interférométrie et dont la taille continuum radio observée avec une résolution similaire est disponible. Ce sont des galaxies lumineuses en infrarouge qui manifestent par conséquent une formation active d'étoiles.

Le second échantillon a été obtenu en corrélant le relevé CO du FCRAO (Young et al 1995) et le relevé NVSS (Condon et al. 1998). Tous deux ont une même résolution angulaire de  $45''$ . Comme l'incertitude sur le grand axe radio est inversement proportionnelle aux pics d'amplitude (Condon et al. 1998), nous n'avons retenu que les galaxies plus brillantes que 9mJy à 1,4 GHz afin de garantir une précision convenable sur les tailles du continuum radio. Après élimination des galaxies possédant un noyau actif, l'échantillon contient 45 galaxies normales.

La comparaison des tailles CO et radio est présentée dans la figure III.6 et indique une proportionalité entre les tailles CO et radio. Il faut souligner qu'il est nécessaire, pour aboutir à ce résultat, de se restreindre aux galaxies dont l'observation en CO et radio est réalisée avec une résolution similaire car **les tailles des sources étendues dépendent très fortement de la taille du lobe d'observation**. Pour une galaxie donnée, une résolution élevée tend à ne prendre en compte que les structures de fréquence spatiale élevée, ce qui résulte en une sous-estimation du flux intégré total et en des tailles plus petites. A contrario, une basse résolution supprime les petites échelles et peut surestimer la réelle largeur à mi-hauteur de la luminosité. Toutefois, lorsque l'on compare des observations réalisées avec la même résolution, les effets de géométrie se manifestent de la même manière dans l'estimation de la

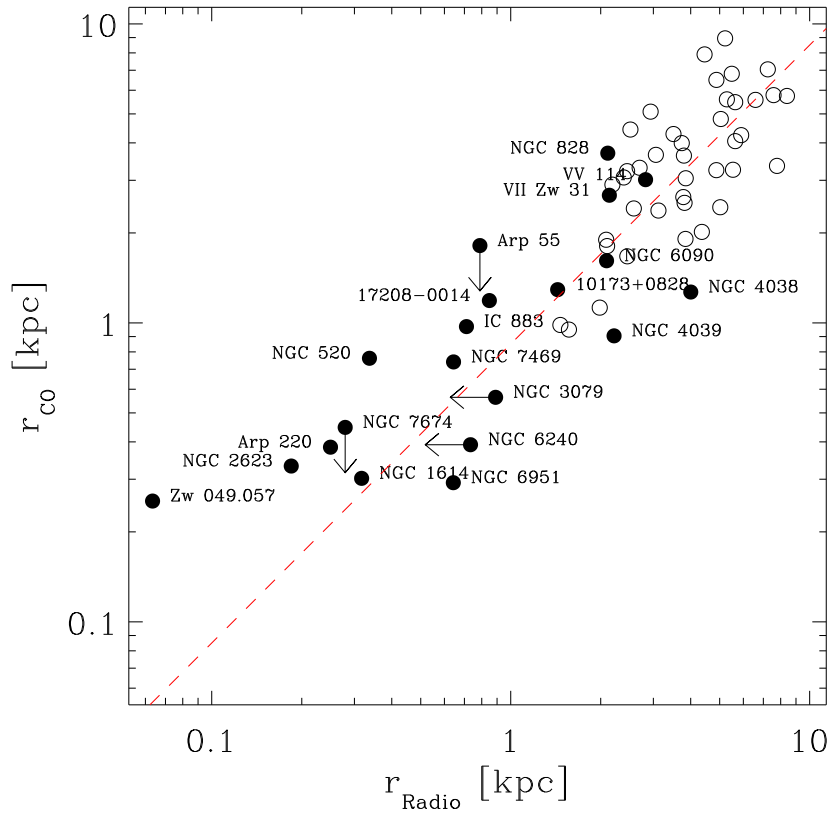
**Tableau III.1:** Echantillon de galaxies lumineuses en infrarouge observée en CO à haute résolution (lobe  $< 7''$ )

nom (1)	D (2)	$\theta_{\text{radio}}^0$ (3)	$\theta_{\text{radio}}$ (4)	$\theta_{\text{CO}}^0$ (5)	$\theta_{\text{CO}}$ (6)	Références (7)
IRAS 17208-0014	175,0	5	2,0	3,0×2,7	2,8	1,4
Arp 220	79,2	1,5	1,3	2,1×1,9	2,0	2,5
VII Zw 31	220,5	7	4,0	6,0×5,0	5,0 <sup>a</sup>	1,6
IRAS 10173+0828	197,4	8	3,0	7,0×6,4	2,7	2,4
NGC 6240	100,9	4,8 <sup>b</sup>	$< 3,0$	4,9×4,1	1,6	3,7
Arp 55	162,7	5	2,0	9,0×7,0	$< 4,6$	2,8
IC 883	97,8	5	3,0	3,8×3,2	4,1	2,7
NGC 2623	76,1	5	1,0	3,4×2,4	1,8	2,7
VV 114	77,7	21	15	10×5	16,0	2,6
NGC 7469	66,4	5	4,0	8,3×6,3	4,6	2,7
NGC 6090	123,3	6	7,0	3,2×2,2	5,4	2,7
NGC 1614	62,3	1,8	2,1		2,0 <sup>c</sup>	2,9
NGC 828	72,6	5	12	7×5	21,0 <sup>d</sup>	1,10
NGC 7674	115,3	5	1,0	3,4×2,4	$< 1,6$	2,7
Zw 049,057	52,3	1,5	0,5	2,8×2,6	2,0	2,4
NGC 3079	20,4	60	$< 18$	8,3×6,1	11,4	2,11
NGC 520	27,8	5	5,0	6×5	11,3	2,8
NGC 4038	25,4	18	65	7,0×6,5	20,6	2,12
NGC 4039	25,4	18	36	7,0×6,5	14,7	2,12
NGC 6951	24,1	18	11	2,3×2,1	5,0	1,13

COLONNES - (2) Distance (Mpc;  $H_0 = 75 \text{ km s}^{-1}$ ); (3) Taille angulaire du lobe radio ( $''$ ); (4) Grand axe déconvolué de l'émission du continuum radio à 1,4GHz ( $''$ ); (5) Taille angulaire du lobe CO ( $''$ ); (6) Grand axe déconvolué de l'émission CO ( $''$ )

NOTES - (a) Pour la taille CO de VII Zw 31, nous avons pris la valeur donnée dans la table 2 de Scoville et al. (1991). Celle-ci est reprise de Scoville et al. (1989) qui, par contre, la considère comme une valeur supérieure; (b) La taille continuum radio est estimée à partir d'une carte à 3,6cm (Colbert et al. 1994). La composante radio de NGC 6240 est à 70% constituée de l'émission de deux noyaux en interaction et d'une composante diffuse et il n'est seulement précisé qu'elle est comprise dans une région de taille inférieure à 1,4kpc; (c) La taille CO de NGC 1614 est obtenue par l'observation de la raie d'émission  $Pa_\alpha$ . Celle-ci révèle autour du noyau la présence d'un anneau d'environ 600pc de régions moléculaires super-géantes; (d) Wang et al. 1991

RÉFÉRENCES - (1) Condon et al. 1996; (2) Condon et al. 1990; (3) Colbert et al. 1994; (4) Planesas et al. 1991; (5) Scoville et al. 1991; (6) Scoville et al. 1989; (7) Bryant et Scoville 1999; (8) Sanders 1988b; (9) Alonso-Herrero et al. 2001; (10) Wang et al. 1991; (11) Young et al. 1988; (12) Stanford et al. 1990; (13) Kenney et al. 1992



**Figure III.6:** *Corrélation entre les tailles CO (ordonnées) et continuum radio (abscisses) d'un échantillon de galaxies observées à haute résolution en CO ( $< 7''$ , cercles pleins) ou observées à basse résolution ( $45''$ , cercles). Les tailles sont les demi-grands axes déconvolués de l'émission CO et radio. La ligne en tiret correspond à la taille infrarouge à  $60 \mu\text{m}$  déduite de la taille continuum radio par la relation  $r_{\text{IR}} = 0,86 r_{\text{radio}}$  tracée dans la figure III.1. Les tailles infrarouges sont proportionnelles à celles de l'émission CO.*

taille.

La galaxie NGC 4038 formant avec NGC 4039 le système des Antennes se trouve aux marges de la corrélation. Cela peut s'expliquer par la différence entre les résolutions angulaires radio ( $\theta_{\text{radio}}^0 = 18''$ ) et CO ( $\theta_{\text{CO}}^0 = 7''$ ) qui amplifie la perturbation spatiale de la région qui s'étend entre les deux noyaux et qui domine en CO (Wilson et al. 2000). La taille angulaire CO de NGC 4038 mesurée cette fois à plus basse résolution dans un lobe de  $45''$  est de  $1'$  (FCRAO, Young et al. 1995), valeur très proche de la taille continuum radio ( $65''$ ). Seule la galaxie Zw 049.057 s'écarte significativement de la corrélation mais peut-être abrite-t-elle un noyau actif enfoui? La ligne en tiret correspond à la taille infrarouge déduite de la relation  $r_{60\mu\text{m}} = 0,86 r_{\text{radio}}$  (équation III.2. Compte tenu de la dispersion des données dans la figure III.6, nous établissons le résultat suivant: **les largeurs à mi-hauteur infrarouge et CO sont équivalentes.**

La taille CO est donc un bon estimateur de la taille de la RFE et c'est la faible quantité de données interférométriques qui nous a amené à la rejeter. Cependant, nous nous servons de l'égalité entre les tailles infrarouge et CO pour interpréter la relation liant la taille de la RFE, la température moyenne des gros grains et la luminosité infrarouge des galaxies sans noyau actif.

## III.2 La relation taille-luminosité-température

Nous avons étudié dans un premier temps empiriquement la dispersion de la relation liant la luminosité infrarouge lointaine et le rapport des couleurs  $R(60/100)$  en incluant un paramètre libre: la taille de la RFE estimée à partir de la taille du continuum radio.

L'échantillon que nous avons défini est issu des relevés VLA des galaxies du BGS à 1,4 GHz de Condon et al. (1990) et Condon et al. (1996). Les galaxies ont été observées en configuration A, B, C et D, ce qui permet une bonne détermination des tailles angulaires pour plus des deux tiers du *Bright Galaxy Sample* et assure que notre échantillon est raisonnablement complet en taille. Nous avons suivi les pas suivants:

– Lorsque plusieurs observations d'une même galaxie étaient disponibles, nous avons retenu celles de plus petite résolution angulaire telles que:

- le flux mesuré soit supérieur au 2/3 du flux total
- la taille angulaire soit supérieure à 1/3 de la résolution angulaire et inférieure

– nous avons rejeté de manière extrêmement conservatrice les galaxies à noyau actif en effectuant un triple filtrage optique, infrarouge et radio:

- optique : rejet des identifications dans le catalogue de Véron-Cetty et Véron (2001).
- infrarouge: rejet des galaxies ayant un rapport  $f_\nu(25\ \mu\text{m})/f_\nu(60\ \mu\text{m}) > 0,2$  (de Grijp et al. 1985)
- radio : rejet des galaxies ayant un rapport infrarouge lointain sur continuum radio au-delà de  $2\sigma$  de la valeur moyenne  $q = \log \frac{f_{\text{FIR}}}{3,75 \cdot 10^{12} f_{1,4\text{GHz}}} = 2.31$  dérivé du PSCzp.

L'échantillon final contient 342 sources dont la taille angulaire du continuum radio est définie. Les caractéristiques principales de l'échantillon comme la luminosité infrarouge, la taille, le rapport  $R(60/100)$  et la température moyenne des gros grains sont présentées dans les histogrammes de la figure III.7.

La figure III.3 présente la variation du rapport  $R(60/100)$  en fonction de la luminosité infrarouge. La dispersion dans cette relation peut s'interpréter par la variation de la densité surfacique infrarouge. En effet, à luminosité infrarouge fixée, la couleur  $R(60/100)$  augmente lorsque la taille diminue. Nous avons effectué une régression linéaire de la réponse de la température moyenne des gros grains étant fixées une taille et une luminosité absorbée:

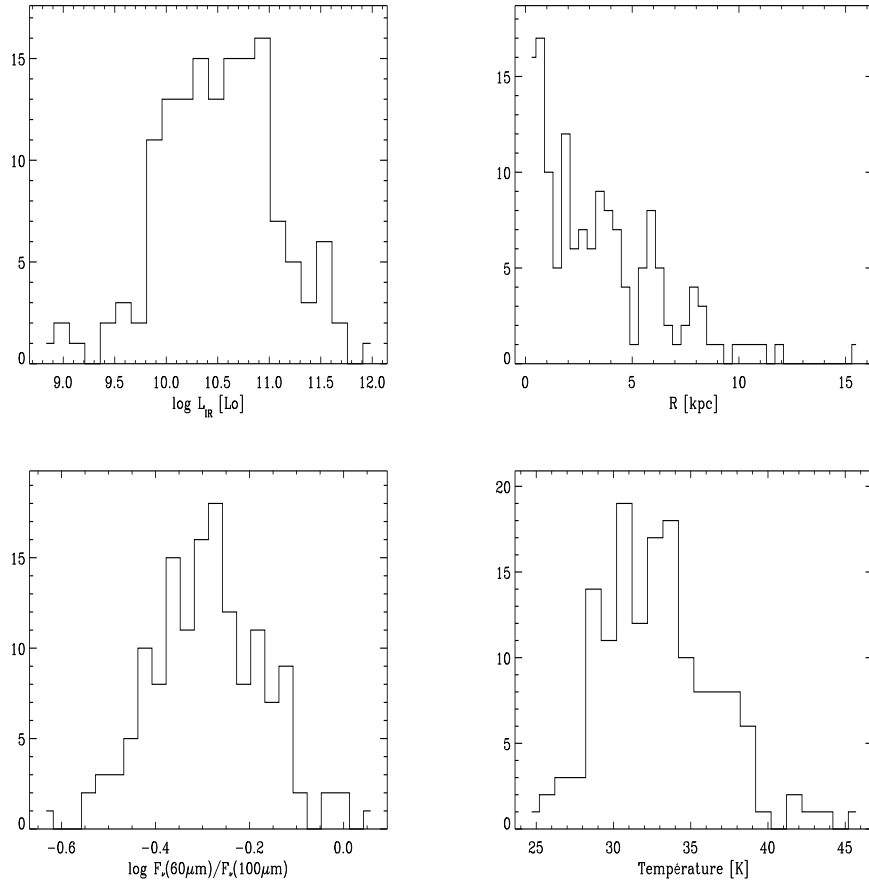
$$R(60/100) = -0,604 + 0,0874 \log \frac{L_{\text{FIR}}}{L_\odot} - 0,173 \log \frac{r_{1,4\text{GHz}}}{1\text{ pc}} \quad (\text{III.3})$$

Nous constatons qu'aux erreurs près (déterminées par la méthode du bootstrap) l'index de taille vaut -2, la relation III.4 est compatible avec une dépendance de la température moyenne des gros grains avec la densité **surfactive** de luminosité infrarouge.

La détermination de la température à partir du rapport  $R(60/100)$  dépend relativement peu de l'index d'émissivité (figure III.8). En supposant une émissivité d'index 1,6 et en utilisant la relation  $r_{\text{IR}} = 0,86 r_{1,4\text{GHz}}$  (équation III.2), nous pouvons exprimer empiriquement la dépendance de la température en fonction de la densité surfacique de luminosité infrarouge lointain:

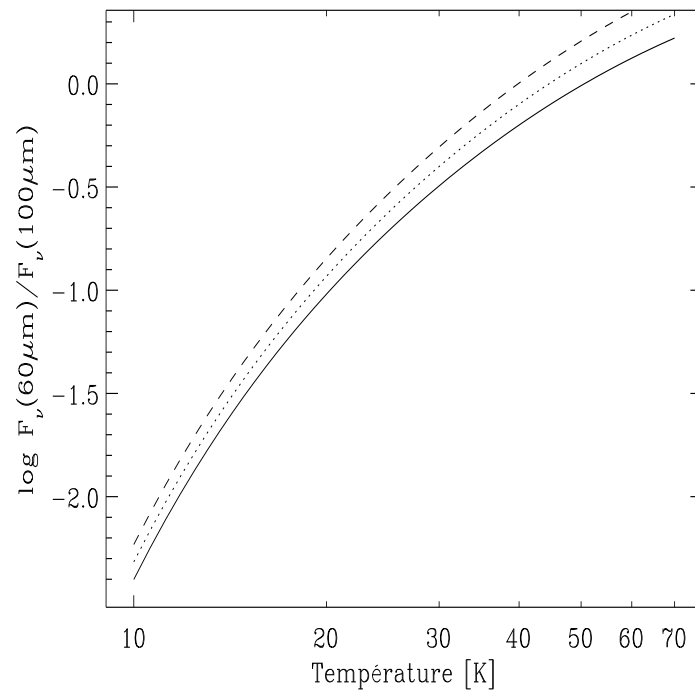
$$\frac{T}{1\text{ K}} = 23,7(0,58) \left( \frac{\frac{1}{2} L_{\text{FIR}} \text{ pc}^2}{\pi r_{\text{IR}}^2 L_\odot} \right)^{0,039(0,02)} \quad (\text{III.4})$$

Le facteur  $\frac{1}{2}$  devant la luminosité infrarouge lointain est introduit pour tenir compte du fait que seule une partie de la luminosité est émise à l'intérieur de la demi-largeur à mi-hauteur  $r_{\text{IR}}$ . En première approximation, ce facteur  $\frac{1}{2}$  est justifié: dans le cas d'une galaxie vue de face, et pour géométrie gaussienne 2D, le rayon de demi-luminosité et la largeur à mi-hauteur sont égaux.



**Figure III.7:** De haut en bas et de gauche à droite: histogramme de la luminosité infrarouge (8-1000  $\mu\text{m}$ ), taille continuum radio réduite d'un facteur 0,86 (d'après la figure III.1), rapport des couleurs IRAS 60  $\mu\text{m}$ /100  $\mu\text{m}$  et la température, pour une émissivité d'index 1,6 pour les galaxies de notre échantillon.





**Figure III.8:** Variation de la couleur  $R(60/100)$  en fonction de la température d'un corps noir d'émissivité 1, 1,5 et 2 (ligne solide, en pointillé et en tiret)

### III.3 Interprétation des paramètres globaux.

Pour interpréter la dépendance de la température moyenne des gros grains en fonction de la taille continuum radio à 1,4 GHz et de la luminosité infrarouge qui sont des paramètres représentatifs de processus agissant à l'échelle de la galaxie, nous allons étudier deux états extrêmes des nuages moléculaires suivant qu'ils sont transparents ou opaques dans l'infrarouge lointain.

Dans la Galaxie, les nuages moléculaires sont transparents dans l'infrarouge lointain, typiquement l'extinction en leur sein est de  $A_V = 1$  mag, soit  $\tau_{100\mu m} = 0,006$  (Mathis 1983). Cependant, les conditions physiques auxquelles les nuages moléculaires sont soumis varient d'une galaxie à une autre. Klaas et al. 2002 et Lisenfeld et al. 2000, en ajustant une unique composante de poussière aux spectres infrarouges de NGC 4418 et de galaxies ultralumineuses, dérivent des profondeurs optiques  $\tau_{100\mu m}$  allant de 1 à 6. La considération d'une unique composante est certes discutable. Toutefois, un ajustement avec deux composantes ne peut rendre compte des observations sans que l'une d'elles ne soit semi-opaque  $\tau_{100\mu m} \simeq 0,5$  (Klaas et al. 2002).

#### III.3.1 Cas opaque dans l'infrarouge lointain.

Dans le cas de nuages moléculaires opaques, nous avons lié les paramètres locaux qui ont trait aux nuages moléculaires (leur taille et leur masse individuelle) avec les paramètres globaux de la RFE (sa taille et sa masse, à l'échelle de la galaxie). Pour y parvenir, nous avons considéré la pression hydrostatique, et utilisé le fait qu'elle gouverne à la fois localement les paramètres caractéristiques des nuages moléculaires et globalement la densité surfacique de gaz.

Soit  $R$  la taille caractéristique de la RFE de masse  $M$  englobant  $N^*$  nuages moléculaires de taille moyenne  $R^*$  et de masse moyenne  $M^* = M/N^*$ .

Chièze (1987), a établi la relation suivante pour un nuage moléculaire uniforme sphérique virialisé dont la surface est soumise à une pression  $P^*$  uniforme:

$$R^* = x_0 M^{*1/2} P^{*-1/4} G^{1/4} \quad (\text{III.5})$$

où  $x_0 = 0,4466$  pour une sphère isotherme. Pour  $N^*$  nuages, il vient:

$$P^* = \frac{x_0^4 M^2 G}{N^{*2} R^{*4}} \quad (\text{III.6})$$

En supposant que les nuages moléculaires sont à l'équilibre hydrostatique avec la composante chaude ionisée du milieu interstellaire (Inoue et Kamaya 2000), cette

pression peut s'écrire de la manière suivante (Dopita 1985, Elmegreen 1989 et Boulares et Cox 1990):

$$P^* \simeq \frac{1}{2} \pi G \Sigma_{\text{gaz}} (\Sigma_{\text{gaz}} + \Sigma_*) \quad (\text{III.7})$$

La densité de masse surfacique totale est dominée par celle des étoiles dans les galaxies spirales  $\Sigma_{\text{gaz}}/\Sigma_{\text{tot}} \simeq 2-10\%$ . Cependant, lorsque la concentration du gaz devient très importante, la masse de gaz peut dominer: une étude interférométrique de la molécule de CO par Kenney et al. (1992) montre que dans la région délimitée par la résonance de Lindblad intérieure de M 101, la molécule d'hydrogène constitue 60% de la masse dynamique. Pour des systèmes plus actifs comme NGC 7469, NGC 6240 et Arp 220, Sanders et al. (1988b), Wang et al. (1991), Scoville et al. (1991) montrent que cette fraction peut être plus importante encore (respectivement 70%, 77% et 90%) dans la région de demi-luminosité CO. Comme nous nous intéressons dans le cas opaque aux concentrations de gaz les plus extrêmes, nous pouvons supposer que  $\Sigma_{\text{gaz}} \gg \Sigma_*$ .

Dans le cas opaque, les nuages moléculaires sont à l'équilibre thermodynamique et émettent comme des corps noirs:

$$L_{\text{IR}} = N^* 4\pi \sigma_{\text{Stephan}} T^4 R^{*2} \quad (\text{III.8})$$

En combinant les équations III.6, III.7 et III.8, nous établissons la relation suivante:

$$\Sigma_{\text{IR}} = \frac{L_{\text{IR}}}{\pi R^2} = 4\sqrt{2\pi} x_0^2 \sigma_{\text{stephan}} T^4 \quad (\text{III.9})$$

Il est remarquable de constater que, du fait de la relation d'échelle gouvernant la taille et la masse des nuages moléculaire, considérer  $N^*$  nuages moléculaires opaques revient presque au même que de considérer un seul nuage moléculaire de même taille que la RFE.

### III.3.2 Cas transparent dans l'infrarouge lointain

Dans le cas mince, l'émission dans l'infrarouge lointain des nuages moléculaires reste, à température fixée, proportionnelle à la masse totale de gaz moléculaire mais ne dépend plus de la pression hydrostatique. Chaque grain de poussière émettant comme un corps noir, nous avons:

$$L_{\text{IR}} \propto M_{\text{poussiere}} T^{4+\beta} \quad (\text{III.10})$$

où  $\beta$  est l'index de l'émissivité.

En se basant sur des observations de la molécule de CO, Sanders et al. 1991 ont ajusté cette relation, aux galaxies du Bright Galaxy Sample et la trouvent compatible avec une loi d'émissivité d'index 1,6 et un rapport constant de l'ordre de 1000 entre la masse de gaz et de poussière :

$$\frac{L_{\text{IR}}}{M} = 4,2 \left( \frac{T}{30\text{K}} \right)^{5,6} L_{\odot} M_{\odot}^{-1} \quad (\text{III.11})$$

La loi de Schmidt d'index 1,4, s'écrit d'après Kennicutt (1998) :

$$\frac{SFR}{\pi R_{\text{gaz}}^2} = 2,5 \cdot 10^{-4} \left( \frac{M}{\pi R_{\text{gaz}}^2} \frac{1 \text{ pc}^2}{1 M_{\odot}} \right)^{1,4} M_{\odot} \text{ yr}^{-1} \text{ kpc}^{-2} \quad (\text{III.12})$$

Nous avons démontré dans la section III.1.4 que les tailles infrarouges et CO, traceur de la molécule  $H_2$  peuvent être considérées comme identiques, aux erreurs d'observation près. Nous avons alors, en supposons que la distribution de l'atome d'hydrogène diffère marginalement de celle de la molécule d'hydrogène:  $R_{\text{gaz}} = R$  où  $R$  est la taille de l'émission infrarouge. En introduisant un facteur de conversion entre la luminosité infrarouge lointaine et le taux de formation d'étoile:

$$\frac{L_{\text{IR}}}{L_{\odot}} = 5,8 \cdot 10^9 \frac{SFR}{1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}} \quad (\text{III.13})$$

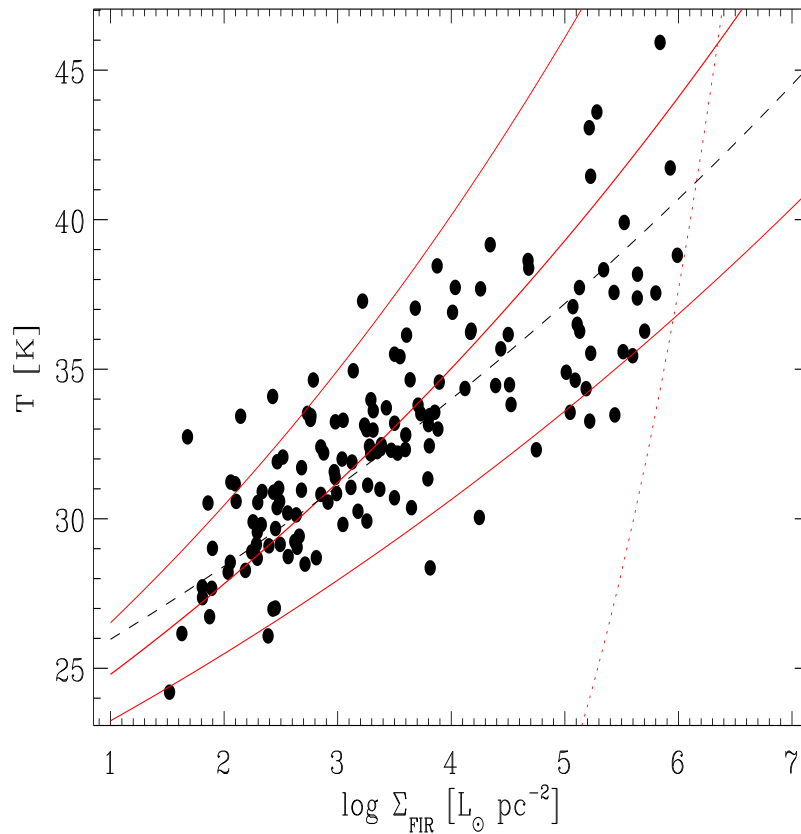
et en injectant l'équation III.12, l'équation III.11 devient:

$$\frac{T}{1\text{K}} = 22,1 \pm 0,9 \left( \frac{\Sigma_{\text{IR}}}{L_{\odot} \text{ pc}^{-2}} \right)^{0,050 \pm 0,013} \quad (\text{III.14})$$

La variation de la température ainsi obtenue dans le cas de nuages moléculaires transparents dans l'infrarouge lointain est présentée dans la figure III.9 et se trouve en accord avec celle suivie par notre échantillon de galaxies issues du Bright Galaxy Sample. Nous notons cependant qu'à faible densité surfacique infrarouge, le modèle sous-estime la température efficace des gros grains. Vraisemblablement, c'est la composante chaude des cirrus interstellaires, sous-estimée par les observations radio (Mayya et Rengarajan 1997), qui se manifeste et qui peut constituer une fraction non négligeable de l'émission infrarouge des galaxies normales.

Le modèle opaque suit la ligne en tiret de la figure III.9 et constitue une barrière à la densité surfacique infrarouge et fournit une explication simple à ce seuil discuté par Meurer et al. (1997). Ces derniers, l'estiment à  $2,010^5 L_{\odot} \text{ pc}^{-2}$  en considérant le quantile à 90% de la distribution de leurs échantillons. Cette valeur est

cohérente avec notre modèle opaque. Ainsi, les galaxies de notre échantillon sont pour la plupart transparentes dans l'infrarouges mais les galaxies les plus actives sont vraisemblablement semi-opaques. Notre échantillon ne contient qu'une seule galaxie ultralumineuse dans l'infrarouge. Mener une telle étude sur un échantillon de galaxies ultralumineuses pourrait se révéler très intéressant.



**Figure III.9:** Variation de la température en fonction de la densité surfacique de luminosité infrarouge lointain pour notre échantillon extrait du *Bright Galaxy Sample*. La ligne solide épaisse en rouge correspond au modèle dans le cas transparent dans l'infrarouge lointain (relation III.14). Ses valeurs limites sont encadrées par les fines lignes rouges. Le cas opaque est représenté en pointillés rouges (relation III.9). Ces trois lignes définissent un domaine compatible avec les données observationnelles. Enfin, la ligne noire en tiret indique la relation empirique III.4 que nous avons établie dans la section III.2.

### III.4 Conclusion

Afin d'étudier la relation liant la luminosité infrarouge, la taille de la région de formation d'étoiles et la température effective des gros grains, nous nous sommes affranchis des tailles infrarouges en montrant qu'il est possible de les estimer à partir des tailles du continuum radio à 1,4 GHz, ces premières étant difficiles à obtenir observationnellement à la différence des secondes. Nous avons confirmé pour notre échantillon de galaxies sans noyau actif, qu'à luminosité infrarouge fixée, la température *moyenne* des gros grains augmente lorsque la taille diminue et que cela explique la dispersion dans la relation entre la luminosité infrarouge et la couleur R(60/100). Intuitivement, ce comportement n'est pas surprenant et résulte de l'augmentation du champ de radiation interstellaire avec la compacité de la région de formation d'étoiles. Nous avons démontré empiriquement que les tailles CO et infrarouges des galaxies sans noyau actif sont identiques, ce qui nous a permis de déduire simplement la relation liant les trois paramètres globaux. En particulier, cette relation constitue ainsi une nouvelle validation de la loi de Schmidt.

# Chapitre IV

## Stardust-2

---

<b>IV.1 Le modèle infrarouge</b> . . . . .	<b>83</b>
IV.1.1 Le continuum à $4\mu\text{m}$ . . . . .	84
IV.1.2 Les bandes aromatiques en émission . . . . .	86
IV.1.3 Les très petits grains . . . . .	87
IV.1.4 Les corrélations infrarouges . . . . .	90
<b>IV.2 Le modèle radio</b> . . . . .	<b>95</b>
<b>IV.3 Le modèle optique</b> . . . . .	<b>97</b>
IV.3.1 Les limites du modèle de l'ellipsoïde oblat . . . . .	98
IV.3.2 Les limites de la méthode dite de Calzetti . . . . .	102
IV.3.3 Paramétrisation empirique de l'atténuation à $2000\text{Å}$ . . . . .	106
IV.3.4 L'atténuation sur tout le spectre . . . . .	109

---

### IV.1 Le modèle infrarouge

Comme nous l'avons vu dans la partie introductive, chaque composante de la poussière possède une gamme uniforme de taille et de température. Cependant, une telle description nécessite la connaissance des distributions conjointes de la composition chimique, de la taille et de la température des grains, ce qui est pour le moment difficilement contraint pour la Voie Lactée et a fortiori pour les galaxies locales et distantes. Nous avons donc adopté une approche simplificatrice qui a l'avantage de décrire les agents de l'émission infrarouge dans leur grandes lignes. Nous avons étendu le modèle de Désert et al. (1990) qui contient trois composantes (PAH, très petits grains et les gros grains) en faisant l'hypothèse que l'émission infrarouge est due à cinq composantes:

- continuum à  $4\ \mu\text{m}$
- bandes infrarouges non-identifiées (UIB)
- très petits grains (VSG)
- gros grains (BG)
- gros grains froids (CBG)

Le satellite ISO avait à son bord trois spectromètres dans le moyen infrarouge. Pour notre étude, nous avons utilisé de façon complémentaire des données provenant de chacun d'eux:

– le “Circular Variable Filter” (CVF, Cesarsky et al. 1996a): monté dans l'instrument ISOCAM couvrant le spectre moyen infrarouge (MIR) de  $5\ \mu\text{m}$  à  $16\ \mu\text{m}$  et possédant une basse résolution  $\lambda/\Delta\lambda = 40$ .

– le spectromètre (PHOT-S, Lemke et al. 1996): opérant entre  $2,5\text{--}4,9\ \mu\text{m}$  et  $5,9\text{--}11,7\ \mu\text{m}$ , de moyenne résolution ( $\lambda/\Delta\lambda = 120$ ).

– le “Short Wavelength Spectrometer” (de Graauw et al. 1996) de domaine d'observation plus large ( $2\text{--}45\ \mu\text{m}$ ) et de haute résolution  $\lambda/\Delta\lambda = 1000$ . Cependant, sa sensibilité est bien moindre que les deux précédents spectromètres et de ce fait, nous ne disposons que d'un échantillon réduit de galaxies brillantes et proches observées par SWS.

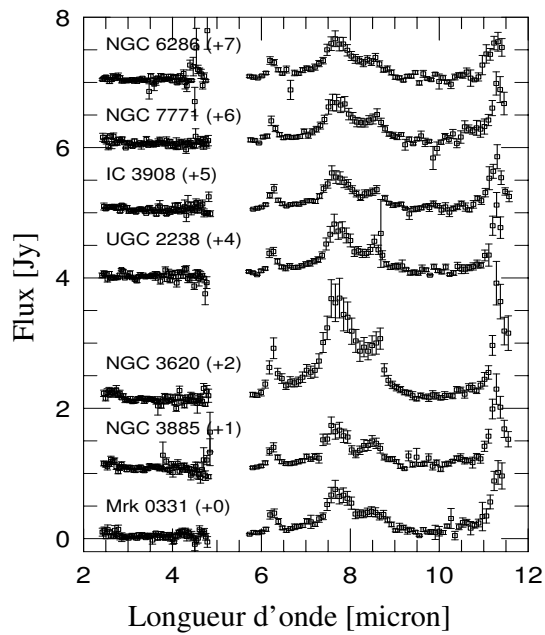
C'est la combinaison de ces trois instruments qui nous permettra de faire la part entre l'émission du continuum à  $4\ \mu\text{m}$ , des bandes aromatiques et des très petits grains au-delà de  $10\ \mu\text{m}$  et d'ainsi paramétrer l'émission MIR.

### IV.1.1 Le continuum à $4\ \mu\text{m}$ .

Helou et al. (2000) ont étudié les spectres PHOT-S de 28 galaxies sans noyau actif choisies aléatoirement dans l'échantillon *ISO Key Project*. Celui-ci, bien qu'incomplet, est représentatif de la diversité de ces galaxies: tous les types morphologiques étant représentés, la luminosité infrarouge variant entre  $10^{-7,9}$  et  $10^{12,0} L_{\odot}$ , le rapport des couleurs IRAS  $R(60/100) = \log f_{\nu}(60\ \mu\text{m})/f_{\nu}(100\ \mu\text{m})$  entre -0,52 et 0,08 et celui de la luminosité infrarouge sur bleue entre 0,1 et 100.

Les auteurs concluent à l'universalité de la distribution d'énergie des galaxies sans noyau actif dans la gamme de longueur d'onde  $3\text{--}11,7\ \mu\text{m}$ . La figure IV.1 illustre cela pour sept galaxies de faible taille angulaire par rapport à l'ouverture de PHOT-S. Nous confirmerons ces résultats dans la gamme  $5\text{--}10\ \mu\text{m}$ . Au delà de  $10\ \mu\text{m}$ , nous verrons que l'émission des très petits grains devient manifeste.



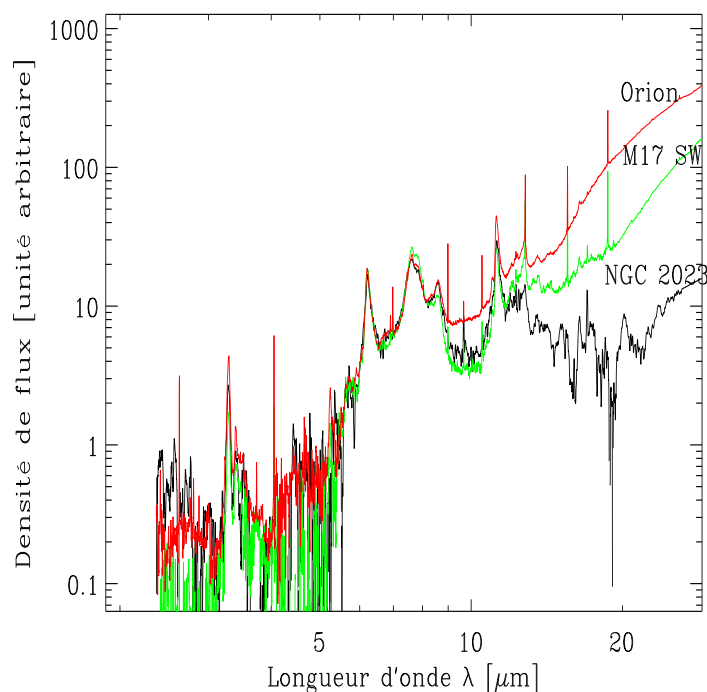


**Figure IV.1:** Spectres moyen infrarouge observés par PHOT-S de sept galaxies sans noyau actif. L'abscisse représente la longueur d'onde au repos et l'ordonnée la densité de flux en Jansky, décalée verticalement par une constante fournie à droite du nom de la galaxie. La figure est extraite de l'article Helou et al. (2000)

Les auteurs montrent par extrapolation que l'émission du continuum entre 3 et  $13\mu\text{m}$  est significative. Elle représente 35% du flux dans ce domaine de longueur d'onde ou 6% de la luminosité infrarouge totale entre  $3\mu\text{m}$ , et  $1\text{mm}$  (pour des luminosités infrarouge lointain de l'ordre de  $10^{10} L_{\odot}$ ) et est sous-estimée de plusieurs ordres de grandeur par le modèle de Désert et al. (1990). En outre, elle suit une loi de puissance  $f_{\nu} \propto \nu^{+0,65(0,15)}$ . Nous avons suivi ces prescriptions pour notre modèle infrarouge.

Ce continuum à  $4\mu\text{m}$  ne peut pas provenir de photosphères d'étoiles de la séquence principale car celles-ci suivent une loi de puissance  $f_{\nu} \propto \nu^{+2,5}$  d'après les travaux de Madden et al. (1997) et Boselli et al. (1997) sur des galaxies elliptiques. Dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas totalement exclu que ce continuum soit émis par des étoiles super-géantes rouges ou celles de la branche asymptotique. Il n'est pas non plus impossible qu'il soit la manifestation d'une nouvelle composante de la poussière. Cependant, la corrélation positive entre les densités de flux du continuum à  $4\mu\text{m}$  et dans les UIBs favorise l'hypothèse de très petits grains chauffés stochastiquement qui seraient le prolongement naturel des porteurs des UIBs dans les petites tailles.

#### IV.1.2 Les bandes aromatiques en émission



**Figure IV.2:** *Distribution d'énergie spectrale de nébuleuses par réflexion*

Plusieurs techniques ont été employées pour séparer l'émission des bandes aromatiques et celles des très petits grains. La plus courante est de prendre pour référence un spectre provenant d'une région de photo-dissociation peu affectée par les petits grains (par exemple: Xu et al. 1998, Laurent et al. 2001). Cette méthode est justifiée par les travaux de Uchida et al. (2000) qui ont montré que le rapport entre les flux des bandes à 6,2, 7,7, 8,6, 11,3 varie peu pour un échantillon de nébuleuses galactiques soumis à des champs radiatifs dont l'intensité s'étend sur plus de trois ordres de grandeurs et dont la dureté est fixée par des étoiles excitatrices de température efficaces de 3600–19000K. Cependant, la situation est moins claire pour le plateau à 10  $\mu\text{m}$  et les bandes à 12,7  $\mu\text{m}$  et au-delà. Nous avons adapté la méthode de Verstraete et al. (2001), à savoir une décomposition d'un spectre générique d'UIBs en 26 lorentziennes que nous avons ajustées à deux galaxies, trois nébuleuses par réflexion et une région active de formation d'étoiles (figure IV.3) en ajoutant une composante de très petits grains modélisée par un corps gris d'émissivité libre mais commune aux 6 objets. La distribution d'énergie spectrale synthétisée des UIB résultant de cet ajustement est présentée dans la figure IV.4. Nous trouvons pour une valeur de 2,15(0,12) pour l'émissivité du corps gris des très petits grains que nous avons supposé commune aux 6 spectres. La figure IV.5 présente la décomposition détaillée de la distribution d'énergie spectrale de la nébuleuse M17.

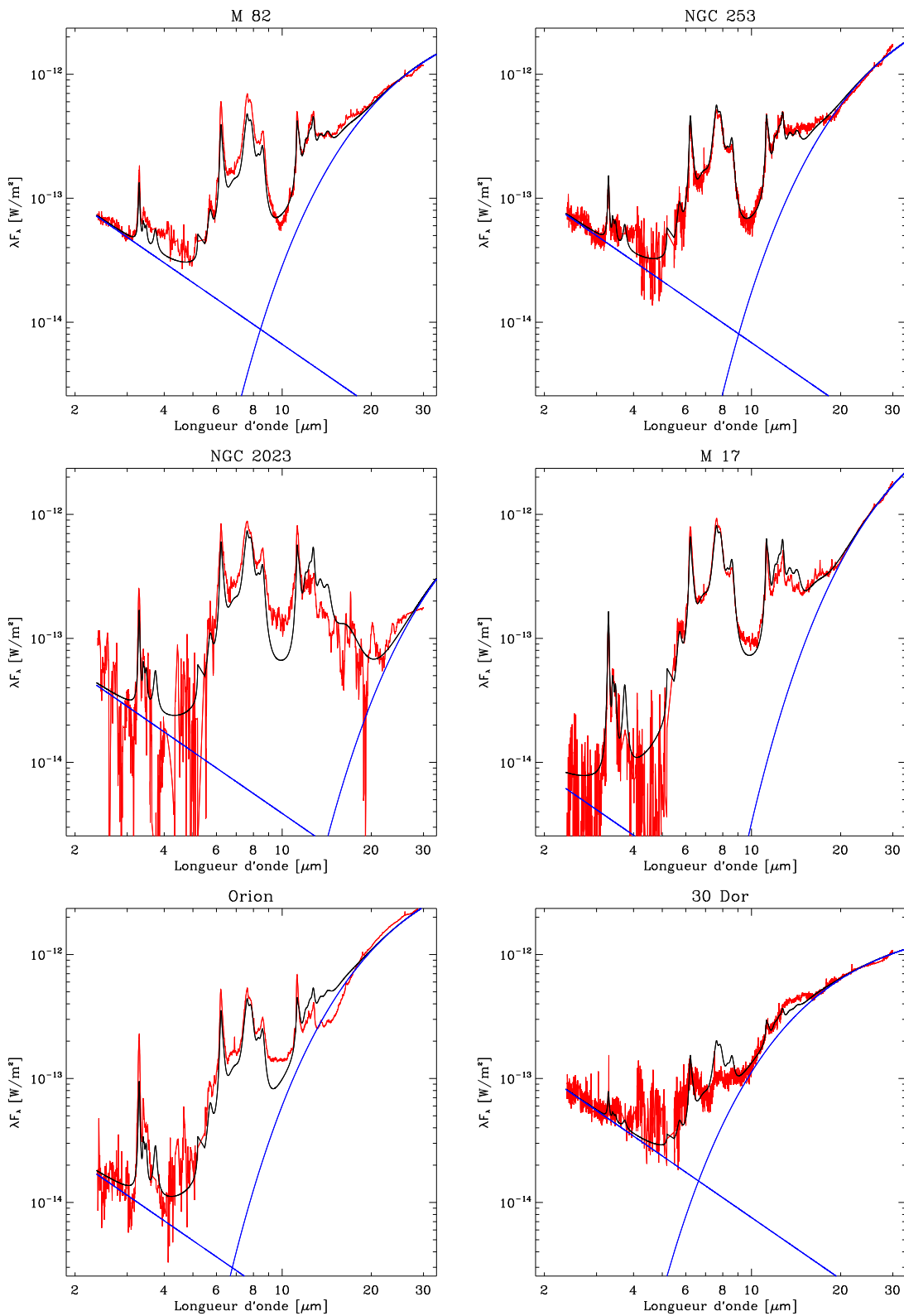
### IV.1.3 Les très petits grains

Pour caractériser l'émission des très petits grains pour des longueurs d'ondes inférieures à 18  $\mu\text{m}$ ., nous avons étudié l'échantillon de spectres CVF-CAMACTIV (Laurent et al. 2001). Nous n'avons retenu que les galaxies détectées par IRAS à 12 et 25  $\mu\text{m}$  et ne présentant pas de noyau actif. Ces galaxies sont présentées dans le tableau IV.1. Une correction d'ouverture a été appliquée aux flux à 25  $\mu\text{m}$  lorsque la densité de flux IRAS à 12  $\mu\text{m}$  était supérieure à celle du spectre CVF intégrée dans cette même bande en prenant:

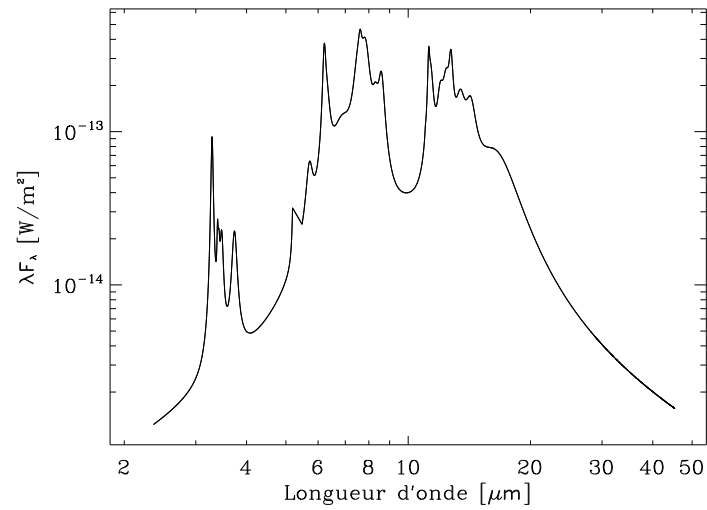
$$f_{\nu}(25 \mu\text{m}) = f_{\nu}^{\text{IRAS}}(25 \mu\text{m}) \frac{f_{\nu}^{\text{CVF}}(12 \mu\text{m})}{f_{\nu}^{\text{IRAS}}(12 \mu\text{m})} \quad (\text{IV.1})$$

Cela revient à faire l'hypothèse que les fractions des densités de flux concentrées dans le champ de la CVF sont les mêmes à 12 et 25  $\mu\text{m}$ . Wynn-Williams et Becklin (1993) ont vérifié cette hypothèse pour des galaxies lumineuses en infrarouge en définissant la compacité par le rapport des densités de flux dans une ouverture fixe et celles d'IRAS et en établissant une corrélation de pente 1 entre les compacités à 12 et 25  $\mu\text{m}$ .

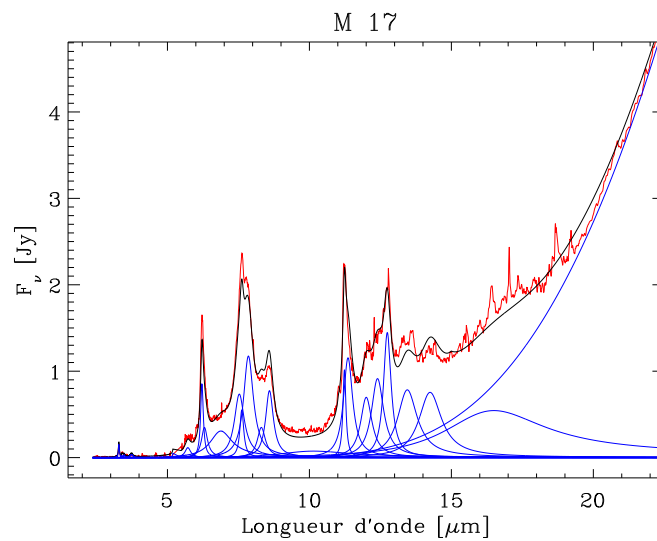
La composante des très petits grains a été modélisée par un corps gris d'émissivité  $\beta$  et de température  $T_{VSG}$ . Les données ne permettant pas d'ajuster simultanément l'émissivité et la température, nous avons pris  $\beta = 2,16$ , valeur obtenue dans la section précédente lors de l'ajustement des spectres SWS. Pour chacune des galaxies



**Figure IV.3:** Ajustement des spectres SWS de deux galaxies à flambées d'étoiles (M82 et NGC253), de trois nébuleuses par réflexion (NGC2023, M17 et Orion) et d'une région de formation d'étoile très intense dans le grand nuage de Magellan (30Dor).



**Figure IV.4:** Spectre générique des bandes infrarouges non-identifiées.



**Figure IV.5:** Décomposition du spectre moyen infrarouge de la nébuleuse M17 par une combinaison linéaire de lorentziennes, d'un continuum et d'un corps noir modifié par une émissivité d'index 2,15

CVF-CAMACTIV, nous avons ajusté sur le spectre CVF adjoint de la densité de flux à  $25\ \mu\text{m}$ , une combinaison linéaire d'un corps gris de température variable et du spectre synthétique des UIBs déterminé dans la section précédente (figure IV.4). Ces ajustements sont présentés dans la figure IV.6.

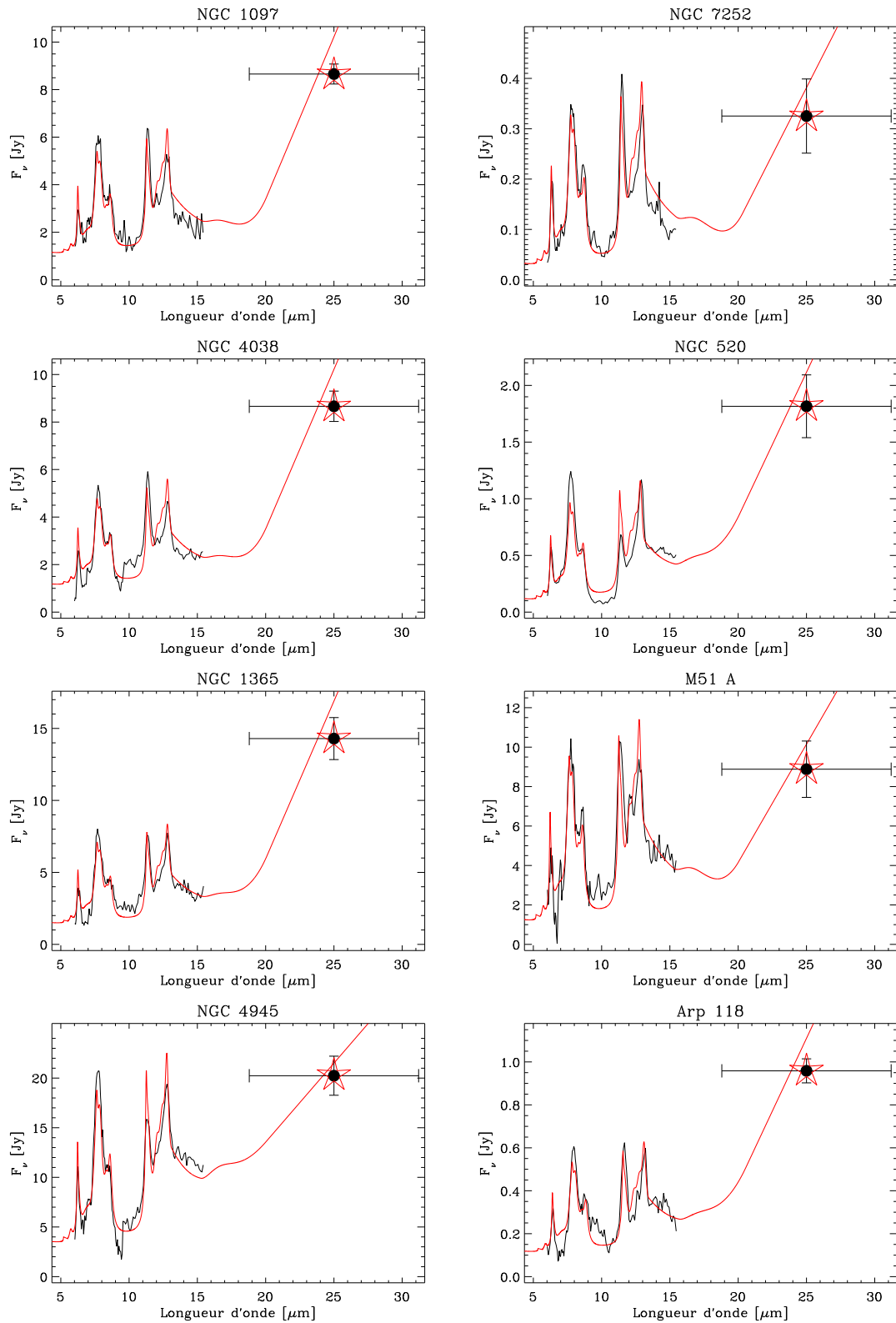
Nous avons ainsi pu déterminer pour chacune des galaxies de l'échantillon CVF-CAMACTIV la contribution relative des UIBs par rapport aux très petits grains ainsi que la température des très petits grains (figure IV.7 de gauche) en fonction de  $R(12-15/6-9)$ , rapport entre les flux  $6-9\ \mu\text{m}$  et  $12-15\ \mu\text{m}$ . Ainsi, il est possible de paramétrer l'émission normalisée moyen infrarouge ( $5 < \lambda < 18\ \mu\text{m}$ ) avec la seule couleur  $R(12-15/6-9)$ : à chaque valeur est associée une température des très petits grains et une contribution relative des UIBs et des VSGs. Par la suite, nous avons converti la couleur  $R(12-15/6-9)$  en rapport  $R(LW3/LW2)$  des filtres ISOCAM afin de relier facilement la modélisation moyen infrarouge au rapport  $R(60/100)$  à l'aide de la corrélation IRAS/ISOCAM en bandes larges (figure IV.8 en haut à gauche, Vigroux et al. 1999, Dale et al. 2000)

**Tableau IV.1:** Echantillon de galaxies observées par CVF-CAMACTIV

Nom	Morphologie	Distance [Mpc]	$L_{\text{FIR}}$ [ $L_{\odot}$ ]	$R(60/100)$
M 83	SABc	5,04	$1,8\ 10^{10}$	-0,38
M 51 A	SABc pec	8,26	$2,1\ 10^{10}$	-0,43
NGC 253	SABc	3,21	$2,3\ 10^{10}$	-0,27
NGC 1097	SBb	15,6	$2,5\ 10^{10}$	-0,28
M 82	I0	3,37	$2,8\ 10^{10}$	0,005
NGC 1808	SABb	11,6	$2,8\ 10^{10}$	-0,11
NGC 7252	SA(r)	66,9	$4,4\ 10^{10}$	-0,25
NGC 4945	SBcd:	5,57	$4,8\ 10^{10}$	-0,38
NGC 520	Paire	29,9	$5,8\ 10^{10}$	-0,17
NGC 1365	SBb	17,9	$6,5\ 10^{10}$	-0,22
NGC 4038	SBm pec	27,4	$8,1\ 10^{10}$	-0,23
Arp 118	Paire	125	$2,2\ 10^{11}$	-0,34
Arp 236	Paire	86,3	$3,4\ 10^{11}$	-0,14
NGC 6240	I0: pec	109	$5,2\ 10^{11}$	-0,057
IRAS 23128-5919	Mergeur	195	$8,5\ 10^{11}$	0,026
Mrk 171	Paire	48,6	$5,0\ 10^{11}$	-0,022
Arp 220	S?	83,1	$1,5\ 10^{12}$	-0,053

#### IV.1.4 Les corrélations infrarouges

Nous avons construit une famille de spectres normalisés paramétrés par un unique paramètre: la couleur  $R(60/100)$ . Ce paramètre est fréquemment utilisé pour



**Figure IV.6:** Décomposition de la distribution d'énergie spectrale de l'échantillon CVF-CAMACTIV par un spectre générique d'UIBs et d'un corps noir modifié de température variable et d'émissivité fixe 2,15. Les étoiles rouges correspondent à la densité de flux du spectre synthétique intégrée dans la bande IRAS à 25  $\mu\text{m}$  et les cercles noirs à celles provenant des observations IRAS.

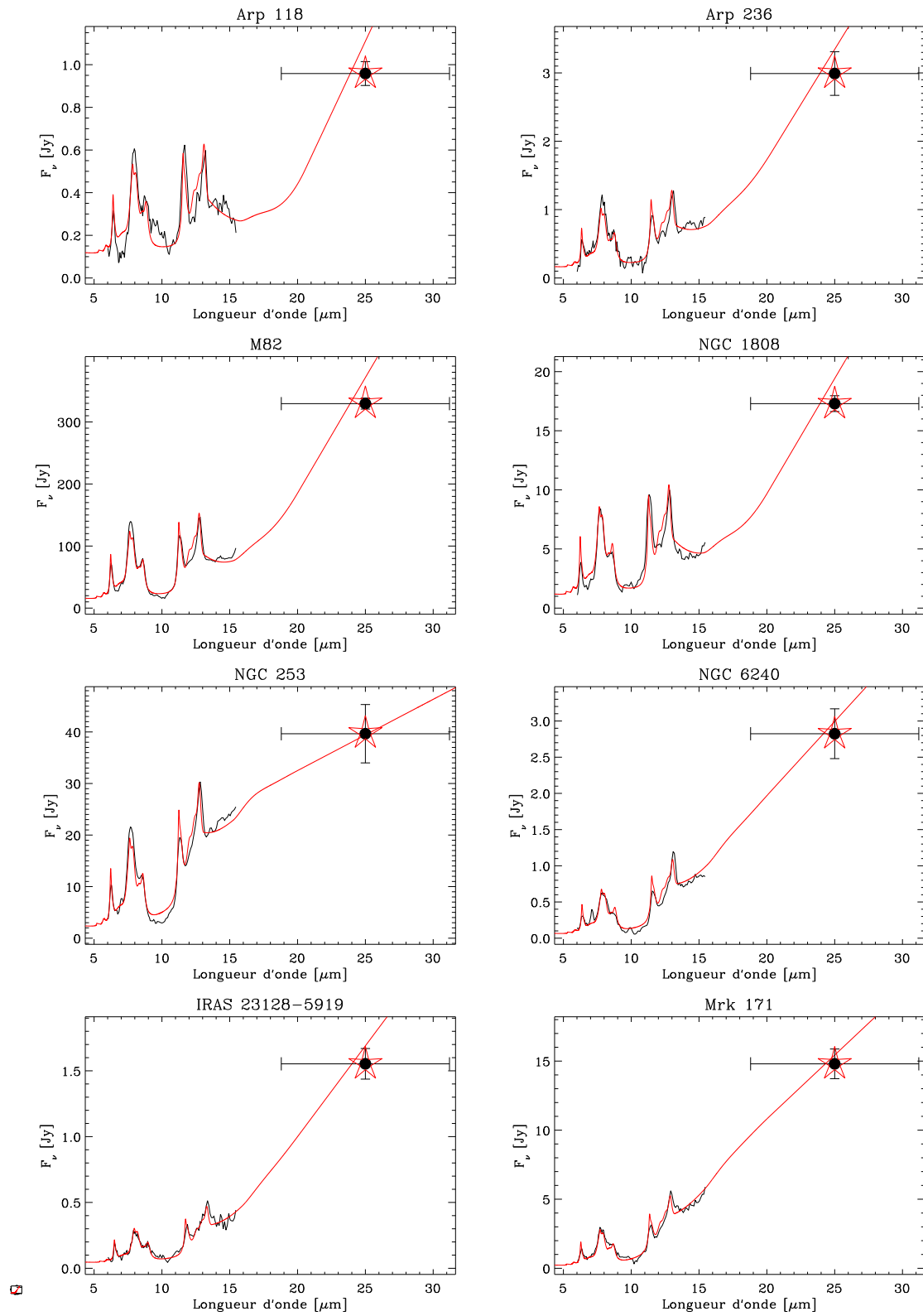
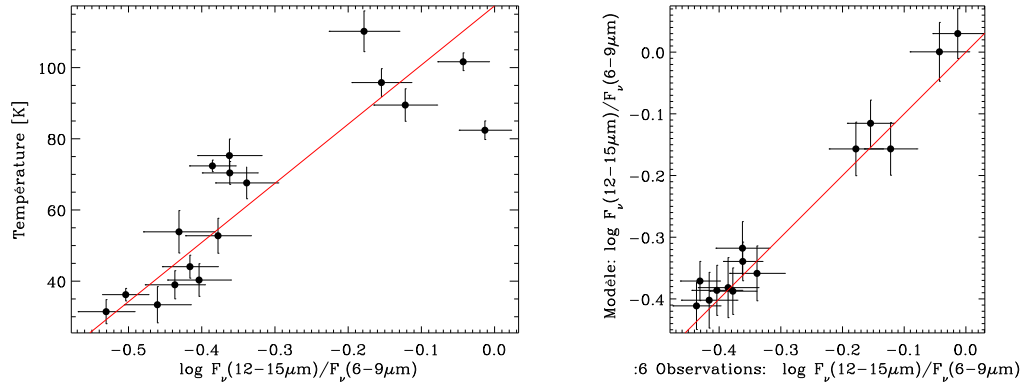


Figure IV.6: (suite)





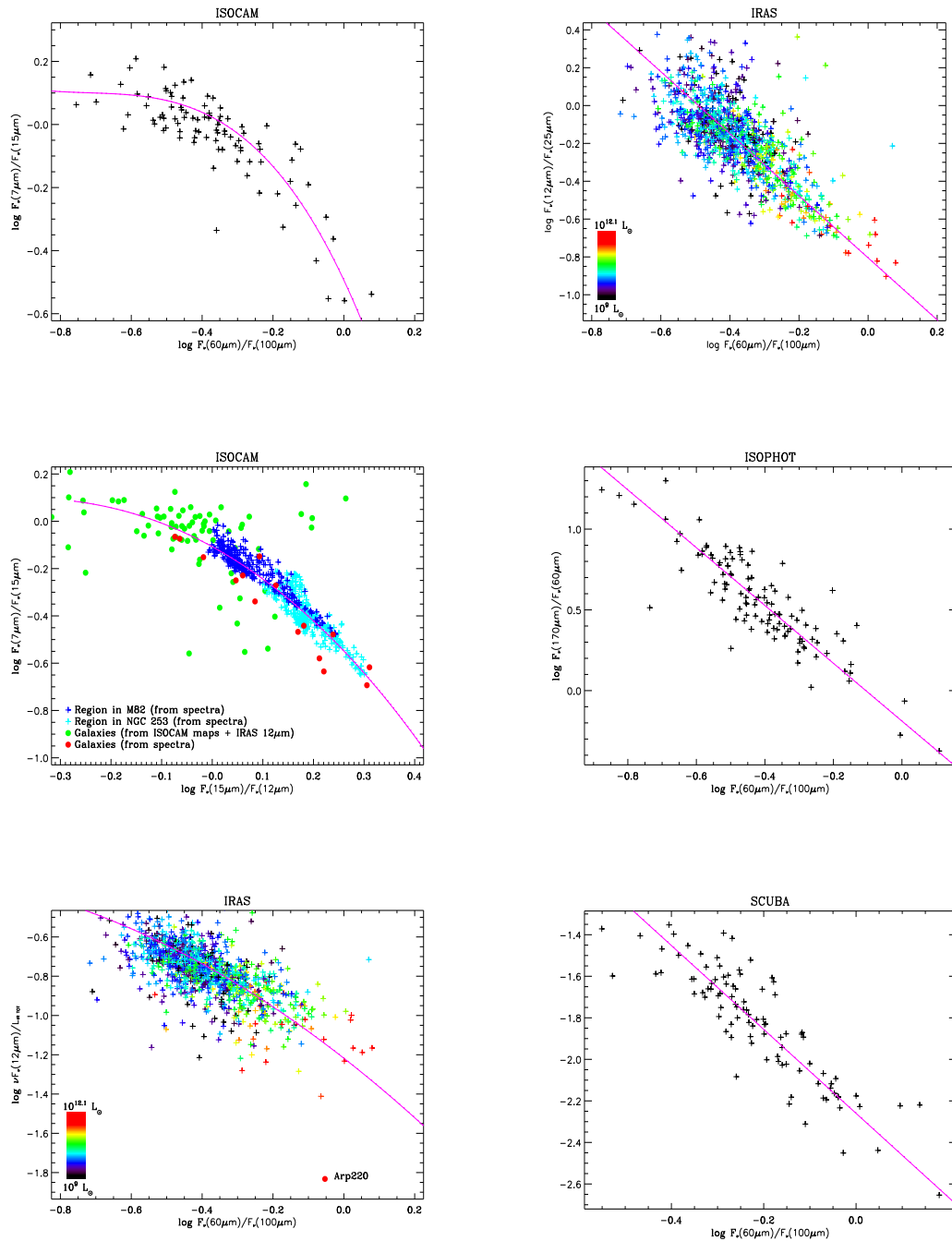
**Figure IV.7:** à gauche, température du corps gris d'émissivité 2,15 ajustée sur l'échantillon CVF-CAMACTIV; à droite, comparaison entre les couleurs 12-15 μm et 6-9 μm observées et ajustées.

estimer la température de corps noir des grains responsables de la majorité de l'émission dans l'infrarouge lointain. Nous appellerons cette température la température effective des gros grains. Notre choix de prendre pour paramètre cette température au lieu de la luminosité infrarouge comme c'est fréquemment le cas dans les modèles empiriques actuels est motivé par les raisons suivantes:

- les relations couleur-couleur ne sont pas affectées par les d'incertitudes liées à la distance au contraire des relations luminosité-luminosité pour lesquelles ces incertitudes biaisent la relation vers une pente d'index 1.
- cette température effective, que nous avons introduite au chapitre 3 est un indicateur de la densité de lumineuse infrarouge et par conséquent de l'activité de la galaxie.
- il existe de galaxies chaudes comme M 82 ou les galaxies naines qui sont peu lumineuses en infrarouge et des galaxies froides très lumineuses voire ultralumineuses en infrarouge (Krause et al. 2003, CFRS 14.1139). Ces galaxies s'écartent des relations moyennes luminosité-luminosité.

Ces raisons expliquent pourquoi les corrélations couleur-couleur sont moins dispersées que les relations couleur-luminosité ou luminosité-luminosité.

Les corrélations couleur-couleur présentées dans la figure IV.8 nous ont permis de contraintes les composantes des gros grains et des très gros grains modélisées par des corps noirs d'émissivité 2 et de température variant entre 25 et 60 K pour la première et 15-25 pour la seconde. Le code de couleur indique la luminosité infrarouge lointaine, et met en évidence la dégénérescence entre  $L_{\text{FIR}}$  et la couleur 60/100 μm . La figure IV.8b montre la dispersion entre les flux infrarouges moyens IRAS et ISOCAM, problème que nous avons traité dans la précédente partie. La figure IV.9



**Figure IV.8:** *Corrélations couleur-couleur infrarouges et sub-millimétrique. Les lignes solides correspondent aux valeurs imposées pour le modèle infrarouge.*

a : échantillon ISOCAM. Le modèle suit la ligne magenta.

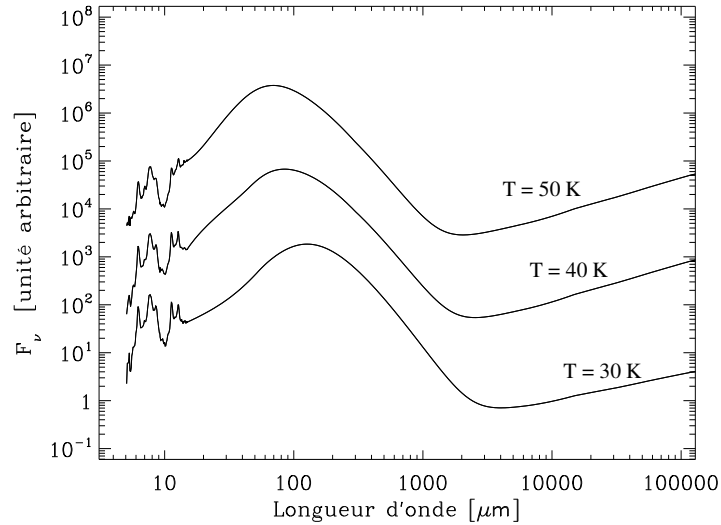
b : Comparaison entre les densités de flux infrarouge moyen IRAS et ISOCAM.

c&d : Données issues du PSCz (Saunders et al. 2000).

e : Echantillon ISOPHOT (Stickel et al. 2000)

f : Echantillon SCUBA (Dunne et al. 2000)

montre l'évolution de la distribution d'énergie spectrale lorsque la température effective des gros grains augmente, c'est-à-dire lorsque l'activité de formation stellaire devient plus forte. Avec celle-ci, le pic d'émission dans l'infrarouge lointain se déplace vers les plus courtes longueurs d'ondes et la contribution des UIBs à l'émission moyen infrarouge diminue.



**Figure IV.9:** Variation des spectres synthétiques infrarouges en fonction de la température effective des gros grains. Les spectres ont été multiplié par un facteur arbitraire.

## IV.2 Le modèle radio

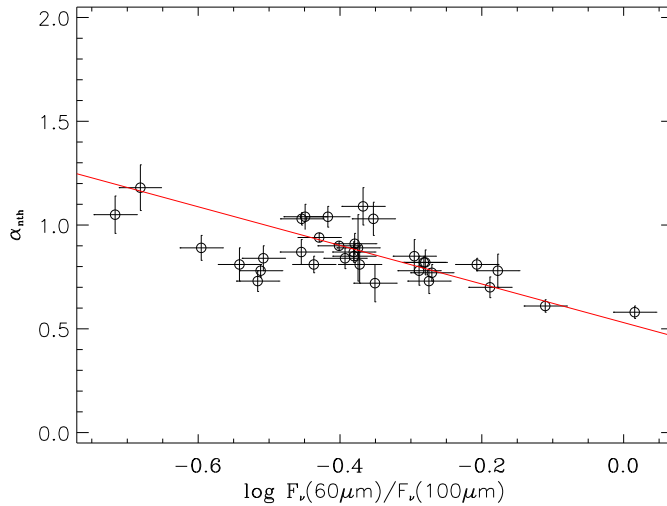
L'émission radio d'une galaxie sans noyau actif se décompose en un rayonnement thermique provenant des électrons des régions HII subissant un effet bremsstrahlung et du rayonnement non-thermique synchrotron des rayons cosmiques provenant soit localement des restes de supernovæ, soit du disque et du halo de la galaxie de façon diffuse. Ces trois composantes ont des index spectraux différents (définis par  $F_\nu \propto \nu^{-\alpha}$ ) et la forme du spectre radio total est affectée par la contribution relative de chacune de ces composantes. L'émission thermique présente un spectre plat d'indice spectral  $\alpha_{\text{th}} = 0,1$ . Celui des supernovæ vaut en moyenne  $\alpha_{\text{SNR}} = 0,5$  (Green 1998) et le dernier indice qui est plus pentu,  $\alpha_{\text{nth}} = 0,5 - 1,1$ . Il n'existe pas de consensus pour expliquer la forme de l'émission radio d'une galaxie sans noyau actif. Celle-ci est régie par la contribution des supernovæ, par le type de propagation des rayons cosmiques (diffusion ou convection), par leur perte d'énergie (synchrotron, effet Compton inverse, perte adiabatique ou bremsstrahlung) et de façon cruciale, par leur confinement éventuel dans la galaxie.

Pour notre modélisation, nous allons négliger la contribution des restes de supernovæ comme l'ont fait Niklas et al. (1997) et adopter la décomposition qu'ils ont utilisée sur le continuum radio (400MHz–10.7GHz) de 74 galaxies:

$$\frac{F_\nu}{F_{1\text{GHz}}} = f_{\text{th}} \left( \frac{\nu}{1\text{GHz}} \right)^{-0,1} + (1 - f_{\text{th}}) \left( \frac{\nu}{1\text{GHz}} \right)^{-\alpha_{\text{nth}}} \quad (\text{IV.2})$$

où  $f_{\text{th}}$  représente la fraction de la densité de flux à 1GHz provenant du rayonnement thermique.

Les auteurs trouvent une valeur moyenne de la contribution thermique à 1GHz  $\langle f_{\text{th}} \rangle = 0,07 \pm 0,01$  et comme indice spectral non-thermique  $\langle \alpha_{\text{nth}} \rangle = 0,85 \pm 0,02$ . Ce dernier, selon Niklas et Beck (1997) est en contradiction avec celui ( $\simeq 1,0 - -1,1$ ) donné asymptotiquement par le modèle calorimétrique de confinement des rayons cosmiques (Völk 1989, Lisenfeld et al. 1996). A la suite de cela, Lisenfeld et Völk (2000) ont introduit la composante radio des restes de supernovæ, d'indice plus plat, tout en conservant l'hypothèse d'un confinement partiel des rayons cosmiques et ont évalué à 10% du flux radio total cette contribution. Cependant, leur modèle ne permet pas de reproduire des galaxies de spectre très plat, comme M 82 ( $\alpha_{\text{nth}} = 0,6$ ). Si l'on ne se fie pas au modèle calorimétrique, la valeur de 10% peut être prise comme une limite supérieure de la contribution des restes de supernovæ, justifiant la décomposition donnée par l'équation IV.2.



**Figure IV.10:** Variation de l'indice spectral non-thermique  $\alpha_{\text{nth}}$  en fonction de la couleur IRAS  $R(60/100)$  pour les galaxies de l'échantillon de Niklas et Beck (1997). Les galaxies les plus chaudes ont les indices spectraux les plus plats. La ligne solide rouge correspond à l'ajustement employé pour Stardust-2.

La fraction de rayonnement thermique n'est pas corrélée à la luminosité infrarouge

ni à la couleur  $R(60/100)$ . Nous avons donc adopté la valeur moyenne  $\langle f_{th} \rangle$  de l'échantillon de Niklas et Beck (1997). Par contre, nous avons mis en évidence une dépendance de l'indice spectral non-thermique  $\alpha_{nth}$  en fonction de la couleur  $R(60/100)$ , que nous avons ajusté par la méthode de la bissectrice (figure IV.10):

$$\alpha_{nth} = 0,53(0,02) - 0,93(0,08)R(60/100) \quad (IV.3)$$

Cette relation est cohérente avec le résultat de Niklas et al. (1997) selon lequel  $\alpha_{nth}$  est plus faible lorsque la galaxie est de type irrégulière. Dans le cadre des modèles partiellement calorimétriques, cela signifie que les galaxies les plus actives localement ont tendance à moins confiner les rayons cosmiques et ces derniers à moins perdre leur énergie.

### IV.3 Le modèle optique

Pour connaître la distribution d'énergie spectrale intrinsèque (c.-à-d. non-absorbée par la poussière) des étoiles d'une galaxie à un moment donné, il faut faire appel à deux modélisations: d'une part, celle du suivi évolutif de la matière, à savoir la transformation du gaz en étoiles et son recyclage, et d'autre part celle des spectres d'émission des étoiles. Nous ne nous traiterons pas de ces deux aspects, car notre étude reprend les travaux de Devriendt et al. (1999) (STARDUST-1), si ce n'est pour rappeler que les distributions d'énergie spectrales non-éteintes peuvent être déterminées par la donnée de quatre paramètres de base, respectivement la masse de gaz initiale, le temps écoulé depuis le début de la flambée d'étoiles, le temps caractéristique de formation stellaire et un facteur de concentration du gaz.

Une difficulté sous-jacente à ce jeu de paramètres est que le facteur de concentration n'est pas relié à des observables, ce qui amène Devriendt et al. (2000) et Devriendt et Guiderdoni (2000) à adopter des valeurs discrètes en partie arbitraires pour les galaxies normales, lumineuses et ultralumineuses en infrarouge. En conséquence, notre travail a consisté dans un premier temps à relier ce facteur de concentration à deux observables: la masse de gaz disponible et la taille de la RFE (Région de Formation d'Étoiles). Cela nous a conduit à modifier le jeu de paramètres de base en supprimant le facteur de concentration au profit de la taille caractéristique de la RFE. Dans un deuxième temps, afin de reproduire au plus près les observations, nous avons adopté une approche empirique pour déterminer l'atténuation de la lumière stellaire par la poussière, car, comme nous allons le voir dans la section suivante, la modélisation de l'atténuation adoptée par Stardust-1 se trouve en défaut dans le cas des galaxies actives en formation d'étoiles.

### IV.3.1 Les limites du modèle de l'ellipsoïde oblat

Afin de calculer la quantité de lumière stellaire absorbée par la poussière, les auteurs de STARDUST-1 ont fait l'hypothèse que les étoiles et la poussière sont uniformément réparties dans un ellipsoïde aplati (Városi et Dwek 1999). Ils paramétrisent l'atténuation à l'aide d'un chemin optique efficace qu'ils écrivent de la manière suivante:

$$\tau_\lambda(t) = \left( \frac{A_\lambda}{A_V} \right)_{\text{Mathis}} \left( \frac{Z_{\text{gaz}}(t)}{Z_\odot} \right)^s \left( \frac{\langle N_{\text{H}}(t) \rangle}{2,1 \cdot 10^{21} \text{ at cm}^{-2}} \right), \quad (\text{IV.4})$$

où  $Z_{\text{gaz}}$  est la métallicité du gaz disponible,  $s=1,6$  et  $\langle N_{\text{H}}(t) \rangle$  la densité de colonne d'atomes d'hydrogène tenant compte de la présence d'hélium. Celle-ci est exprimée en fonction de la fraction de gaz disponible et du facteur de concentration.

De façon à tester l'atténuation prédite par STARDUST-1, nous avons exprimé la densité de colonne moyenne d'hydrogène en fonction de la masse de gaz disponible  $M_{\text{gaz}}(t)$  et de la taille  $R$  de la RFE:

$$\langle N_{\text{H}}(t) \rangle = \frac{M_{\text{gaz}}(t)}{\pi R^2} \quad (\text{IV.5})$$

Il est alors possible de calculer l'atténuation de la lumière stellaire par la poussière à partir du chemin optique efficace en bande V, pourvu que la quantité de gaz, la taille et la métallicité de la RFE soit disponible:

$$\tau_V = \frac{1}{2,1 \cdot 10^{21} \text{ at cm}^{-2}} \left( \frac{Z_{\text{gaz}}}{Z_\odot} \right)^s \left( \frac{M_{\text{gaz}}}{\pi R^2} \right) \quad (\text{IV.6})$$

. Nous avons vu dans le chapitre 2 que la taille continuum radio à 1,4 GHz est un bon indicateur de la taille infrarouge et est par conséquent caractéristique de la taille de la RFE. Nous avons donc construit un sous-échantillon constitué de galaxies résolues en radio à partir de l'échantillon observé dans l'UV par le satellite IUE et étudié dans l'article de Calzetti et al. (1994). Cet échantillon est présenté dans le tableau IV.2. Pour chacune de ces galaxies, il est possible de calculer le chemin optique efficace  $\tau_V$  à partir des tailles angulaires continuum radio et d'observations de la molécule de CO puis d'en déduire l'atténuation donnée par STARDUST-1. Parallèlement, l'excès de couleur  $E(\text{B-V})$  du continuum stellaire de ces galaxies a été calibré sur cet échantillon à partir de l'excès de couleur  $E(\text{B-V})_{\text{gaz}}$  du gaz (Calzetti et al. 1994, 2000) disponible pour notre échantillon.

Les masses de gaz moléculaire ont été calculées en prenant le coefficient de conversion standard  $X = N(\text{H}_2)/I_{\text{CO}} = 2,3 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-2} (\text{K km s}^{-1})^{-1}$ , :

$$M_{\text{gaz}} = M(\text{H}_2 + \text{He}) = 1,22 \cdot 10^4 F_{\text{CO}} D_{\text{Mpc}}^2 (1+z)^{-1} M_\odot \quad (\text{IV.7})$$

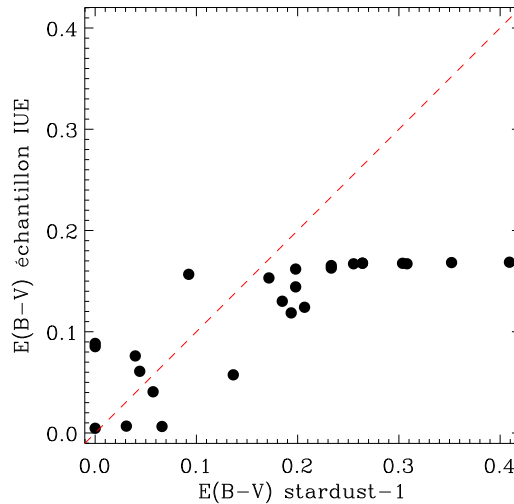
où  $F_{\text{CO}}$  est le flux exprimé en  $\text{Jy km s}^{-1}$  intégré spatialement et en vitesse,  $D_{\text{Mpc}}$  la distance en Mpc et  $z$  le décalage spectral.

**Tableau IV.2:** Echantillon de galaxies observées par IUE et résolues en radio

nom (1)	$D$ (2)	$Z$ (3)	$E(\text{B-V})_{\text{gaz}}$ (4)	$\theta_{\text{radio}}$ (5)	$L_{\text{FIR}}$ (6)	$M(\text{H}_2)$ (7)	$\tau_V$ (8)	$A(2000 \text{ \AA})$ (9)
Haro 15	91,7	8,57	0,00	23,8 <sup>a</sup>	25,4	< 0,3 <sup>f</sup>	0,03	0,0
IC 214	121	8,68	0,53	12,0 <sup>b</sup>	175	25,8 <sup>g</sup>	8,5	1,9
NGC 1140	19,6	8,51	0,10	32,7 <sup>a</sup>	2,6	0,36 <sup>h</sup>	0,41	0,4
NGC 1569	4,7	8,37	0,07	71,3 <sup>a</sup>	2,3	0,02 <sup>i</sup>	0,05	0,2
NGC 1614	67	8,84	0,93	2,1 <sup>b</sup>	305	15,9 <sup>i</sup>	805	3,4
NGC 3049	19,6	8,90	0,31	48,6 <sup>a</sup>	2,3	0,30 <sup>h</sup>	0,39	1,1
NGC 3125	14,3	8,36	0,13	31,8 <sup>a</sup>	2,1	0,17 <sup>h</sup>	0,27	0,5
NGC 3256	36,6	8,82	0,60	16,0 <sup>c</sup>	268	16,5 <sup>h</sup>	46,1	2,2
NGC 4194	42,2	8,81	0,80	4,1 <sup>d</sup>	82,5	3,9 <sup>i</sup>	119	2,9
NGC 4385	36,1	8,65	0,58	4,3 <sup>d</sup>	12,7	1,11 <sup>i</sup>	30,2	2,1
Mrk 66	95	8,39	0,00	8,6 <sup>d</sup>	10,6	1,15 <sup>h</sup>	0,62	0,0
NGC 5253	3,1	8,39	0,00	24,0 <sup>e</sup>	0,6	< 0,01 <sup>j</sup>	0,65	0,0
UGC 9560	24,8	8,42	0,15	58,5 <sup>a</sup>	1,1	0,26 <sup>h</sup>	0,05	0,5
NGC 5860	83,2	9,24	0,69	6,3 <sup>d</sup>	29,4	4,7 <sup>h</sup>	43,7	2,5
NGC 5996	52	8,93	0,47	33,3 <sup>a</sup>	26,9	2,9 <sup>k</sup>	1,2	1,7
NGC 6052	72,5	8,61	0,21	14,8 <sup>d</sup>	79,4	8,2 <sup>l</sup>	4,2	0,8
NGC 6090	134	8,77	0,60	6,5 <sup>d</sup>	257	43,8 <sup>i</sup>	49,8	2,2
NGC 6217	25,7	8,98	0,53	31,2 <sup>a</sup>	16,9	6,8 <sup>i</sup>	14,6	1,9
Mrk 499	113	8,47	0,45	7,1 <sup>d</sup>	42,9	11,1 <sup>h</sup>	7,33	1,6
NGC 7250	21,1	8,65	0,09	34,8 <sup>a</sup>	3,1	0,44 <sup>h</sup>	0,53	0,3
NGC 7496	21,6	8,89	0,45	36,0 <sup>c</sup>	9,8	1,15 <sup>h</sup>	2,1	1,6
NGC 7552	21,2	9,03	0,70	30,0 <sup>e</sup>	67,9	8,0 <sup>m</sup>	30,8	2,5
NGC 7673	51,4	8,48	0,42	17,0 <sup>b</sup>	29,1	2,4 <sup>h</sup>	1,4	1,5
NGC 7714	39,8	8,71	0,39	19,0 <sup>a</sup>	35,9	2,5 <sup>i</sup>	3,3	1,4
NGC 7793	3	8,64	0,44	127,0 <sup>a</sup>	0,5	0,25 <sup>h</sup>	1,1	1,6

COLONNES - (2) Distance (Mpc); (3) métallicité ( $\log(0/H) + 12$ ); (4) excès de couleur du gaz; (5) grand axe déconvolué de l'émission du continuum radio à 1,4 GHz ("); (6) luminosité infrarouge lointaine d'après la formule de Helou et al. (1988) ( $10^9 L_{\odot}$ ); (7) masse de gaz moléculaire ( $10^9 M_{\odot}$ ); (8) chemin optique efficace en bande V; (9) atténuation à 2000 Å (mag).

RÉFÉRENCES - (a) Relevé NVSS, Condon et al. 1998; (b) Condon et al. (1990); (c) Condon et al. (1996); (d) relevé FIRST, Becker et al. 1995; (e) Condon et al. (1987); (f) Frayer et al. (1998); (g) Gao et Solomon (1999); (h) masse de gaz moléculaire dérivée de la luminosité infrarouge et de la température efficace des gros grains (cf. équation III.11, Sanders et al. 1991); (i) relevé FCRAO, Young et al. (1995); (j) Meiers et al. (2002); (k) Zhu et al. (1999); (l) Sage et al. (1993); (m) Aalto et al. (1995).



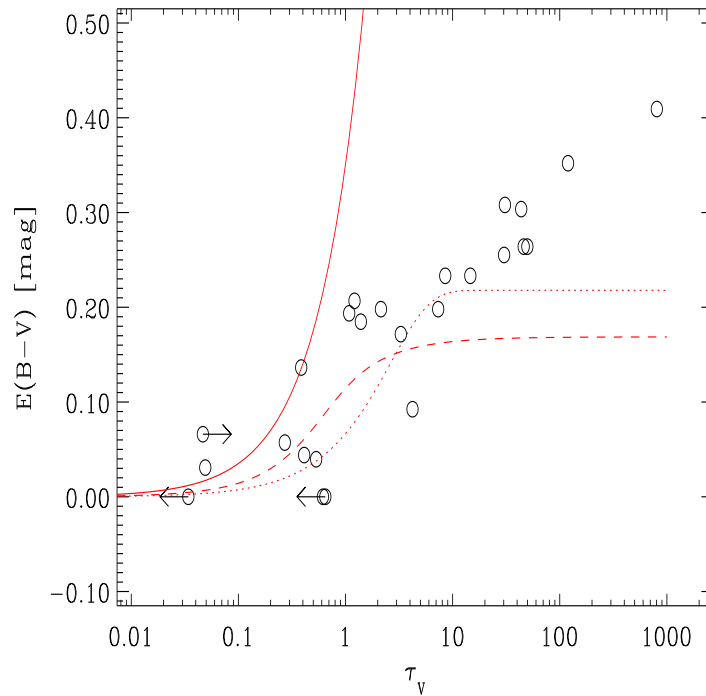
**Figure IV.11:** Comparaison du rougissement  $E(B-V)$  prédit par STARDUST-1 (abscisses) et du rougissement observé par IUE (ordonnées). Le rougissement déduit par Stardust-1 sous-estime le rougissement de plus d'un facteur 2 pour les galaxies les plus éteintes.

La figure IV.11 compare l'excès de couleur  $E(B-V)$  prédit par STARDUST-1 à celui dérivé de l'excès de couleur du gaz observé. Il apparaît clairement que pour les galaxies normales, STARDUST-1 reproduit correctement les observations, mais que pour les galaxies les plus éteintes, l'excès de couleur est sous-estimé de plus d'un facteur 2. Du fait de la géométrie adoptée, c.-à-d. une distribution de la poussière et des étoiles uniforme (cf. figure I.10 du chapitre introductif), STARDUST-1 ne permet pas de rougir fortement une distribution d'énergie spectrale pour des  $\tau_V$  élevés. Un autre angle d'attaque est fourni par l'étude de la variation du rougissement du continuum stellaire en fonction du chemin optique efficace, présentée dans la figure IV.12. Nous remarquons l'étroite corrélation entre le rougissement du continuum stellaire et le chemin optique efficace. Celle-ci montre que les processus physiques d'atténuation opérant à l'échelle locale des nuages moléculaires sont gouvernés par les paramètres globaux que sont la taille de la RFE et la masse totale de gaz disponible. Il s'ensuit que l'existence d'une telle corrélation établit la pertinence du jeu de variables d'entrée de STARDUST-2. Au delà d'un certain seuil, l'étroite corrélation que nous avons mise à jour entre ces deux quantités n'est ni reproduite par un modèle de géométrie d'écran (trait plein) ou uniforme (trait en pointillé) ni par STARDUST-1 (trait en tiret).

Il est possible d'interpréter ces résultats de la manière suivante: dans le cas des galaxies faiblement éteintes, les principales sources d'émission de lumière sont des étoiles suffisamment âgées pour s'être échappées du nuage moléculaire dans lequel elles sont nées. L'absorption de leur lumière est alors le fait du milieu interstellaire et



l'hypothèse de géométrie uniforme est justifiée, ce qui se vérifie sur la figure IV.12. Par contre, dans le cas des galaxies à flambées d'étoiles, une partie non-négligeable des étoiles jeunes est encore enveloppée dans les nuages moléculaires, ce qui va à l'encontre d'une géométrie uniforme.



**Figure IV.12:** Relation entre le chemin optique efficace en bande  $V$  et le rougissement  $E(B-V)$  du continuum stellaire dérivé par la méthode dite de Calzetti pour les galaxies de l'échantillon IUE. Les lignes en trait plein, pointillé et en tiret correspondent à un modèle d'écran, uniforme et STARDUST-1 respectivement. Le rougissement est étroitement lié au chemin optique efficace.

Il est tentant de paramétrer empiriquement le rougissement du continuum stellaire en fonction du chemin optique efficace dont la corrélation étroite est présentée dans la figure IV.12. Cependant, de tels rougissements n'ont été calibrés (Calzetti et al. 1994, 2000) que sur les galaxies à flambées d'étoiles observées par IUE qui constituent notre échantillon. La section suivante montre que la méthode utilisée par Calzetti et al. (1994), visant à déduire un rougissement à partir de l'excès de couleur  $E(B-V)_{\text{gaz}}$  du gaz, n'est pas adéquate pour les galaxies plus modérées.

### IV.3.2 Les limites de la méthode dite de Calzetti

La méthode dite de Calzetti, que nous avons utilisée dans la section précédente, permet de déduire une atténuation à partir de l'excès de couleur  $E(B-V)_{\text{gaz}}$  du gaz et elle repose sur trois hypothèses. La première consiste à établir un facteur de proportionnalité constant entre le rougissement du continuum stellaire  $E(B-V)$  et l'excès de couleur du gaz, généralement déterminé à partir du décrement de Balmer:

$$E(B - V) = 0,44 E(B - V)_{\text{gaz}} \quad (\text{IV.8})$$

La deuxième hypothèse est faite sur le rapport  $R_V = A_V / (A_B - A_V)$  qui à une atténuation différentielle (l'excès de couleur  $E(B-V) = A_B - A_V$ ) fait correspondre une atténuation absolue. Celui a été fixé à  $4,88 \pm 0,98$  par Calzetti (1997) puis recalibré à  $4,05 \pm 0,80$  par Calzetti et al. (2000). La troisième hypothèse repose sur la validité de la loi d'atténuation de Calzetti.

Afin de tester la validité de la relation entre le chemin optique efficace et le rougissement du continuum stellaire pour des galaxies plus modérées, nous avons construit un sous-échantillon de galaxies résolues en radio à partir de l'échantillon utilisé dans l'article de Buat et al. (2002) en recherchant dans la littérature des tailles angulaires radio et des observations de la molécule de CO, tout comme nous l'avons fait pour l'échantillon IUE. Par souci de clarté, nous conserverons pour notre sous-échantillon l'appellation SFG (*Star Forming Galaxies*) donnée par Buat et al. (2002). Le tableau IV.3 rassemble les données relatives à cet échantillon.

La figure IV.13 ajoute aux galaxies de l'échantillon IUE déjà représentées dans la figure IV.12 (cercles) celles de l'échantillon SFG (ronds). Celles-ci ne suivent pas la relation liant le rougissement et le chemin optique efficace des galaxies IUE. Cela signifie que soit cette relation soit la dérivation du rougissement du continuum stellaire à partir de celui du gaz (hypothèse 1 de la méthode de Calzetti, équation IV.8) ne tient pas pour les galaxies modérées.

Buat et al. (2002) ont montré que pour de nombreuses galaxies issues de l'échantillon SFG, l'estimation de l'atténuation UV par la méthode de Calzetti est incorrecte. La figure IV.14 compare les atténuations des échantillons SFG et IUE dérivées par la méthode de Calzetti et par celle du rapport du flux infrarouge lointain et UV. Cette dernière méthode (Buat et al. 1999, Gordon et al. 2000), bien qu'elle ne permette pas de déterminer l'atténuation à partir de données uniquement optiques, est très fiable car elle découle du bilan énergétique entre l'émission UV et infrarouge lointain.

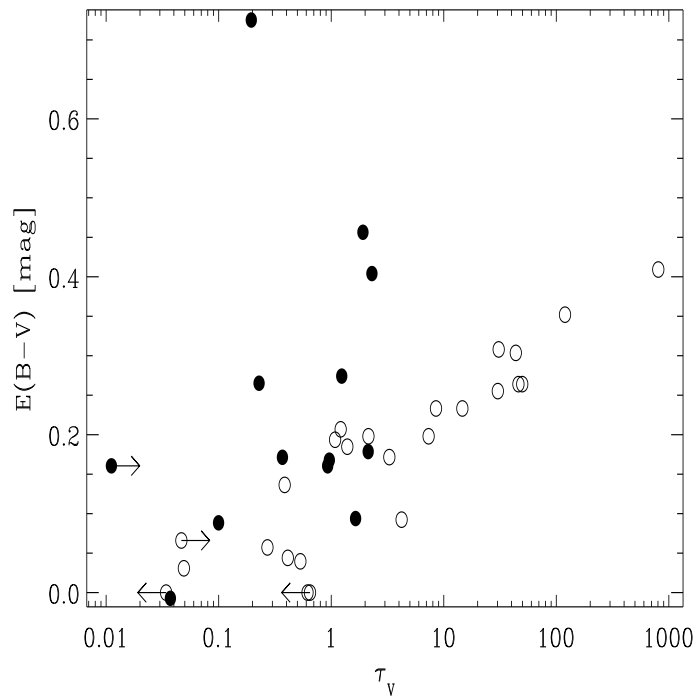
Comme il n'existe pas d'autre méthode permettant de déterminer le rougissement des galaxies normales ou modérées, nous allons étudier dans la section suivante leur atténuation UV qui, elle, peut être mesurée.

**Tableau IV.3:** Echantillon de galaxies SFG résolues en radio

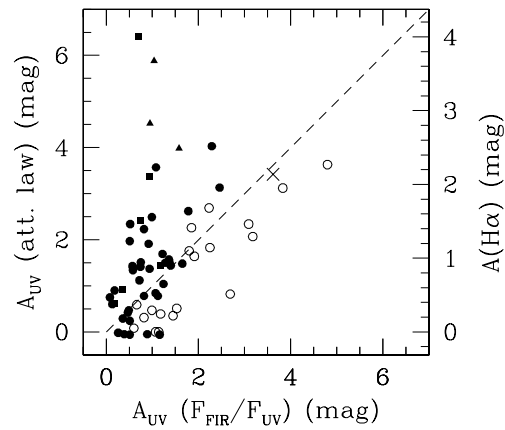
nom	$D$	$E(B-V)_{\text{gaz}}$	$\theta_{\text{radio}}$	$L_{\text{FIR}}$	$M(\text{H}_2)$	$\tau_V$	$A(2000 \text{ \AA})$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
VCC 66	17	0,16	127,0 <sup>a</sup>	1,53	0,06 <sup>d</sup>	0,01	0,57
VCC 89	32	0,17	87,1 <sup>a</sup>	7,50	3,12 <sup>e</sup>	0,37	0,75
VCC 92	17	0,27	28,1 <sup>a</sup>	4,96	0,31 <sup>f</sup>	1,24	0,74
VCC 307	17	0,18	125,0 <sup>a</sup>	20,70	10,60 <sup>e</sup>	2,13	1,36
VCC 483	17	0,00	85,4 <sup>a</sup>	4,85	8,25 <sup>e</sup>	3,59	1,58
VCC 596	17	0,00	168,0 <sup>b</sup>	15,30	11,80 <sup>e</sup>	1,32	1,03
VCC 801	17	0,09	24,7 <sup>a</sup>	3,94	0,32 <sup>e</sup>	1,65	1,07
VCC 836	17	0,17	29,5 <sup>a</sup>	4,96	0,26 <sup>d</sup>	0,96	1,66
VCC 873	17	0,46	60,6 <sup>a</sup>	3,60	2,22 <sup>e</sup>	1,91	2,29
VCC 1205	17	0,26	52,6 <sup>a</sup>	0,99	0,20 <sup>f</sup>	0,23	0,53
VCC 1450	17	0,00	52,2 <sup>a</sup>	0,90	0,03 <sup>d</sup>	0,04	0,52
VCC 1554	17	0,09	61,8 <sup>a</sup>	4,42	0,12 <sup>f</sup>	0,10	0,83
VCC 1555	17	0,72	300,0 <sup>c</sup>	7,01	5,54 <sup>e</sup>	0,19	0,71
VCC 2058	17	0,40	58,7 <sup>a</sup>	2,17	2,50 <sup>e</sup>	2,30	1,09
CGCG 100004	17	0,16	64,9 <sup>a</sup>	3,43	1,23 <sup>e</sup>	0,93	0,74

COLONNES - (2) Distance (Mpc); (3) excès de couleur du gaz; (4) grand axe déconvolué de l'émission du continuum radio à 1,4 GHz ( $''$ ); (5) luminosité infrarouge lointaine d'après la formule de Helou et al. (1988) ( $10^9 L_{\odot}$ ); (6) masse de gaz moléculaire ( $10^9 M_{\odot}$ ); (7) chemin optique efficace en bande V; (8) atténuation à 2000 Å(mag).

RÉFÉRENCES - (a) Relevé NVSS, Condon et al. 1998; (b) Condon et al. (1990); (c) Condon et al. (1987); (d) Boselli et al. (1995); (e) Relevé FCRAO, Young et al. (1995); (f) Boselli et al. (2002).



**Figure IV.13:** Relation entre le chemin optique efficace en bande V et le rougissement  $E(B-V)$  du continuum stellaire dérivé par la méthode dite de Calzetti. A la différence des galaxies de l'échantillon IUE (par des cercles), celles de l'échantillon SFG sont très dispersées (par des ronds).



**Figure IV.14:** *Comparaison entre la méthode de Calzetti et du rapport de flux*

Comparaison entre l'atténuation à  $2000 \text{ \AA}$  de galaxies actives en formation d'étoiles dérivée par la méthode dite de Calzetti (ordonnée) et par le rapport  $F_{UV}/F_{FIR}$  (abscisses). Les échantillons SFG et IUE sont représentés par des symboles pleins et des cercles respectivement. M82 est caractérisé par une croix. Cette figure est tirée de Buat et al. (2002). La méthode consistant à calculer l'atténuation UV par la méthode dite de Calzetti est mise en défaut pour l'échantillon SFG.

### IV.3.3 Paramétrisation empirique de l'atténuation à 2000 Å

Nous venons de voir que la méthode de Calzetti permet, à partir du rougissement du gaz et d'une loi d'atténuation empirique, de rendre compte de l'atténuation des galaxies à flambées d'étoiles, mais pas des galaxies moins actives (Bell et Kennicutt 2001, Buat et al. 2002). A contrario, la méthode du rapport de flux UV et infrarouge lointain calibré par Buat et al. 2002 sous-estime celles des galaxies plus actives (Buat et al. 2002). Les deux méthodes ayant requis une calibration adaptée à la spécificité de l'échantillon étudié, nous allons conserver les deux méthodes de détermination de l'atténuation UV pour les échantillons IUE et SFG.

Pour l'échantillon de galaxie SFG, nous calculons l'atténuation UV à 2000 Å d'après Buat et al. (1999):

$$A_{UV} = 0,466 + \log \frac{F_{FIR}}{F_{2000}} + 0,433 \log^2 \frac{F_{FIR}}{F_{2000}} \quad (IV.9)$$

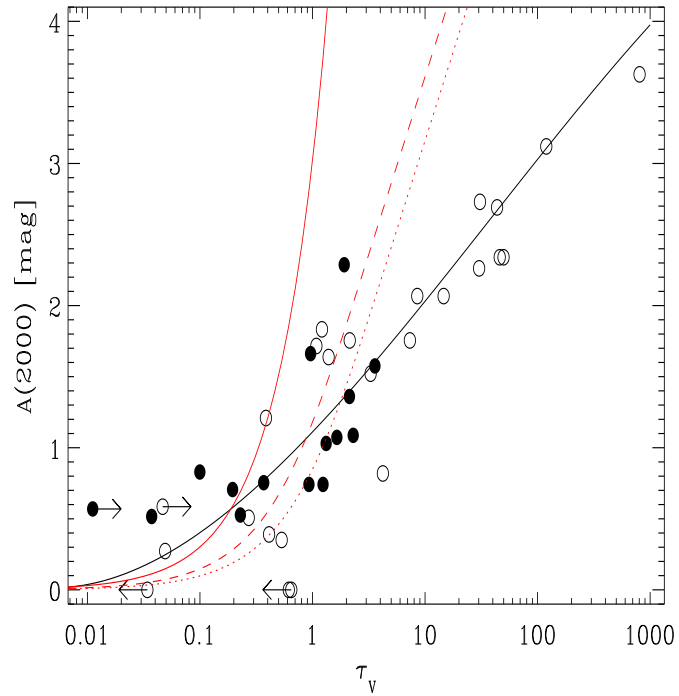
Pour l'échantillon IUE de galaxies à flambées d'étoiles, nous nous adoptons la méthode de Calzetti. Avec la loi d'atténuation de Calzetti, en prenant  $R_V = 4,05$ ,  $A(2000 \text{ Å})/A_V = 2,19$ . La relation IV.8 implique que l'atténuation à 2000 Å vaut:

$$A_{UV} = 3,90 E(B - V)_{gaz} \quad (IV.10)$$

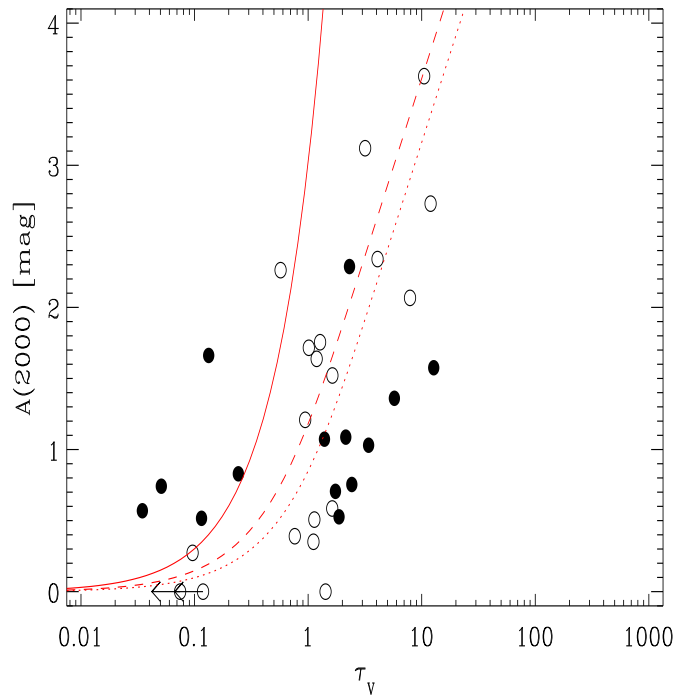
La figure IV.15 présente la corrélation remarquable entre le chemin optique efficace et l'atténuation à 2000 Å. La paramétrisation a été obtenue par ajustement polynomial:

$$A_{UV} = 1,01(0,05) + 0,76(0,05) \log \tau_V + 0,096(0,03) \log^2 \tau_V - 0,020(0,012) \log^3 \tau_V \quad (IV.11)$$

A la différence des études précédentes (Guiderdoni et Rocca-Volmerange 1987, Franceschini et Andreani 1995, Xu et Buat 1996), nous avons utilisé la taille radio. Dans la partie précédente (cf. figure III.5), il a été montré que la taille optique est un mauvais estimateur de la taille de la région de formation d'étoiles. De façon à quantifier l'impact du choix de la taille radio, nous avons reporté dans la figure IV.16 les mêmes données relatives aux galaxies de la figure IV.15 à l'exception de la taille, que nous avons pris dans la bande B. Même si l'augmentation de l'atténuation avec le chemin optique efficace est conservée, l'étroite corrélation de la figure IV.15 disparaît. Franceschini et Andreani (1996) ont mené une étude similaire sur des galaxies lumineuses en infrarouge et l'utilisation des tailles en bandes B qui les a amené à favoriser pour ces galaxies une géométrie selon laquelle les étoiles et la poussière sont répartis uniformément. Le trait en pointillé de la figure IV.16 correspond à une telle



**Figure IV.15:** Variation de l'atténuation à  $2000 \text{ \AA}$  en fonction du chemin optique efficace  $\tau_v$  dérivé à partir des tailles continuum radio. Les cercles correspondent à l'échantillon IUE de Calzetti et al. (1994) et les ronds à l'échantillon SFG de Buat et al. (2002). Les lignes en trait plein, pointillé et en tiret correspondent à un modèle d'écran, uniforme et STARDUST-1 respectivement. La ligne solide épaisse correspond à l'ajustement polynomial aux données.



**Figure IV.16:** Variation de l'atténuation à  $2000 \text{ \AA}$  en fonction du chemin optique efficace  $\tau_V$  dérivé à partir des tailles en bande B. Les cercles correspondent à l'échantillon IUE de Calzetti et al. (1994) et les ronds à l'échantillon SFG de Buat et al. (2002). Les lignes en trait plein, pointillé et en tiret correspondent à un modèle d'écran, uniforme et STARDUST-1 respectivement. La relation entre le chemin optique efficace et l'atténuation à  $2000 \text{ \AA}$  est beaucoup plus dispersée lorsque l'on adopte la taille en bande B.



géométrie et est compatible avec les résultats des auteurs. Cependant, lorsque l'on adopte la taille radio, les fortes densités de colonnes sont révélées, et la géométrie uniforme ne rend plus compte des observations (trait en pointillé dans figure IV.15) et surestime l'atténuation, même si l'atténuation dérivée du rougissement du gaz est elle-même sous-estimée de plusieurs dixièmes de magnitudes (Calzetti et al. 2000, Buat et al. 2002). Ce défaut d'atténuation est sans doute la marque des étoiles sorties des nuages moléculaires dont l'émission est absorbée moins efficacement par le milieu internuage. Ce résultat va dans le sens de Trentham et al. (1999) et Surace et Sanders (2000) qui ont, de façon inattendue, détecté en UV des galaxies ultralumineuses en infrarouge.

Buat et Burgarella (1998) et Buat et al. (1999) ont noté que l'atténuation déduite du rapport  $L_{\text{IR}}/L_{\text{UV}}$  est corrélée avec la luminosité infrarouge. Notre étude permet de fournir une explication: les galaxies lumineuses en infrarouge ayant des concentrations de gaz élevées par rapport à celles peu lumineuses, la relation que nous avons établie entre le chemin optique efficace (dépendant fortement de la densité surfacique, cf. équation IV.6) et le rapport  $L_{\text{IR}}/L_{\text{UV}}$  implique une corrélation positive entre ce rapport et la luminosité infrarouge.

Nous remarquons que les galaxies de l'échantillon IUE sont moins dispersées lorsque la densité surfacique de gaz moléculaire est plus élevée. Une cause possible serait la non-prise en compte du gaz hydrogène atomique. Mirabel et Sanders (1989) ont mis en évidence une corrélation positive entre le rapport des masses d'hydrogène moléculaire et atomique et le rapport des flux infrarouge lointain et en bande B. Ce dernier rapport étant un estimateur de l'atténuation, la corrélation implique que le contenu gazeux des galaxies les plus éteintes est dominé par la composante moléculaire. Nous constatons que pour ces galaxies, la corrélation entre le chemin optique efficace et l'atténuation est excellente. Concernant les galaxies plus modérées, pour lesquelles le contenu gazeux n'est pas dominé par la composante moléculaire, Buat et al. (1989) ont montré que le taux surfacique de formation d'étoiles (lui-même corrélé à l'atténuation, car plus le taux est élevé, plus la probabilité que les étoiles jeunes restent enfouies dans les nuages moléculaires) est corrélé plus étroitement à la somme des densités de gaz atomique et moléculaire qu'à chacune d'elles séparément.

En conclusion, le chemin optique efficace est un bon indicateur de l'atténuation à  $2000 \text{ \AA}$ , à condition de prendre une taille caractéristique de la région de formation d'étoiles.

#### IV.3.4 L'atténuation sur tout le spectre

Dans la section précédente, nous avons déterminé, à partir des paramètres d'entrée du modèle, une atténuation ultraviolette qui rend compte de l'atténuation des galaxies modérées et actives. Pour obtenir l'atténuation à toute longueur d'onde, nous

avons adopté la loi d'atténuation de Calzetti avec un facteur  $RV$  valant 4,05:

$$\begin{aligned} \left(\frac{A_\lambda}{A_V}\right)_{\text{Calzetti}} &= \frac{2,659}{R_V} (-1,857 + 1,040/\lambda) + 1 && 0,63 \mu m \leq \lambda \leq 2,20 \mu m \\ &= \frac{2,659}{R_V} (-2,156 + 1,509/\lambda - 0,198/\lambda^2 + 0,011/\lambda^3) + 1 && 0,12 \mu m \leq \lambda < 0,63 \mu m. \end{aligned} \quad (\text{IV.12})$$

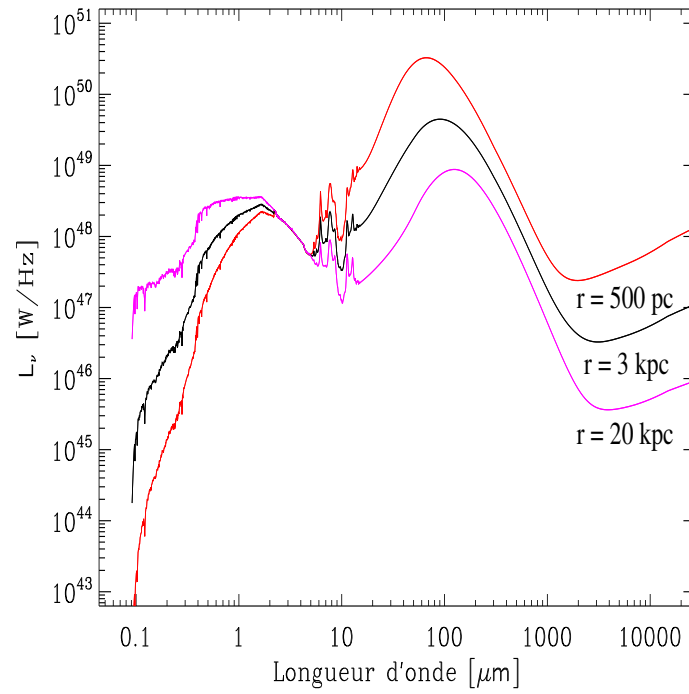
Etant donnée une distribution d'énergie spectrale intrinsèque  $F^*(\lambda)$ , le spectre atténué  $F(\lambda)$  s'écrit:

$$F(\lambda) = F^*(\lambda) 10^{-0,4 \left(\frac{A_\lambda}{A_V}\right)_{\text{Calzetti}} A_V} = F^*(\lambda) 10^{-0,182 \left(\frac{A_\lambda}{A_V}\right)_{\text{Calzetti}} A_{UV}} \quad (\text{IV.13})$$

où  $A_{UV}$  se déduit du chemin optique efficace  $\tau_V$  par la relation IV.11.

La loi d'atténuation de Calzetti intervient dans la dérivation de l'atténuation à partir du rougissement. Or, nous avons vu que celle-ci est incorrecte pour les galaxies normales et modérées. Cette courbe d'atténuation permet également, en obscurant un spectre non-éteint de galaxies à flambées d'étoiles, de retrouver la relation dite de Meurer liant la pente UV entre 1500 et 2500 Å et le rapport entre les flux infrarouge lointain et UV (Calzetti et al. 2000). Or cette relation est également en défaut pour les galaxies normales ou modérée (Bell et Kennicutt 2001), ainsi que pour les galaxies plus lumineuses que  $4 \cdot 10^{11} L_\odot$  (Van der Werf et al. 2000, Goldader et al. 2001). Bien qu'il soit possible d'envisager une contamination par une population plus âgée pour expliquer ces écarts, nous sommes en droit de douter de l'universalité la loi d'atténuation de Calzetti. Cependant, même s'il n'existe pas de loi d'atténuation comparable à la loi de Calzetti pour les galaxies normales ou modérées, il faut garder à l'esprit que cette loi est proche de la courbe d'extinction galactique (à l'exception de l'excès à 2175 Å) et des courbes d'atténuation du modèle uniforme jusqu'à  $\tau_V \sim 3$ , comme le montre la figure I.10. Par contre, pour les galaxies extrêmement actives comme les galaxies ultralumineses, la validité de la loi d'atténuation de Calzetti n'est pas assurée. Le satellite GALEX qui cartographie le ciel ultraviolet adressera ce problème.

Pour illustrer l'importance de la prise en compte de la taille, nous présentons dans la figure IV.17 un spectre synthétique obtenu pour une masse de gaz initiale de  $10^{10} M_\odot$ , d'âge 1 Gyr et de temps caractéristique de formation d'étoiles de 100 Myr fixés pour des tailles de la RFE valant 500 pc, 3 kpc et 20 kpc. Nous vérifions que lorsque la taille diminue, l'atténuation augmente ainsi que la température efficace des gros grains, ce qui se manifeste par le décalage du pic d'émission infrarouge lointain vers les plus courtes longueurs d'ondes.



**Figure IV.17:** *Distribution d'énergie spectrale modélisée pour masse de gaz initiale  $10^{10} M_{\odot}$ , d'âge 1 Gyr et de temps caractéristique de formation d'étoiles 100 Myr fixés avec des tailles de la RFE valant 500 pc, 3 kpc et 20 kpc*



# Chapitre V

## Conclusion et Perspectives

Dans le cadre de ma thèse, j'ai construit une base de donnée complète à  $60\ \mu\text{m}$  combinant des données optiques, proche-infrarouge, infrarouge, et radio provenant de relevés sur tout le ciel. Cette base de donnée a, outre sa taille, comme caractéristique essentielle de ne contenir que des flux intégrés spatialement. Cette spécification est nécessaire pour s'assurer de l'homogénéité des données et pour comparer ces données aux galaxies lointaines. Cette base de donnée, en outre, contient des informations sur les tailles à différentes longueurs d'onde.

Lors de l'étude des tailles des galaxies normales et à flambées d'étoiles, j'ai montré les résultats nouveaux suivants:

- la taille continuum radio est proportionnelle à la taille infrarouge lointain. Cependant, l'étude a été effectuée sur un échantillon restreint.
- la taille CO est égale à la taille infrarouge lointain.
- le rapport des tailles en bande B et radio décroît lorsque l'atténuation augmente dans la galaxie.
- la relation liant le rapport  $R(60/100)$  à la luminosité infrarouge lointain est très dispersée. L'introduction de la taille de la RFE permet d'expliquer cette dispersion intrinsèque jusqu'au niveau des incertitudes observationnelles.
- la température efficace des gros grains de poussière est une fonction de la luminosité infrarouge divisée par le carré de la taille de la RFE.
- la relation obtenue empiriquement est vérifiable analytiquement en introduisant la relation globale liant le taux de formation d'étoiles à la densité de gaz.

Puis, dans le chapitre 4, nous avons construit un modèle évolutif spectrophotométrique. Le modèle infrarouge est basé sur des observations spectroscopiques

ISOCAM de galaxies actives et sur des corrélations couleur-couleur avec les sources de notre base de donnée permettant de reproduire la distribution d'énergie spectrale des galaxies chaudes peu lumineuses et des galaxies froides lumineuses. Un soin particulier a été apporté au domaine moyen infrarouge qui, du fait du décalage vers le rouge sera observé entre  $z \sim 0,6$  et  $2,4$  par la bande MIPS à  $24 \mu\text{m}$  du satellite SIRTf. Concernant le modèle optique, en utilisant les tailles radio au lieu de prendre classiquement les tailles optiques, nous avons mis à jour une corrélation étroite entre l'atténuation à  $2000 \text{ \AA}$  et le chemin optique efficace en bande V. Cette relation nous permet de faire le lien entre l'optique et l'infrarouge et de déduire le spectre infrarouge à partir d'un jeu extrêmement réduit de paramètres globaux: la taille de la RFE, l'âge, le temps caractéristique de formation d'étoiles et la masse de gaz initiale.

Mon travail de thèse aboutira à la publication de trois articles, dont deux sont en cours de rédaction actuellement et qui traitent de la base de données, la corrélation entre la luminosité infrarouge, la taille et la température effective des gros grains et enfin du modèle spectrophotométrique.

La poursuite de ce travail peut se faire dans plusieurs directions: concernant la base de données, j'ai le projet d'identifier la troisième version incrémentale de 2MASS et surtout le catalogue UV à venir du satellite GALEX. L'étude des tailles des galaxies a eu un à-côté intéressant: il est possible d'exprimer le facteur de remplissage des nuages moléculaires dans le disque de la galaxie. Ce nouvel angle pourra certainement enrichir notre compréhension des processus physiques agissant à l'échelle de la galaxie. Enfin, pour ce qui est du modèle STARDUST-2, des tests doivent être menés sur les galaxies locales lumineuses en infrarouge et celles distantes détectées par ISOCAM. En couplant mon travail sur la base de données, le modèle permettra de déterminer des spectres génériques moyens de l'univers local. Ce modèle constitue un outil qui sera fourni à la communauté scientifique. En particulier, ce modèle sera utilisé par le groupe cosmologique de l'IAP, dans le projet GALICS.

# Chapitre VI

## ANNEXES





# Annexe A

## Paquetage CIR

Cette annexe constitue le guide de référence du paquetage CIR (*CAM Interactive Reduction package*) permettant la réduction, l'analyse et la visualisation des données ISOCAM et dont je suis le principal auteur. Seules les procédures de réduction et de visualisation sont incluses, les procédures de bas niveau ayant été mises de côté.

### A.1 Routines de réduction

#### A.1.1 CONVERT\_FLUX

- Description :  
Convert the data unit of a PDS structure from ADU/G/s to mJy/pix. The conversion can be performed on the cube, image or raster field.
- Calling sequence :  
`convert_flux, input, [/raster, /image, /cube, cds=cds, ack=ack]`
- Inputs :  
| `input` – structure : PDS structure such as a `cvf`, a raster, etc.
- Optional keyed inputs :  
| `cds` – string : name of the alternate library CDS
- Keywords :  
| `raster` – boolean : convert the raster (1st default choice if it exists)  
| `image` – boolean : convert the image (2nd default choice if it exists)  
| `cube` – boolean : convert the cube (3rd default choice if it exists)
- Outputs :  
| `input` – structure : input flux and errors are converted in mJy/pix
- Optional keyed outputs :  
| `ack` – boolean : if set, the routine has succeeded
- Example :  
`convert_flux, struct`
- Restrictions :  
- the cube unit conversion is not available for CVF.

- this routine is not intended for eXtended cisp.  
 - for old CIA structures, a tag `cube_unit`, `image_unit` or `raster_unit` needs to be added to the structure :

```
toto = create_struct(bs, 'cube_unit', 'ADU')
convert_flux, toto, /cube
```

### A.1.2 CORRECT\_COLOR

- Description :  
Calculates the color correction factor for the ISOCAM filters with respect to a  $1/\lambda$  spectrum and a reference wavelength. We follow the definitions and notation given in the ISOCAM Handbook and the "Photometry Report" (J. Blommaert) as defined in SAI/97-002DC. The function returns the flux density measured by the filter.
- Calling sequence :  
`fnu_obs=correct_color(lambda, fnu_actual, filter, [/verbose])`
- Inputs :
 

<code>lambda</code>	- float	: wavelengths of the input SED [microns]
<code>fnu_actual</code>	- float	: flux density of the input SED [/Hz]
<code>filter</code>	- string	: filtername (e.g.: 'LW10')
- Outputs :
 

<code>fnu_obs</code>	- float	: observed flux density in the specified filter [/Hz]
----------------------	---------	---
- Keywords :
 

<code>verbose</code>	- boolean	: if set, info about the correction factor is given
----------------------	-----------	---
- Algorithm :  
The flux density measured by the filter is :

$$F_{\nu}^{\text{measured}} = \frac{\int F_{\nu}(\lambda) \frac{\lambda_{\text{ref}}}{\lambda} T(\lambda) d\lambda}{\int T(\lambda) d\lambda}$$

where  $F_{\nu}(\lambda)$  is the flux density  
 $\lambda_{\text{ref}}$  is the reference wavelength of the filter  
 $T(\lambda)$  is the filter transmission

### A.1.3 CORRECT\_DARK\_LIBRARY

- Alias : `cdl`
- Description :  
Performs the dark correction by using the library dark.
- Calling sequence :  
`correct_dark_library, xcisp, [cds=cds, ack=ack]`
- Inputs :
 

<code>xcisp</code>	- structure array	: input Xcisp structure
<code>xcisp.data</code>	- cube	: cube of images to be dark corrected
<code>xcisp.gain</code>	- integer	: true gain (1,2,4)
<code>xcisp.cispitim</code>	- integer	: raw integration time
<code>xcisp.tint</code>	- float	: integration time [s], accumulation taken into account
<code>xcisp.deid</code>	- integer	: raw detector id

- Optional keyed inputs :
  - | `cds` – string : the name of your private dark calibration file
- Outputs :
  - | `xcisp` – structure array : dark corrected Xcisp structure
  - | `xcisp.data` – cube : the cube of corrected read outs
- Optional keyed outputs :
  - | `ack` – boolean : if set, the routine has succeeded
- Example :
 

```
read and dark correct the eXtended CISP structure :
xcisp = read_xcisp('cisp77500901.fits')
xcube, xcisp
correct_dark_library, xcisp
```
- Algorithm :
 

```
newdata = data - library_dark
```
- Restrictions :
 

```
works only for LW (deid = 1)
```

#### A.1.4 CORRECT\_DARK\_MODEL

- Alias : `cdm`
- Description :
 

```
Performs the dark correction by using the Biviano and Sauvage dark model.
```
- Calling sequence :
 

```
correct_dark_model, xcisp, [ack=ack]
```
- Inputs :
  - | `xcisp` – structure array : input Xcisp structure
  - | `xcisp.data` – cube : cube of images to be dark corrected
  - | `xcisp.gain` – integer : true gain (1,2,4)
  - | `xcisp.CISPITIM` – integer : raw integration time
  - | `xcisp.tint` – float : integration time [s], accumulation taken into account
  - | `xcisp.CISPDEID` – integer : 1 (LW), 0 (SW)
- Outputs :
  - | `xcisp` – structure array : dark corrected Xcisp structure
  - | `xcisp.data` – `ftarr(32,32,nframes)` : cube of read outs dark corrected
- Optional keyed outputs :
  - | `ack` – boolean : if set, the routine has succeeded
- Example :
 

```
read and dark correct the eXtended CISP structure :
xcisp = read_xcisp('cisp77500901.fits', header)
xcube, xcisp
correct_dark_model, xcisp
```
- Algorithm :
 

```
compute the best dark for given revolution and time-since-activation. The activation time
is taken to be the time at which the command CAM_ELEC_ON appears in the POF.
```
- Restrictions :
 

```
works only for LW (deid = 1)
```

- Dependencies :  
file `activation_utk.save` in the library directory (for `correct_dark_model_tsa`) file `dmod*.xdr` in the library directory (for `compute_dark`)

### A.1.5 CORRECT\_DARK\_VILSPA

- Alias : `cdv`
- Description :
  - apply Biviano & Sauvage dark correction (`correct_dark_model`)
  - apply second-order correction depending on the detector temperature and time since activation (`compute_dark_vilspa`)
  - apply short-drift correction (`compute_dark_vilspa_shortdrift`)
- Calling sequence :  
`correct_dark_vilspa, xcisp, [ack=ack]`
- Inputs :
 

<code>xcisp</code>	– array of IDL structure	: containing the data
<code>xcisp.data</code>	– cube	: cube of images to be dark corrected
<code>xcisp.gain</code>	– integer	: true gain (1,2,4)
<code>xcisp.tint</code>	– float	: integration time [s], accumulation taken into account
<code>xcisp.CISPITIM</code>	– integer	: raw integration time
<code>xcisp.CISPTEMP[4]</code>	– float	: detector temperature
<code>xcisp.CISPDEID</code>	– integer	: 1 (LW), 0 (SW)
- Outputs :
 

<code>xcisp</code>	– structure array	: dark corrected Xcisp structure
<code>xcisp.data</code>	– <code>ftarr(32,32,nframes)</code>	: cube of read outs dark corrected
- Optional keyed outputs :
 

<code>ack</code>	– boolean	: if set, the routine has succeeded
------------------	-----------	-------------------------------------

### A.1.6 CORRECT\_FLAT\_AUTO

- Alias : `cfa`
- Description :  
Performs the flat correction by dividing the input cube by its median image. The input cube must be reduced before the flat correction.
- Calling sequence :  
`correct_flat_auto, raster, [/cube, ack=ack]`
- Inputs :
 

<code>raster</code>	– structure	: input raster structure
<code>raster.image</code>	– cube	: the cube of image to be flat corrected
<code>raster.rms</code>	– cube	: the cube of image rms to be corrected
<code>raster.cube</code>	– cube	: the cube of read outs to be flat corrected
- Keywords :
 

<code>cube</code>	– boolean	: if set, the correction is made on the cube instead of the images
-------------------	-----------	--

- Outputs :
  - | raster – structure : flat corrected raster structure
  - | raster.image – ftarr(32,32,nblock) : the flat corrected cube of images
  - | raster.rms – ftarr(32,32,nblock) : the flat corrected cube of rms
  - | raster.cube – ftarr(32,32,nframe) : the flat corrected cube of read-outs
- Optional keyed outputs :
  - | ack – boolean : if set, the routine has succeeded
- Example :
 

```
flat correction of the eXtended CISP structure
raster = xslice(xcisp)
reduce_pds, raster
prd, raster
ximage, raster
reduce_pds, raster
correct_flat_auto, raster
prd, raster
ximage, raster
```
- Algorithm :
 

```
flat = median(cube)
image = image / flat
```
- Restrictions :
  - Only works for PDS

### A.1.7 CORRECT\_FLAT\_LIBRARY

- Alias : cfl
- Description :
 

Performs the flat correction by using a library flat. The input cube must already be processed by the routine reduce\_pds.
- Calling sequence :
 

```
correct_flat_library, xcisp|pds, [/cube, /dflat, cds=cds, ack=ack]
```
- Inputs :
  - | xcisp – array of IDL structure : eXtended cisp containing the data
  - | pds – IDL structure : PDS structure containing the data
- Keywords :
  - | cube – boolean : if set, correction on the cube and not the images in a pds structure
  - | dflat – boolean : if set, use only the detector flat
- Optional keyed inputs :
  - | cds – string : the name of your private flat calibration file
- Outputs :
  - | input – array of IDL structure : containing the data
  - | input.cube – ftarr(32,32,nblock) : (PDS) the cube of images flat corrected
  - | input.data – ftarr(32,32,nblock) : (Xcisp) the cube of images flat corrected
  - | raster.rms – ftarr(32,32,nblock) : the cube of rms corrected
- Optional keyed outputs :
  - | ack – boolean : if set, the routine has succeeded

- Example :  
`correct_flat_library, xcisp`
- Algorithm :  
`Xcisp` : for each block that has the same wheel positions and tint,  
`xcisp.data=xcisp.data/library_flat PDS` : if /cube, `pds.image = pds.image / library_flat`  
otherwise, `pds.cube = pds.cube / library_flat`  
if keyword `interpol` is not set, the data cube is not modified!
- Restrictions :  
works only for LW (`deid = 1`)

### A.1.8 CORRECT\_FLAT\_USER

- Description :  
Performs the flat correction by dividing each read-out of the input cube by an image specified by the user. The input cube must already be processed by the routine `reduce_pds`.
- Calling sequence :  
`correct_flat_user, raster, flat, [/cube, /no_history, ack=ack]`
- Inputs :

<code>raster</code>	- structure	: input raster structure
<code>raster.image</code>	- cube	: the cube of image to be flat corrected
<code>raster.rms</code>	- cube	: the cube of image rms to be corrected
<code>raster.cube</code>	- cube	: the cube of read outs to be flat corrected
<code>flat</code>	- <code>fltarr(32,32)</code>	: user supplied flat
- Keywords :

<code>cube</code>	- boolean	: if set, the correction is made on the cube instead of the images
<code>no_history</code>	- boolean	: if set, history field not updated
- Outputs :

<code>raster</code>	- structure	: flat corrected raster structure
<code>raster.image</code>	- <code>fltarr(32,32,nblock)</code>	: the flat corrected cube of images
<code>raster.rms</code>	- <code>fltarr(32,32,nblock)</code>	: the flat corrected cube of rms
<code>raster.cube</code>	- <code>fltarr(32,32,nframe)</code>	: the flat corrected cube of read-outs
- Optional keyed outputs :

<code>ack</code>	- boolean	: if set, the routine has succeeded
------------------	-----------	-------------------------------------
- Algorithm :  
`image = image / flat`
- Restrictions :  
Only works for PDS

### A.1.9 CORRECT\_GLITCH\_MR

- Alias : `cgm`
- Description :  
Masks the glitches by using multi-resolution deglitching.
- Calling sequence :  
`correct_glitch_mr, xcisp, [Nscale=Nscale, Nsigma=Nsigma, ack=ack, dir=dir, /verbose, /nodel, /interpol]`

- Inputs :
  - | `xcisp` – structure array : input Xcisp
  - | `xcisp.data` – `fltarr(32,32,nframes)` : cube of the read outs
  - | `xcisp.mask` – `fltarr(32,32,nframes)` : mask of the read outs
- Optional keyed inputs :
  - | `dir` – string : directory for writing temporary file
  - | `nscala` – integer : the number of scale for the multi-resolution analysis (default: 4)
  - | `nsigma` – float : glitch detection at Nsigma (default 6)
- Keywords :
  - | `verbose` – if set, print the commands
  - | `interp01` – if set, the glitched values are replaced by interpolated values
  - | `nodel` – if set, temporary files are not deleted
- Outputs :
  - | `xcisp` – array of IDL structure
  - | `xcisp.data` – `fltarr(32,32,nframes)` : cube of the deglitched read outs
  - | `xcisp.mask` – `fltarr(32,32,nframes)` : mask of the read outs containing the glitches
- Optional keyed outputs :
  - | `ack` – boolean : if set, the routine has succeeded
- Example :
 

```
correct_glitch_mr, xcisp, Nscale=3, Nsigma=8
```
- Algorithm :
  - the `xcisp` is sliced and deglitching is made on each block :
  - `cvf` : entrance, selection, lens wheel position and configuration number
  - otherwise : all 4 wheels
- Restrictions :
  - works only for LW (`deid = 1`)

### A.1.10 CORRECT\_TRANSIENT\_FS

- Alias : `ctf`
- Description :
 

Corrects the short-term transient effects with the Fouks-Schubert method and the Wozniak implementation in Fortran.
- Calling sequence :
 

```
correct_transient_fs, xcisp, stab_img=stab_img, [dir=dir, /use_all_cube, /verbose, /nodel, ack=ack]
```
- Inputs :
  - | `xcisp` – structure array : Xcisp structure
  - | `xcisp.data` – `fltarr(32,32,nframes)` : cube of the read outs
  - | `xcisp.mask` – `fltarr(32,32,nframes)` : mask of the read outs
  - | `xcisp.boottime` – double array : instrument boot time.
  - | `xcisp.deid` – integer : the raw detector id (works only on lw `deid=1`)
- Keyed inputs :
  - | `stab_img` – image : the stabilized image before the `xcisp`
- Optional keyed inputs :
  - | `dir` – string : directory for the temporary files

- Keywords :
  - | `use_all_cube` – flag : if set the mask is not used, and the whole cube is processed
  - | `verbose` – flag : if set then print the command
  - | `node1` – flag : if set does not delete fits file
- Outputs :
  - | `xcisp` – structure : eXtended cisp
  - | `xcisp.data` – `ftarr(32,32,nframes)` : cube of the read outs
- Optional keyed outputs :
  - | `ack` – boolean : if set, the routine has succeeded
- Example :
 

```
correct_transient_fs, xcisp, stab_img=stab_img
```
- Restrictions :
 

```
works only for LW (deid = 1)
```

### A.1.11 EXTRACT\_BEAM\_SWITCH

- Description :
 

Automatic extraction of one beam switch configuration from an eXtended cisp.
- Calling sequence :
 

There are two ways to call `extract_beam_switch` :

```
bs=extract_beam_switch(xcisp,configuration,[magx=magx,magy=magy,ack=ack])
bs=extract_beam_switch(xcisp,from=from,to=to,[ack=ack])
```
- Inputs :
  - | `xcisp` – structure array : Xcisp structure
  - | `xcisp.cube` – cube : the cube of images
- Outputs :
  - | `bs` – structure : extracted beam switch structure
- Optional inputs :
  - | `configuration` – integer : configuration number of the selected raster compulsory if there is more than one configuration
- Keyed inputs :
 

if the configuration is not supplied :

  - | `from` – `intarr(nblock)` : first frame index of each block
  - | `to` – `intarr(nblock)` : last frame index of each block
- Optional keyed outputs :
  - | `ack` – boolean : if set, the routine has succeeded
- Example :
 

```
bs1 = extract_beam_switch(xcisp)
```
- Restrictions :
 

This routine only works for beam switch. The eXtended cisp must already be dark corrected.



**A.1.12 EXTRACT\_CVF**

- Description :  
Automatic extraction of a cvf from an eXtended cisp. The Xcisp is sliced in filter wheel blocks after rejection of the read outs outside of the CVFs. Unlike rasters, there is only one cvf per TDT.
- Calling sequence :  
`cvf=extract_cvf(xcisp, [from=from,to=to,ack=ack])`
- Inputs :  
| `xcisp` – structure array : Xcisp structure
- Optional keyed inputs :  
| `from` – intarr(nblock) : first frame index of each block  
| `to` – intarr(nblock) : last frame index of each block
- Outputs :  
| `cvf` – structure : extracted cvf structure
- Optional keyed outputs :  
| `ack` – boolean : if set, the routine has succeeded
- Example :  
`cvf=extract_cvf(xcisp)`
- Restrictions :  
This routine only works for cvfs. `n_accu` has to be checked. the eXtended cisp must already be dark corrected.

**A.1.13 EXTRACT\_RASTER**

- Description :  
Automatic extraction of one raster from an eXtended cisp. If the xcisp contains more than one configuration, you can select the one you want to extract by specifying the configuration number. The raster may contain more than  $M \times N$  sky pointings. To add these extrapointings, set the `/extrapointing` keyword.
- Calling sequence :  
`raster=extract_raster(xcisp, [configuration | (from=from,to=to)], [magnification=magnification, ack=ack])`
- Inputs :  
| `xcisp` – structure array : Xcisp structure
- Optional inputs :  
| `configuration` – integer : configuration number of the selected raster compulsory if there is more than one configuration
- Keyed inputs :  
if the configuration is not supplied :  
| `from` – intarr(nblock) : first frame index of each block  
| `to` – intarr(nblock) : last frame index of each block
- Optional keyed inputs :  
| `magnification` – integer : magnification of the mosaic for a microscan, magnification will be used in addition to the one that is computed in `compute_raster_magnification`.

- Keywords :
  - | `extrapointing` – boolean : if set, copy all the sky pointings in the pds.
- Outputs :
  - | `raster` – structure : extracted raster structure
- Optional keyed outputs :
  - | `ack` – boolean : if set, the routine has succeeded
- Example :
 

```
raster3 = extract_raster(xcisp,3)
```
- Restrictions :
 

This routine only works for rasters. `n_accu` and `micro-scan` have to be checked. The `eXtended cisp` must already be dark corrected.

### A.1.14 EXTRACT\_STARING

- Description :
 

Automatic extraction of one starring from an `eXtended cisp`.
- Calling sequence :
 

There are two ways to call `extract_staring` :

```
staring=extract_staring(xcisp,configuration,[magx=magx,magy=magy,ack=ack])
staring=extract_staring(xcisp,from=from, to=to,[ack=ack])
```
- Inputs :
  - | `xcisp` – structure array : `Xcisp` structure
  - | `xcisp.cube` – cube : the cube of images
- Outputs :
  - | `staring` – structure : extracted starring structure
- Optional inputs :
  - | `configuration` – integer : configuration number of the selected raster compulsory if there is more than one configuration
- Keyed inputs :
 

if the configuration is not supplied :

  - | `from` – `intarr(nblock)` : first frame index of each block
  - | `to` – `intarr(nblock)` : last frame index of each block
- Optional keyed outputs :
  - | `ack` – boolean : if set, the routine has succeeded
- Example :
 

```
staring1 = extract_staring(xcisp,wheel_config=1)
```
- Restrictions :
 

This routine only works for starings. the `eXtended cisp` must already be dark corrected.

### A.1.15 PROJECT\_RASTER\_DISTORTION

- Alias : `prd`

- Description :  
Interface to the C++ code `projection.cc`. It creates a FITS file from `raster.image` and `raster.npix` then calls `projection`, then read the output and store it in `raster.raster`, `raster.npixraster` and `raster.rmsraster`
- Calling sequence :  
`project_raster_distortion, in, [side=side, dir=dir, filename=filename, dist_file=dist_file, version=version, /weight, /nodel, /verbose, ack=ack]`
- Inputs :
 

<code>in</code>	– structure	: raster structure
<code>in.nscd</code>	– int	: number of SCDs
<code>in.image</code>	– <code>fltarr(32,32,nblock)</code>	: averaged sky pointings
<code>in.npix</code>	– <code>fltarr(32,32,nblock)</code>	: number of used pixels
<code>in.rms</code>	– <code>fltarr(32,32,nblock)</code>	: pixels rms
<code>in.channel</code>	– string	: detector : LW or SW
<code>in.astr</code>	– IDL sub-structure	: World coordinates system
<code>in.info</code>	– IDL sub-structure	: World coordinates system
<code>in.info.ra</code>	– <code>dblarr(nscd)</code>	: right ascensions
<code>in.info.dec</code>	– <code>dblarr(nscd)</code>	: declinations
<code>in.info.roll</code>	– <code>dblarr(nscd)</code>	: roll angle
<code>in.info.pfov</code>	– <code>fltarr(nscd)</code>	: pixel field of view
<code>in.info.crpix1</code>	– <code>fltarr(nscd)</code>	: Reference pixel : x coordinate
<code>in.info.crpix2</code>	– <code>fltarr(nscd)</code>	: Reference pixel : y coordinate
<code>in.target</code>	– string	: target source
<code>in.fltrwhl</code>	– string	: Filter wheel
<code>in.nx_raster</code>	– int	: mosaic image column
<code>in.ny_raster</code>	– int	: mosaic image row
- Optional keyed inputs :
 

<code>dir</code>	– string	: if set, looks for the input fits file in this sub-directory
<code>side</code>	– integer	: Lens Position 0=right, 1=left, default 0
<code>dist_file</code>	– string	: the name of the distortion file following H. Aussel convention (ascii). It should be u
<code>filename</code>	– string	: prefix of input image files
- Keywords :
 

<code>weight</code>	– flag	: if set, projection is called with the option -n
<code>verbose</code>	– flag	: if set, print the command line
<code>nodel</code>	– flag	: if set, temporary files are not removed
- Outputs :
 

<code>in</code>	– IDL structure	: see <code>get_sscdraster</code>
<code>in.raster</code>	– <code>fltarr(nx,ny)</code>	: mosaic image
<code>in.npixraster</code>	– <code>fltarr(nx,ny)</code>	: mosaic image number of counts
<code>in.rmsraster</code>	– <code>fltarr(nx,ny)</code>	: mosaic image root mean squared
- Optional keyed outputs :
 

<code>ack</code>	– boolean	: if set, the routine has succeeded
<code>version</code>	– string	: the name and the version of the executable
- Example :  
`project_raster_distortion, raster`
- Algorithm :  
see `projection` documentation
- Dependencies :  
the `projection.cc` executable

- Restrictions :  
FITS files are created during the process. You must have write permission on the directory specified by the `dir` keyword (or the current directory). Only for LW.

### A.1.16 PROJECT\_RASTER\_NODISTORTION

- Alias : `prn`
- Description :  
Projects the images of the raster PDS into a mosaic
- Calling sequence :  
`project_raster_nodistortion, raster, no_history=no_history, ack=ack`
- Inputs :
 

<code>raster</code>	- raster structure
<code>raster.nscd</code>	- int : number of blocks
<code>raster.image</code>	- <code>ftarr(32,32,nblock)</code> : averaged sky pointings
<code>raster.npix</code>	- <code>ftarr(32,32,nblock)</code> : number of used pixels
<code>raster.rms</code>	- <code>ftarr(32,32,nblock)</code> : pixels rms
<code>raster.pfov</code>	- float : detector pixel field of view
<code>raster.raster_orientation</code>	- string : NORTH or Y-SPACECRAFT
<code>raster.astr</code>	- IDL sub-structure : World coordinates system
<code>raster.nx_raster</code>	- int : mosaic image column
<code>raster.ny_raster</code>	- int : mosaic image row
- Keywords :  
`no_history` : if set, no record is appended to the input history
- Example :  
`project_raster_nodistortion, raster`
- Algorithm :  
average the projected images
- Restrictions :  
does not work for north oriented rasters

### A.1.17 READ\_XCISP

- Description :
  - reads a CISP fits file and copy it into a xcisp IDL structure
  - decodes the most useful fields
  - synchronizes the astrometry file (`iiph`)
  - determines on-target read-outs (default : `pfov` clipping) but you can use : `/otf_iiph` (`iiph` flags) or `/otf_fit_motion` (examines the pointing motion)
- Calling sequence :  
`xcisp = read_xcisp(FITSname, [dir=dir, /otf_fit_motion, /otf_iiph, /ignore_qla, /silent, ack=ack])`
- Inputs :
  - | `FITSname` - string : the name of the standard extended fits file (with or without `.FITS`). It can contain wild cards if `FITSname=""`, find cisp file in the directories

- Optional keyed inputs :
  - | `dir` – string : the directory name where the fits file will be read
  
- Keywords :
  - | `otf_fit_motion` – flag : if set, delattre computation of otf (raster)
  - | `otf_iiph` – flag : on-target if all readout iiph are on-target
  - | `ignore_qla` – flag : rejects exposures flagged by qla (only for CIA compatibility)
  - | `silent` – flag : if set, no info is displayed
  
- Outputs :
  - | `xcisp` – array of IDL structure

The most useful CISP fields are decoded in normal units or understandable strings (\*) means that the field is copied from the cisp file without any modification (+) means that this field is not derived from the cisp file The other fields are decoded cisp fields.

(*) <code>xcisp.header</code>	– pointer	: header of cisp fits
(+) <code>xcisp.history</code>	– string	: read out data reduction history
(*) <code>xcisp.data</code>	– <code>ftarr(32,32)</code>	: read out flux [ADU] (CISPDATA)
(+) <code>xcisp.data_unit</code>	– string	: Analog to Digital Unit
(+) <code>xcisp.mask</code>	– <code>bytarr(32,32)</code>	: 0 is ok, 1 is rejected
(+) <code>xcisp.rejected</code>	– byte	: 0 is ok, 1 is rejected
<code>xcisp.entwhl</code>	– string	: Entrance wheel position name
<code>xcisp.selwhl</code>	– string	: Selection wheel position name
<code>xcisp.fltrwhl</code>	– string	: filter wheel position name
<code>xcisp.lenswhl</code>	– string	: Lens wheel position name
<code>xcisp.channel</code>	– string	: Detector (SW, LW)
<code>xcisp.pfov</code>	– float	: pixel field of view ["]
(*) <code>xcisp.wavelength</code>	– float	: Filter or CVF central wavelength (CISPWAVE)
<code>xcisp.filter_width</code>	– float	: Filter/CVF width [microns]
(*) <code>xcisp.m_raster</code>	– byte	: Raster column number (GPSCRPID)
(*) <code>xcisp.n_raster</code>	– byte	: Raster row number (GPSCRPID)
(+) <code>xcisp.ra</code>	– double	: Read out Right Ascension [decimal degrees]
(+) <code>xcisp.dec</code>	– double	: Read out Declinaison [decimal degrees]
(+) <code>xcisp.roll</code>	– double	: Read out Roll [decimal degrees]
(+) <code>xcisp.on_target</code>	– byte	: 1 is on target, 0 is off target
<code>xcisp.gain</code>	– byte	: Electronics gain (1x, 2x, 4x)
<code>xcisp.tint</code>	– float	: Integration time [s]
<code>xcisp.bovertime</code>	– double	: Time since processor's boot [s] (OLP > 7)
(*) <code>xcisp.itk</code>	– long	: Instrument time key (GPSCKEY)
<code>xcisp.configuration</code>	– byte	: Synchronized config. number within AOT. (Starts from 0)
<code>xcisp.discrepancy</code>	– string	: Motor discrepancies
<code>xcisp.operating_mode</code>	– string	: Idle, Obs, Dark, Calib, Clean
<code>xcisp.processing_mode</code>	– string	: Normal, Accumulated, Sampled
(*) <code>xcisp.n_accu</code>	– byte	: Accumulated/Sampled image count (CISPACSA) (in a 255)
(*) <code>xcisp.parallel</code>	– byte	: exist just in parallel cisp.fits
(*) <code>xcisp.tdt</code>	– long	: tdt identifier: revolution number (3 digits), obs. number
<code>xcisp.beam_switch_reference</code>	– integer	: synchronized ref. # (0=on target)
<code>xcisp.beam_switch_cycle</code>	– integer	: cycle number

CISP\*\*\*\* values are copied from the CISP file without modification. (-) means the cisp field does not exist in the xcisp. Just for info.

```

(-) GPSCTKEY   - long       : Instrument time key (itk)
(-) CISPBOOT   - long       : Time since processor's boot [CAMTU] (boottime)
(-) GPSCRPID   - bytarr(2)  : Raster point ID (m_raster,n_raster)
(-) GPSCFILL   - integer    : Spare
(-) CISPFILL   - integer    : Spare
xcisp.CISPDEID - byte       : Detector ID (SW:0, LW:1)
xcisp.CISPCNFG - byte       : Config. number within AOT. Not synchro!
xcisp.CISPQFLG - byte       : CAM's QLA flag: F2_QLA + 2*OTFlag + 4*otfsum
xcisp.CISPPROC - byte       : Processing mode (0:Normal, 1:Accumulated, 2:Sampled)
xcisp.CISPDISC - integer    : CSH/CISP "Discrepancy Flags"
xcisp.CISPPFOV - integer    : Lens wheel step number
xcisp.CISPITIM - integer    : Elementary integration time [CAMTU]
xcisp.CISPF0V  - integer    : Filter wheel step number
(-) CISPWAVE   - float      : Filter or CVF central wavelength (wavelength)
xcisp.CISPEWHL - integer    : Entrance wheel step number
xcisp.CISPSWHL - integer    : Selection wheel step number
(-) CISPWDTH   - integer    : Filter/CVF width in millimicrons (filter_width)
xcisp.CISPOBST - byte       : Current op-mode (0:IDLE, 1:OBS, 2:DRK, 3:CAL, 4:CLN)
xcisp.CISPCVFS - byte       : CVFS 1 I*1 CVF scan on/off (1/0)
xcisp.CISPTEMP - fltarr(10) : CAM Temperatures [K]
xcisp.CISPBLKB - fltarr(2)  : Black body current & voltage
xcisp.CISPGAIN - byte       : Electronics gain (0,1,2)
xcisp.CISPOFFS - byte       : Electronics offset (0..3)
xcisp.CISPBSFG - integer    : BS flag: 256*C+R C:cycle, R:ref#. Add 16 if on Ref
xcisp.CISPMEAN - float      : Frame mean of CISPDATA (this - last)
xcisp.CISPMEDI - float      : Frame median of CISPDATA (this)
xcisp.CISP SRMS - float      : Frame RMS of CISPDATA (this - last)
xcisp.CISPICNT - integer    : Current internal image counter
(-) CISPACSA   - byte       : ACcumulated/SAMpled image count (n_accu)
xcisp.CISPAOBS - byte       : AOT_AOT + 16*AOT_OBS
xcisp.CISPBIAS - fltarr(10) : Bias voltages
(-) CISPDATA   - intarr(1024) : Detector data (EOI - RESET) (data)
(-) CISP RESE  - intarr(1122) : Reset level for NORMAL processing
xcisp.CISP3334 - intarr(64)  : Columns 33 & 34 of SW readout

```

- Optional keyed outputs :

```
| ack - boolean : if set, routine has succeeded
```

- Example :

```
xcisp = read_xcisp('')
xcisp = read_xcisp('/export/home/spia/tests/cir/data/*')
xcisp = read_xcisp('cisp01100217',dir='/export/home/mydata')
```

- Algorithm :

straightforward, read the FITS FILE if n\_rows eq 1 or start\_record eq end\_record, the dimension of the read variable (VALUE) is zero (scalar) , but for IDL it is an array of one element, and IDL can assign one scalar to an array of one element for all types except string

- Restrictions :

SW dead pixels are not flagged

### A.1.18 REDUCE\_PDS

- Description :  
Average the read-outs of every PDS block.
- Calling sequence :  
`reduce_pds, input, [/median]`
- Inputs :
 

<code>input</code>	- structure	: PDS structure
<code>input.cube</code>	- intarr(nx,ny,nframes)	: data cube
<code>input.mask</code>	- bytarr(nx,ny,nframes)	: mask cube
<code>input.nscd</code>	- intarr(nscd)	: number of blocks
<code>input.from</code>	- intarr(nscd)	: index of the first frame for each block
<code>input.to</code>	- intarr(nscd)	: index of the last frame for each block
- Outputs :
 

<code>input</code>	- structure	: PDS structure
<code>input.image</code>	- ftarr(32,32,nscd)	: averaged blocks of data
<code>input.npix</code>	- ftarr(32,32,nscd)	: number of used pixels
<code>input.rms</code>	- ftarr(32,32,nscd)	: pixels rms
- Keywords :
 

<code>median</code>	- flag : if set, median insted of mean.
---------------------	---
- Example :  
Create averaged sky pointings from the median of the cube after applying jitter correction.  
`reduce_pds, pds, /median`

### A.1.19 WRITEFITS\_RASTER

- Description :  
Saves a raster as a FITS file.
- Calling sequence :  
`writefits_raster, filename, raster_struct, /iraf`
- Inputs :
 

<code>filename</code>	- string	: the name of the fits output file
<code>raster_struct</code>	- IDL structure	: containing the input raster_struct
- Example :  
`writefits, 'myraster.fits', myraster`
- Side effects :  
writes a file on a disk
- Restrictions :  
do not write error map

### A.1.20 XPHOT

- Description :  
Xphot is a widget to perform simple minded photometry on images It is intended more for point sources than for extended sources as the available methods are :  
- simple aperture photometry

- aperture with correction for point source (available for some configurations)
- point spread function fitting
- gaussian fitting (not yet available) if you intend to use Xphot, the best is to read its manual...
- Calling sequence :  
`xphot, image [,POSTAB=postab, RADTAB = radtab, PMETHOD = pmethod,  
 BKG TAB = bkgtab, RES = res, NOPOP = nopop]`
- Inputs :  
 | `image` – a 2-D image containing the sources to measure
- Optional inputs :  
 none
- Keyed inputs :  
 | `postab` – array : the position of the sources to measure where `postab(0,*)` contains the x's and `postab(1,*)` contains the y's  
 | `radtab` – array : a vector containing the integrating radii for aperture photometry for each source. `RADTAB` must be used in conjunction with `POSTAB`.  
 | `pmethod` – structure : to be used in conjunction with `RADTAB` the default for aperture photometry is simple photometry without correction for point sources. If you wish to make these correction `pmethod.filter` must be the filter used to obtain the image and `pmethod.pfov` must be the pixel field of view. example :  
`pmethod.filter = 'LW3'`  
`pmethod.pfov = 1.5`  
 | `bkgtab` – array : a vector containing for each source the value of the background. `BKG TAB` must be used in conjunction with `POSTAB` and `RADTAB`  
 | `nopop` – boolean : if set, deactivate the help popups of Xphot.  
 | `psf_dir` – string : the directory of the file of psf used only when psf fitting
- Outputs :  
 none
- Optional outputs :  
 none
- Keyed outputs :  
 | `res` – structure if used this keyword will be a structure that will hold the results from the analysis : a position vector, an integrating radius vector, a background vector and a flux vector. In short it puts in a structure what is saved in the `xphot_tables.save` When present, Xphot runs in BLOCK mode, i.e. the command line is blocked.
- Example :  
`help,my_image my_image FLT = Array(221, 221)`  
`xphot,my_image` is the simplest call to Xphot, where the analysis starts at source selection  
`help,postab <Expression> INT = Array[2,10]`  
`xphot,my_image,postab=postab` takes the source coordinates in the `postab` array and starts `xphot` at the position fine tuning stage  
`xphot,my_image, psf_dir='/export/home/spia/PSF/'` or  
`xphot,my_image, psf_dir='SAPI01DKA200 :[CIA.DATA.PSF]'` specifies the location for the theoretical PSF library, in case you have installed it. Usefull only in the PSF fitting case.  
 see the manual for more information
- Side effects :  
 Xphot saves a number a variables in IDL save sets (these can be used to retrieve the results of the computations) so the user has to have permission to write on the current directory



- Restrictions :  
Depending on the command line, Xphot will run in BLOCK or NOBLOCK mode (i.e. forbid or let the user send IDL commands on the keyboard) This is decided by the presence of the RES keyword. If present (i.e. outputs are requested) Xphot will block the command line.  
if res is not present, multiple copies of Xphot can run simultaneously

### A.1.21 XRASTER\_PHOT

- Description :  
Creates a widget for performing simple total photometry of extended objects in a raster image. See online help for instructions.
- Calling sequence :  
`xraster_phot, raster`
- Inputs :  
| `raster` – structure : a raster structure
- Example :  
`xraster_phot, raster` see the help menu for instructions.
- Algorithm :  
Roussel et al. interactive.
- Restrictions :  
raster image must be in adu/g/s.

### A.1.22 XSLICE

- Description :  
Interactively slices an xcisp into blocks and extract a PDS (raster, cvf, beam-switch, staring) IDL structure.
- Calling sequence :  
`pds = xslice(myxcisp)`
- Example :  
see `x_slicer` manual
- Inputs :  
| `myxcisp` – xcisp : IDL structure
- Inputs :  
| `pds` – pds structure : extracted pds (raster or cvf)
- Common blocks :  
`xslice_fields, xslice_selection, xslice_datas`

## A.2 Routines de visualisation

### A.2.1 CIR\_HELP

- Description :  
displays the CIR html help by using netscape

- Calling sequence :  
cir\_help, [/advanced]
- Keywords :  
| advanced – if not set, only the user routines are listed
- Algorithm :  
On unix platforms, if the user has a running netscape, then run a remote command to open a new window. Otherwise, run netscape
- Side effects :  
run a new job
- Restrictions :  
for vms, always run a new netscape

## A.2.2 CVF\_DISPLAY

- Description :  
Interactively display monochromatic CVF images and the mean spectrum of a selected region.
- Calling sequence :  
cvf\_display, CVF, inpix=inpix, axis=axis, scd=scd, flux=flux, nom=nom, sort=sort
- Inputs :  
| cvf – structure : CVF structure to be displayed
- Keyed inputs :  
| inpix – ftarr(32,32) : image to be displayed instead of the mean image  
| nom – string : complementary title for the plot  
| axis – string : style of the axis  
- i\_i : linear axis  
- o\_o : logarithme axis  
- i\_o : linear absciss - log ordinates  
- o\_i : log absciss - linear ordinates  
- anything else : see i\_i
- Keywords :  
| scd – display all the frame instead of the reduced images  
| sort – sort the data with increasing wavelength
- Mouse inputs :  
Clicking on a pixel of the image with the left or the righth button will display the flux versus lambda of this pixel. Clicking on a pixel with the middle button will display the mean spectrum of pixels that are between the pixel where you push the middle button and the pixel where you release it. If you release this button outside the window, then you will have to restart cvf\_display, because it won't run anymore :-P. Clicking in the plotting window will return the monochromatic image at the chosen wavelength.
- Keyed outputs :  
| flux – array : if set then the last flux plotted is return in flux variable
- Example :  
cvf\_display, cvf

### A.2.3 DISPLAY\_ASTROMETRY

- Description :  
Plots the position of the eXtended cisp read-outs. The red color means that the readout is flagged as off-target. Three formats can be used for the coordinates :
  - decimal degrees (/decimal)
  - sexagesimal hours-minutes-seconds (/hms)
  - sexagesimal degrees-minutes-seconds (default)
- Calling sequence :  
`display_astrometry, xcisp, [/noindexon,/noindexoff,/hms,/decimal, /clip,index=index,plot_keywords=plot_keywords]`
- Inputs :
 

<code>xcisp</code>	- structure : eXtended cisp
<code>xcisp.ra</code>	- double : Right Ascension [decimal degrees] of the read out
<code>xcisp.dec</code>	- double : Declinaison [decimal degrees] of the read out
<code>xcisp.on_target</code>	- boolean : on target:1, off target: 0
- Optional inputs :
 

<code>index</code>	- lonarr : index of the read-outs to be displayed (it will prevent index mismatches)
--------------------	--
- Keywords :
 

<code>noindex</code>	- if set, the off-target frame numbers are not displayed
<code>decimal</code>	- if set, RA-Dec dispayed in decimal degrees
<code>hms</code>	- if set, RA dispayed in hours
<code>all_range</code>	- even the off-target read-outs are in the dispay range
- Example :  
`display_astrometry, xcisp`

### A.2.4 DISPLAY\_FRAMES

- Description :  
Displays multiple frames of a cube in a single window.
- Calling sequence :  
`display_frames, arg, /nowidgets, page=page`
- Inputs :
 

<code>arg</code>	- cube, eXtended cisp or PDS structure
------------------	--
- Keyed inputs :
 

<code>page</code>	- integer : page number of initial display
-------------------	--
- Keywords :
 

<code>nowidgets</code>	- if set, don't create a widget
------------------------	---------------------------------
- Example :  
`display_frames, xcisp`
- Algorithm :
  - define the widgets
  - plot with `display_frames_plot`
  - put the returned structure in the top-level user-value
  - hand over to `xmanager`

- Restrictions :  
While calling `display_frames` will not block the command line, `display_frames` can not be called in multiple copies. Obsolete routines are used (handle)

### A.2.5 PRINT\_HEADER

- Description :  
Prints the header of the cisp FITS file from which the Xcisp is derived
- Calling sequence :  
`print_header, xcisp`
- Inputs :  
| `xcisp` – structure : eXtended cisp
- Example :  
`print_header, xcisp`

### A.2.6 PRINT\_HELP

- Description :  
Displays "equivalence" table for CIR and CIA routines  
- `read_xcisp` (function) : `spdtoscd`  
- `print_info` : `sscd_info`  
- `correct_dark_model` : `corr_dark`  
- `correct_glitch_mr` : `deglitch`  
- `correct_transient_fs` : `stabilize, method='fs', /fortran`  
- `xslice` : `x_slicer`  
- `correct_flat_auto` : `corr_flat, method='auto'`  
- `correct_flat_library` : `corr_flat`  
- `project_raster_nodistortion` : `raster_scan, method='noproj'`  
- `project_raster_distortion` : `raster_scan`  
- `convert_flux` : `conv_flux`  
- `la_mean` : `mean_array`  
- `xcube` : `x3d`  
- `ximage` : `xdisp, xv_raster`
- Calling sequence :  
`print_help`

### A.2.7 PRINT\_HISTORY

- Description :  
Prints the processing history of the eXtended cisp
- Calling sequence :  
`print_history, xcisp|pds, [output=output]`
- Inputs :  
| `xcisp` – structure : eXtended cisp  
| `pds` – structure : pds
- Optional keyed outputs :  
| `output` – string : history returned as an array of strings

### A.2.8 PRINT\_INFO

- Description :  
Gives information on the eXtended cisp Blocks are sliced according to :
  - entrance wheel
  - selection wheel
  - filter wheel (except for CVFs)
  - lens wheel
  - elemental integration time (different from xcisp.tint in accumulated mode)
  - processing mode
 Other fields can be specified :
  - gain
  - offset
  - operating mode
  - (M,N) raster pointing
- Calling sequence :  
print\_info, xcisp, [/gain,/offset,/mn\_raster,/operating\_mode,  
/entwhl, output=output]
- Inputs :  
| xcisp – structure : eXtended cisp
- Optional inputs :  
| filename – string : informations are printed in the file filename
- Keywords :
 

gain	– xcisp is sliced wrt the gain
offset	– xcisp is sliced wrt the offset
operating_mode	– xcisp is sliced wrt the operating mode
mn_raster	– xcisp is sliced wrt the raster positions
entwhl	– if set, display entrance wheel positions
- Outputs :  
| output – strarr : returns the information in a string array. No display.
- Example :  
print\_info, xcisp print\_info, xcisp[45]  
print\_info, 'cisp29801521.fits'

### A.2.9 PRINT\_STAT

- Description :  
Returns a set of frequently used statistical quantities
- Calling sequence :  
print\_stat, image, /each, good\_index=good\_index, bad\_index=bad\_index
- Inputs :  
| data – array : studied array 1, 2 or more dimensions
- Keywords :  
| each – flag : to do statistics in each plane of a cube
- Optional keyed outputs :
 

good_index	– lonarr : index of the data values not equal to 0, -32768, NaN or Inf
bad_index	– lonarr : index of the data values equal to 0, -32768, NaN or Inf

- Keyed outputs :
  - | `output` – `strarr` : standard output of `print_stat`

## A.2.10 PS\_COLOR

- Description :
  - Grabs an IDL window and save it as a postscript or png file
- Calling sequence :
 

```
ps_color, filename=filename, win=win, /landscape,
title=title, /copyright, /png
```
- Optional keyed inputs :
  - | `filename` – string : filename of output PS file (default is `color.ps`)
  - | `win` – integer : identifier of IDL window (default is active window)
  - | `scale` – integer : specify a scale applied to the entire graph
  - | `title` – string : add the title at the upper left corner of window
- Keywords :
  - | `landscape` – set landscape orientation
  - | `copyright` – add the copyright at the bottom of window
  - | `png` – save file in the png format
- Example :
 

```
ps_color Hardcopy the window IDL 0, output file is color.ps
ps_color, /landscape, scale=0.5 Same as above but with landscape orientation and
a scaling factor of 0.5
ps_color, title='my_object', /copyright Same first example above but displays also
a title and the ESA/CEA-Saclay copyright
ps_color, filename='my_postscript.ps', win=1 Hardcopy the window IDL 1, output
file is my_postscript.ps
```

## A.2.11 TVISO

- Description :
  - Displays an image with a zoom factor, and the LUT is displayed The zoom factor is calculated automatically in order to visualize the image in a window of size 320x320 (for an image 32x32, the zoom factor is  $320/32 = 10$ ). An offset is automatically calculated (or is set by keywords) in order to center the image in the IDL window.
- Calling sequence :
 

```
tviso, image, [Depx, Depy, /noscale, ech=ech,
/noerase, taille=taille, lisere=lisere,
title=title, colorbar=colorbar, min=min,
max=max, bottom=bottom, ncolors=ncolors]
```
- Inputs :
  - | `image` – two dimensional array : image to visualize
- Optional inputs :
  - | `Depx` – scalar : offset in x (default is 50)
  - | `Depy` – scalar : offset in y (default is 80)

- Optional keyed inputs :
  - | `taille` – scalar : size of the displayed image, default 320
  - | `title` – string : print a title
  - | `colorbar` – 1D array : color table (useful if not linear)
  - | `min` – float : minimum value to display (if /noscale, only used for the lut limit)
  - | `max` – float : maximum value to display
  - | `bottom` – integer : lowest value to start the color table
  - | `ncolors` – integer : numbers of colors used
- Keywords :
  - | `noscale` – if set, don't scale the image and color table.
  - | `noerase` – if set, don't erase the window
- Optional keyed outputs :
  - | `ech` – scalar : scale of the displayed image
- Example :
  - `tviso, my_array`

### A.2.12 XCUBE

- Description :
 

Xcube is a widget program for cube analysis and cube comparison. It handles one or two arguments which can be :

  - an eXtended cisp (fields data, mask)
  - a PDS (raster, cvf ...) (fields cube, mask, image, rms, npix)
  - an IDL 3D numerical array
- Graph window
 

One frame or several frames can be selected with the mouse. Click twice to select a single frame.

Configuration and block limits :

  - configuration : vertical line
  - block : dotted vertical line

If the 'Symbols' button is on, the following symbols are used :

  - + : masked pixel (struct.mask eq 1)
  - open triangle : undefined value (0., -32768., NaN, Inf, -Inf)
  - fill triangle : rejected frame (struct.rejected eq 1)
  - <-> : off-target frame (struct.on\_target eq 0)

If the 'Bad pixel' button is on, masked and undefined values are interpolated (from the neighbours in time) If this button is off, only the undefined values are interpolated.

If two arguments are provided, the first one is plotted in black the second one in red

A title can be added to the plot typing on the 'title' field.

The graph can be plotted in another IDL window selecting the Window menu The graph can be plotted in a PostScript file selecting the file menu (use of `cmps_form`, widget by Craig B. Markwardt and David Fanning)
- Frame window
 

If button 'bad pixels' is on, masked and undefined values are masked. Elsewise, only undefined values are mask. Select a region with the mouse right button Click twice to select a single pixel. Keyboard can be used : 2 : move region downward 8 : move

region upward 4 : move region on the right 6 : move region on the left p : print the region mean value

The frame can be plotted in another IDL window selecting the Window menu The frame can be plotted in a file selecting the File menu in the formats :

- PostScript
- GIF
- TIFF

– Block and configuration definitions

If the input is :

1) a pds :

- configuration : only one, it is the hole cube
- block : defined by from and to fields

2) an extended cisp : the cube is sliced on ...

- configuration : the isocam wheels (except the filter wheel for cvf)
- block : the isocam wheels and m, n sky positions, tint

– Setting X-range

1) The zoom menu :

- clicking limits : then click on xmin and xmax
- block : selects the block pointed by the arrow
- configuration : selects the configuration pointed by the arrow (only for extended cisp)
- all range : all range is displayed

2) xmin, xmax : straightforward

3) «, » : scrolling

– Setting Y-range

1) ymin, ymax : straightforward

2) toggle button :

- auto y : sets an automatic y range determination
- fixed y : fixes ymin and ymax

– Manual deglitching

`xcube`, `data`, `/block` The manual deglitch modifies the mask but not the cube. First define the region with the mouse right button, then :

- middle button : selects the region as bad
- right button : selects the region as good

• Calling sequence :

`xcube`, `argument1`, `argument2`, `group=group`

• Inputs :

| `argument1`, `argument2` – cube (any 3D numeric), structure (with CUBE and MASK field), Xcisp or PDS : cubes t

• Keyed inputs :

| `group` – scalar : widget group.

• Example :

```
help, my_cube1, my_cube2 MY_CUBE1 INT = Array(32, 32, 100) MY_CUBE2 INT =
Array(32, 32, 100)
xcube, my_cube1, my_cube2
```

• Restrictions :

0 is considered as an undefined value ...



### A.2.13 XIMAGE

- Description :  
 XIMAGE is a widget program for image display. The input is one image with or without astrometry, in various format : 2-D IDL array, 2-D IDL array+fits header, IDL structure raster, name of a file : fits, xdr, bdf (Midas)  
 This image is displayed, you can get the intensity of a pixel (with its astrometry), zoom.  
 - log and histogram equalization scale  
 - you can run several XIMAGE at the same time  
 - saving the display in fits file (even if the input is not a fits file)  
 - saomage-like zoom (=> right button mouse for pixel values)  
 - automatic and user title for the plots  
 - handling of a user path and user path format
- Calling sequence :  
 XIMAGE  
 XIMAGE, filename  
 XIMAGE, Image  
 XIMAGE, Raster  
 XIMAGE, Image, FitsHeader  
 XIMAGE, Image, astr\_struct, [equinox = equinox]
- Inputs :
 

filename	- string	: fits or midas file name
Image	- two dimensional array	: image to analyse
Raster	- cia structure	: raster
- Optional inputs :
 

FitsHeader	- string array	: Fits header
astr_struct	- structure	: structure containing astrometry info
- Keyed inputs :
 

equinox	- float	: equinox for astrometry (used for saving into fits)
group	- long	: parent widget ID
- Example :  

```
Image = readfits('data.fits', FitsHead)
XIMAGE, Image, FitsHead or
raster=xslice(xcisp)
reduce, raster
raster_scan, raster
ximage, raster or
ximage, image, raster.astr
```



# Annexe B

## Articles

### An unusual iron Lo-BAL quasar detected by ISOCAM

Duc P.-A., Hall P.B., Fadda D., Chanial P., Elbaz D., Monaco P., Pompei E., Poggianti B. M., Flores H., Franceschini A., Biviano A., Moorwood A. et Cesarsky C., *Astronomy and Astrophysics*, v.389, p.L47-L50 (2002)



## The bulk of the cosmic infrared background resolved by ISOCAM

Elbaz D., Cesarsky C. J., Chaniel P., Aussel H., Franceschini A., Fadda D. et  
Chary R.R.,  
Astronomy and Astrophysics, v.384, p.848-865 (2002)



**ISOCAM mid-infrared detection of HR 10: A  
distant clone of Arp 220 at  $z = 1.44$**

Elbaz D., Flores H., Chaniel P., Mirabel I. F., Sanders D., Duc P.-A., Cesarsky  
C. J. et Aussel H.,  
Astronomy and Astrophysics, v.381, p.L1-L4 (2002)





## Hidden star-formation in the cluster of galaxies Abell 1689

Duc P.-A., Poggianti B. M., Fadda D., Elbaz D., Flores H., Chaniel P., Franceschini A., Moorwood A. et Cesarsky C.,  
Astronomy and Astrophysics, v.382, p.60-83 (2002)



## The first ISO ERO: A dusty quasar at $z = 1.5$

Pierre M., Lidman C., Hunstead R., Alloin D., Casali M., Cesarsky C., Chantal P., Duc P.-A., Fadda D., Flores H., Madden S. et Vigroux L.,  
Astronomy and Astrophysics, v.372, p.L45-L49 (2001)



# Bibliographie

- Aalto S., Booth R.S., Black J.H. et Johansson L.E.B., 1995, **A&A** **300**, pp. 369–384  
*Molecular gas in starburst galaxies: line intensities and physical conditions.*
- Allamandola L.J., Tielens A.G.G.M. et Barker J.R., 1985, **ApJ** **190**, L25–29  
*Polycyclic aromatic hydrocarbons and the unidentified infrared emission bands - Auto exhaust along the Milky Way.*
- Altieri B., Metcalfe L., Kneib J.P., McBreen B., Aussel H., Biviano A., Delaney M., Elbaz D., Leech K., Lémonon L., Okumura K., Pelló R., Schulz B., 1999, **A&A** **343**, pp. L65–L69  
*An ultra-deep ISOCAM observation through a cluster-lens.*
- Alton P.B., Trewhella M., Davies J.I., Evans R., Bianchi S., Gear W., Thronson H., Valentijn E. et Witt A., 1998, **A&A** **335**, pp. 807–822  
*Resolved 200  $\mu\text{m}$  M images of nearby galaxies - evidence for an extended distribution of cold dust.*
- Alonso-Herrero A., Engelbracht C.W., Rieke M.J., Rieke G.H. et Quillen A.C., 2001, **ApJ** **546**, pp. 952–965  
*NGC 1614: A Laboratory for Starburst Evolution.*
- Armand C., Milliard B. et Deharveng J.M., 1994, **A&A** **284**, pp. 12–16  
*Far-ultraviolet diffuse background and galaxy counts.*
- Armus L., Heckman T.M. et Miley G.K., 1990, **ApJ** **364**, pp. 471–495  
*The optical emission-line nebulae of powerful far-infrared galaxies.*
- Aussel H., Cesarsky C.J., Elbaz D. et Starck J.L., 1999, **A&A** **342**, pp. 313–336  
*ISOCAM observations of the Hubble Deep Field reduced with the PRETI method.*
- Aussel H., 2002, in *The Evolution of Galaxies, II-Basic Building Blocks*, édité par M. Sauvage, G.Stasińska et D. Schaerer (Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Pays-Bas) pp. 441–444  
*A test-bench for galaxy evolution models: star formation and clustering in the Hubble Deep Field.*
- Barger A.J., Cowie L.L. et Sanders D.B., 1999a, **ApJ** **518**, pp. L5–L8  
*Resolving the Submillimeter Background: The 850 Micron Galaxy Counts.*
- Barger A.J., Cowie L.L., Trentham N., Fulton E., Hu E.M., Songaila A. et Hall D., 1999b, **AJ** **117**, pp. 102–110  
*Constraints on the Early Formation of Field Elliptical Galaxies.*
- Becker R.H., White R.L. et Helfand D.J., 1995, **ApJ** **450**, pp. 559–579  
*The FIRST Survey: Faint Images of the Radio Sky at Twenty Centimeters.*

- Beichman C.A., Neugebauer G., Habing H.J., Clegg P.E. et Chester T.J., 1988, disponible en ligne à l'adresse <http://space.gsfc.nasa.gov/astro/iras/docs/exp.sup/toc.html>  
*IRAS Catalogs and Atlases: Explanatory Supplement.*
- Bell E.F. et Kennicutt R.C. Jr., 2001, **ApJ** **548**, pp. 681–693  
*A Comparison of Ultraviolet Imaging Telescope Far-Ultraviolet and H $\alpha$  Star Formation Rates.*
- Bernstein R.A., Freedman W.L. et Madore B.F., 2002, **ApJ** **571**, pp. 56–84  
*The First Detections of the Extragalactic Background Light at 3000, 5500, and 8000Å. I. Results.*
- Bianchi L., Clayton G.C., Bohlin R.C., Hutchings J.B. et Massey P., 1996, **ApJ** **471**, pp. 203–210  
*Ultraviolet Extinction by Interstellar Dust in External Galaxies: M31.*
- Bicay M.D. et Helou G., 1990, **ApJ** **362**, pp. 59–73  
*The 60 micron to 20 centimeter infrared-to-radio ratio within spiral galaxies.*
- Billar S.D., Akerlof C.W., Buckley J., Cawley M.F., Chantell M., Fegan D.J., Fennell S., Gaidos J.A., Hillas A.M., Kerrick A.D., Lamb R.C., Lewis D.A., Meyer D.I., Mohanty G., O'Flaherty K.S., Punch M., Reynolds P.T., Rose H.J., Rovero A.C., Schubnell M.S., Sembroski G., Weekes T.C. et Wilson C., 1995, **ApJ** **445**, pp. 227–230  
*An upper limit to the infrared background from observations of TeV gamma rays.*
- Borne K.D., Bushouse H., Colina L., Lucas R.A., Baker A., Clements D., Lawrence A., Oliver S. et Rowan-Robinson M., 1999, **Ap&SS** **266**, pp. 137–142  
*A Morphological Classification Scheme for ULIRGs.*
- Boselli A., Casoli F. et Lequeux J., 1995, **A&AS** **110**, pp. 521–531  
*CO observations of spiral galaxies in the Virgo cluster and in the Coma/A1367 supercluster.*
- Boselli A., Lequeux J., Contursi A., Gavazzi G., Boulade O., Boulanger F., Cesarsky D., Dupraz C., Madden S., Sauvage M., Viallefond F. et Vigroux L., 1997, **A&A** **324**, pp. L13–L16  
*Mid-IR colors and star formation in Virgo and Coma galaxies.*
- Boselli A., Lequeux J., Sauvage M., Boulade O., Boulanger F., Cesarsky D., Dupraz C., Madden S., Viallefond F. et Vigroux L., 1998, **A&A** **335**, pp. 53–68  
*Mid-IR emission of galaxies in the Virgo cluster. II. Integrated properties.*
- Boselli A., Lequeux, J. et Gavazzi G., 2002, **A&A** **384**, pp.33 –47  
*Molecular gas in normal late-type galaxies.*
- Bouchet P., Lequeux J., Maurice E., Prévot L. et Prévot-Burnichon M.L., 1985, **A&A** **149**, pp. 330–336  
*The visible and infrared extinction law and the gas-to-dust ratio in the Small Magellanic Cloud.*
- Boulares A. et Cox, D.P., 1990, **ApJ** **365**, pp. 544–558  
*Galactic hydrostatic equilibrium with magnetic tension and cosmic-ray diffusion.*
- Bryant P.M. et Scoville N.Z., 1999, **AJ** **117**, pp. 2632–2655  
*High-resolution CO Observations of Luminous Infrared Galaxies.*
- Buat V., Donas J. et Deharveng J.M., 1987, **A&A** **185**, pp. 33–38  
*The initial mass function for massive stars - A comparison between the total H-alpha and ultraviolet fluxes of a sample of spiral and irregular galaxies.*

- Buat V., Deharveng, J.M. et Donas J., 1989, **A&A** **223**, pp. 42–46  
*Star formation rate and gas surface density in late-type galaxies.*
- Buat V. et Xu C., 1996, **A&A** **306**, pp. 61–72  
*Star formation and dust extinction in disk galaxies. Comparison between the UV non-ionizing and the FIR emissions.*
- Buat V., Donas J., Milliard B. et Xu C., 1999, **A&A** **352**, pp. 371–382  
*Far infrared and Ultraviolet emissions of individual galaxies at  $z=0$ : selection effects on the estimate of the dust extinction.*
- Buat V., Boselli A., Gavazzi G. et Bonfanti C., 2002, **A&A** **383**, pp. 801–812  
*Star formation and dust extinction in nearby star-forming and starburst galaxies.*
- Burstein D. et Heiles C., 1982, **AJ** **87**, pp. 1165–1189  
*Reddenings derived from H I and galaxy counts - Accuracy and maps.*
- Calzetti D., Kinney A.L. et Storchi-Bergmann T., 1994, **ApJ** **429**, pp. 582–601  
*Dust extinction of the stellar continua in starburst galaxies: The ultraviolet and optical extinction law.*
- Calzetti D., 1997, in *The Ultraviolet Universe at Low and High Redshift : Probing the Progress of Galaxy Evolution*, édité par W.H. Waller, M.N. Fanelli, J.E. Hollis et A.C. Danks (American Institute of Physics, New York), **AIP Conf. Proc.** **408.**, p.403  
*UV Opacity in Nearby Galaxies and Application to Distant Galaxies.*
- Calzetti D., Armus L., Bohlin R.C., Kinney, A.L., Koornneef, J. et Storchi-Bergmann, T., 2000, **ApJ** **533**, pp. 682–695  
*The Dust Content and Opacity of Actively Star-forming Galaxies.*
- Cardelli J.A., Clayton G.C. et Mathis J.S., 1989, **ApJ** **345**, pp. 245–256  
*The relationship between infrared, optical, and ultraviolet extinction.*
- Cardiel N., Elbaz D., Schiavon R.P., Willmer C.N.A., Koo D.C., Phillips A.C. et Gallego J., 2003, **ApJ** **584**, pp. 76–99  
*A Multiwavelength Approach to the Star Formation Rate Estimation in Galaxies at Intermediate Redshifts.*
- Carico D.P., Graham J.R., Matthews K., Wilson T.D., Soifer B.T., Neugebauer G. et Sanders D.B., 1990, **ApJ** **349**, L39–42  
*The near-infrared morphology of ultraluminous infrared galaxies.*
- Cesarsky C.J., Abergel A., Agnese P., Altieri B., Augeres J.L., Aussel H., Biviano A., Blommaert J., Bonnal J.F., Bortoletto F., Boulade O., Boulanger F., Cazes S., Cesarsky D.A., Chedin A., Claret A., Combes M., Cretolle J., Davies J.K., Desert F.X., Elbaz D., Engelmann J.J., Epstein G., Franceschini A., Gallais P., Gastaud R., Gorisse M., Guest S., Hawarden T., Imbault D., Kleczewski M., Lacombe F., Landriu D., Lapegue J., Lena P., Longair M.S., Mandolesi R., Metcalfe L., Mosquet N., Nordh L., Okumura K., Ott S., Perault M., Perrier F., Persi P., Puget P., Purkins T., Rio Y., Robert T., Rouan D., Roy A., Saint-Pe O., Sam Lone J., Sargent A., Sauvage M., Sibille F., Siebenmorgen R., Sirou F., Soufflot A., Starck J.L., Tiphene D., Tran D., Ventura G., Vigroux L., Vivares F. et Wade R., 1996a, **A&A** **315**, L32  
*ISOCAM in flight.*

- Cesarsky D., Lequeux J., Abergel A., Perault M., Palazzi E., Madden S. et Tran D., 1996b, **A&A** **315**, pp. 305–308  
*Infrared spectrophotometry of NGC 7023 with ISOCAM.*
- Cesarsky D., Lequeux J., Abergel A., Perault M., Palazzi E., Madden S. et Tran D., 1996, **A&A** **315**, pp. L309–L312  
*Infrared spectrophotometry of M 17 with ISOCAM.*
- Chary R. et Elbaz D., 2001, **ApJ** **556**, pp. 562–581  
*Interpreting the Cosmic Infrared Background: Constraints on the Evolution of the Dust-enshrouded Star Formation Rate.*
- Chièze J.-P., 1987, **A&A** **171**, pp. 225–232  
*The fragmentation of molecular clouds. I - The mass-radius-velocity dispersion relations.*
- Chiosi C. et Carraro G., 2002, **MNRAS** **335**, pp. 335–357  
*Formation and evolution of elliptical galaxies.*
- Clements D.L., Desert F.-X., Franceschini A., Reach W.T., Baker A.C., Davies J.K. et Cesarsky C., 1999, **A&A** **346**, pp. 383–391  
*A deep 12 micron survey with ISO.*
- Colbert E.J.M., Wilson A.S. et Bland-Hawthorn J., 1994, **ApJ** **436**, pp. 89–101  
*The radio emission from the ultraluminous far-infrared galaxy NGC 6240.*
- Condon J.J., 1987, **ApJS** **65**, pp. 485–541  
*A 1.49 GHz atlas of spiral galaxies with  $B(T) = +12$  or less and  $\delta = -45^\circ$  or greater.*
- Condon J.J., Helou G., Sanders D.B. et Soifer B.T., 1990, **AJSS** **73**, pp. 359–400  
*A 1.49 Atlas of the IRAS Bright Galaxy Sample.*
- Condon J.J., 1992, **ARA&A** **30**, pp. 575–611  
*Radio emission from normal galaxies.*
- Condon J.J., Anderson E. et Broderick J.J., 1995, **AJ** **109**, pp. 2318–2354  
*Radio Identifications of Extragalactic IRAS Sources.*
- Condon J.J., Helou G., Sanders D.B. et Soifer B.T., 1996, **AJSS** **103**, pp. 81–108  
*A 1.49 Atlas of the IRAS Bright Galaxy Sample. Part II.*
- Condon J.J., Cotton W.D., Greisen E.W., Yin Q.F., Perley R.A., Taylor G.B. et Broderick J.J., 1998, **AJ** **115**, pp. 1693–1716  
*The NRAO VLA Sky Survey.*
- Cowie L.L., Songaila A. et Barger, A.J., 1999, **AJ** **118**, pp. 603–612  
*Evidence for a Gradual Decline in the Universal Rest-Frame Ultraviolet Luminosity Density for  $Z < 1$ .*
- Dale D.A., Silbermann N.A., Helou G., Valjavec E., Malhotra S., Beichman C.A., Brauher J., Contursi A., Dinerstein H.L., Hollenbach D.J., Hunter D.A., Kolhatkar S., Lo K.-Y., Lord S.D., Lu N.Y., Rubin R.H., Stacey G.J., Thronson H.A. Jr., Werner M.W. et Corwin H.G. Jr., 2000, **AJ** **120**, pp. 583–603  
*ISO Mid-Infrared Observations of Normal Star-Forming Galaxies: The Key Project Sample.*



- Dale D.A., Helou G., Contursi A., Silbermann N.A., Kolhatkar S., 2001, **ApJ** **549**, pp. 215–227  
*The Infrared Spectral Energy Distribution of Normal Star-forming Galaxies.*
- de Graauw T., Haser L.N., Beintema D.A., Roelfsema P.R., van Agthoven H., Barl L., Bauer O.H., Bekenkamp H.E.G., Boonstra A.-J., Boxhoorn D.R., Cote J., de Groene P., van Dijkhuizen C., Drapatz S., Evers J., Feuchtgruber H., Frericks M., Genzel R., Haerendel G., Heras A.M., van der Hucht K.A., van der Hulst T., Huygen R., Jacobs H., Jakob G., Kamperman T., Katterloher R.O., Kester D.J.M., Kunze D., Kussendrager D., Lahuis F., Lamers H.J.G.L.M., Leech K., van der Lei S., van der Linden R., Luinge W., Lutz D., Melzner F., Morris P.W., van Nguyen D., Ploeger G., Price S., Salama A., Schaeidt S.G., Sijm N., Smoorenburg C., Spakman J., Spoon H., Steinmayer M., Stoecker J., Valentijn E.A., Vandenbussche B., Visser H., Waelkens C., Waters L.B.F.M., Wensink J., Wesselius P.R., Wiezorrek E., Wieprecht E., Wijnbergen J.J., Wildeman K.J. et Young E., 1996, **A&A** **315**, L49–54  
*Observing with the ISO Short-Wavelength Spectrometer.*
- de Grijp M.H.K., Miley G.K., Lub J., de Jong T., 1985, **Nature** **314**, pp. 240–242  
*Infrared Seyferts - A new population of active galaxies?*
- de Vaucouleurs G., de Vaucouleurs A., Corwin H.G., Buta R.J., Paturel G. et Fouque P., 1991, Springer-Verlag, New York.  
*Third Reference Catalogue of Bright Galaxies (RC3).*
- Desert F.-X., Boulanger F. et Puget J.-L., 1990, **A&A** **237**, pp. 215–236  
*Interstellar dust models for extinction and emission.*
- Devereux, N.A., 1987, **ApJ** **323**, pp. 91–107  
*The spatial distribution of 10 micron luminosity in spiral galaxie.*
- Devriendt J., Guiderdoni B., Sadat R., 1999, **A&A** **350**, pp. 381–398  
*Galaxy modelling. I. Spectral energy distributions from far-UV to sub-mm wavelengths.*
- Devriendt J.E.G. et Guiderdoni B., 2000, **A&A** **363**, pp. 851–862  
*Galaxy modelling. II. Multi-wavelength faint counts from a semi-analytic model of galaxy formation.*
- Dickinson M., Papovich C., Ferguson H.C. et Budavári T., 2003, **ApJ** **587**, pp. 25–40  
*The Evolution of the Global Stellar Mass Density at  $0 < z < 3$ .*
- Donas J., Deharveng J.M., 1984, **A&A** **140**, pp. 325–333  
*Ultraviolet luminosities and colors of spiral and irregular galaxies - The present-day star formation rate.*
- Dopita M.A., 1985, **ApJ** **295**, pp. L5–L8  
*A law of star formation in disk galaxies - Evidence for self-regulating feedback.*
- Downes A.J.B., Peacock J.A., Savage A. et Carrie D.R., 1986, **MNRAS** **218**, pp. 31–62  
*The Parkes selected regions - Powerful radio galaxies and quasars at high redshifts.*
- Downes D. et Solomon P.M., 1998, **ApJ** **507**, pp. 615–654  
*Rotating Nuclear Rings and Extreme Starbursts in Ultraluminous Galaxies.*

- Downes D., Neri R., Greve A., Guilloteau S., Casoli F., Hughes D., Lutz D., Menten K.M., Wilner D.J., Andreani P., Bertoldi F., Carilli C.L., Dunlop J., Genzel R., Gueth F., Ivison R.J., Mann R.G., Mellier Y., Oliver S., Peacock J., Rigopoulou D., Rowan-Robinson M., Schilke P., Serjeant S., Tacconi L.J. et Wright M., 1999, **A&A** **347**, pp. 809–820  
*Proposed identification of Hubble Deep Field submillimeter source HDF 850.1.*
- Draine B.T. et Lee H.M., 1984, **ApJ** **285**, pp. 89–108  
*Optical properties of interstellar graphite and silicate grains.*
- Dressler A., Faber S.M., Burstein D., Davies R.L., Lynden-Bell Donald, Terlevich R.J. et Wegner G., 1987, **ApJ** **313**, pp. L37–L42  
*Spectroscopy and photometry of elliptical galaxies - A large-scale streaming motion in the local universe.*
- Driver S.P., Fernandez-Soto A., Couch W.J., Odewahn S.C., Windhorst R.A., Phillips S., Lanzetta K. et Yahil A., 1998, **ApJ** **496**, pp. L93–L97  
*Morphological Number Counts and Redshift Distributions to  $I < 26$  from the Hubble Deep Field: Implications for the Evolution of Ellipticals, Spirals, and Irregulars.*
- Duc P.-A., Poggianti B. M., Fadda D., Elbaz D., Flores H., Chaniel P., Franceschini A., Moorwood A. et Cesarsky C., 2002a, **A&A** **382**, pp. 60–83  
*Hidden star-formation in the cluster of galaxies Abell 16.*
- Duc P.-A., Hall P.B., Fadda D., Chaniel P., Elbaz D., Monaco P., Pompei E., Poggianti B. M., Flores H., Franceschini A., Biviano A., Moorwood A. et Cesarsky C., 2002b, **A&A** **389**, pp. L47–L50  
*An unusual iron Lo-BAL quasar detected by ISOCAM.*
- Duley W.W. et Williams D.A., 1981, **MNRAS** **196**, pp. 269–274  
*The infrared spectrum of interstellar dust - Surface functional groups on carbon.*
- Dunne L., Eales S.A., Edmunds M.G., Ivison R.J., Alexander P. et Clements D.L., 2000, **MNRAS** **315**, pp. 115–139  
*The SCUBA Local Universe Galaxy Survey - I. First measurements of the submillimetre luminosity and dust mass functions.*
- Dwek E., 1998, **ApJ** **501**, pp. 643–665  
*The Evolution of the Elemental Abundances in the Gas and Dust Phases of the Galaxy.*
- Dwek E. et Arendt R.G., 1998, **ApJ** **508**, pp. L9–L12  
*A Tentative Detection of the Cosmic Infrared Background at 3.5  $\mu$ m from COBE/DIRBE Observations.*
- Dwek E., Arendt R.G., Hauser M.G., Fixsen D., Kelsall T., Leisawitz D., Pei Y.C., Wright E.L., Mather J.C., Moseley S.H., Odegard N., Shafer R., Silverberg R.F., Weiland J.L., 1998, **ApJ** **508**, pp. 106–122  
*The COBE Diffuse Infrared Background Experiment Search for the Cosmic Infrared Background. IV. Cosmological Implications.*
- Efstathiou A., Rowan-Robinson M. et Siebenmorgen R., 2000, **MNRAS** **313**, pp. 734–744  
*Massive star formation in galaxies: radiative transfer models of the UV to millimetre emission of starburst galaxies.*

- Elbaz D., Cesarsky C.J., Fadda D., Aussel H., Désert F.-X., Franceschini A., Flores H., Harwit M., Puget J.-L., Starck J.-L., Clements D.L., Danese L., Koo D.C. et Mandolesi R., 1999, **A&A** **351**, pp. L37–L40  
*Source counts from the 15  $\mu$  m ISOCAM Deep Surveys.*
- Elbaz D., Cesarsky C., Chanial P., Aussel H., Franceschini A., Fadda D. et Chary R.R., 2001a, **A&A** **384** pp. 848–865  
*The bulk of the cosmic infrared background resolved by ISOCAM.*
- Elbaz D., Flores H., Chanial P., Mirabel I.F., Sanders D., Duc P.-A., Cesarsky C.J. et Aussel H., 2002b, **A&A** **381**, L1–L4  
*ISOCAM mid-infrared detection of HR10: A distant clone of Arp 220 at  $z=1$ .*
- Elmegreen B.G., 1989, **ApJ** **338**, pp. 178–196  
*A pressure and metallicity dependence for molecular cloud correlations and the calibration of mass.*
- Elmegreen B.G., 1994, **ApJ** **425**, pp. L73–L76  
*Starbursts by gravitational collapse in the inner Lindblad resonance rings of galaxies.*
- Elmegreen B.G. et Falgarone E., 1995, **ApJ** **471**, pp. 816–821  
*A Fractal Origin for the Mass Spectrum of Interstellar Clouds.*
- Elmegreen B.G., 1997a, **477**, p. 196  
*Intercloud Structure in a Turbulent Fractal Interstellar Medium.*
- Elmegreen B.G., 1997b, in *Starburst Activity in Galaxies*, **Rev. Mex. Astron. Astrofis., Conf. Ser.** **6**, pp. 165–171  
*Theory of Starbursts in Nuclear Rings.*
- Elmegreen, B.G. et Elmegreen D.M., 2001, **AJ** **121**, pp. 1507–1511  
*Fractal Structure in Galactic Star Fields.*
- Fadda D., Flores H., Hasinger G., Franceschini A., Altieri B., Cesarsky C.J., Elbaz D. et Ferrando P., 2002, **A&A** **382**, pp. 838–853  
*The AGN contribution to mid-infrared surveys. X-ray counterparts of the mid-IR sources in the Lockman Hole and HDF-N.*
- Fioc M. et Rocca-Volmerange B., 1999, **A&A** **351**, pp. 869–882  
*A statistical study of nearby galaxies. I. NIR growth curves and optical-to-NIR colors as a function of type, luminosity and inclination.*
- Fitzpatrick E.L., Massa D., 1988, **ApJ** **328**, pp. 734–746  
*An analysis of the shapes of ultraviolet extinction curves. II-The far-UV extinction.*
- Fixsen D.J., Dwek E., Mather J.C., Bennett C.L. et Shafer R.A., 1998, **ApJ** **508**, pp. 123–128  
*The Spectrum of the Extragalactic Far-Infrared Background from the COBE FIRAS Observations.*
- Flores H., Hammer F., Thuan T.X., Césarsky C., Desert F.X., Omont A., Lilly S.J., Eales S., Crampton D., et Le Fèvre O., 1999, **ApJ** **517**, pp. 148–167  
*15 Micron Infrared Space Observatory Observations of the 1415+52 Canada-France Redshift Survey Field: The Cosmic Star Formation Rate as Derived from Deep Ultraviolet, Optical, Mid-Infrared, and Radio Photometry.*

- Fomalont E.B., Windhorst R.A., Kristian J.A. et Kellerman K.I., 1991, **AJ** **102**, pp. 1258–1277  
*The micro-Jansky radio source population at 5 GHz.*
- Franceschini A. et Andreani P., 1995, **ApJ** **440**, pp. L5–L8  
*Millimeter observations of a complete sample of IRAS galaxies: Dust emission and absorption in spirals.*
- Franceschini A., Silva L., Fasano G., Granato L., Bressan A., Arnouts S. et Danese L., 1998, **ApJ** **506**, pp. 600–620  
*Early-Type Galaxies in the Hubble Deep Field: The Star Formation History.*
- Franceschini A., Aussel H., Cesarsky C.J., Elbaz D. et Fadda D., 2001, **A&A** **378**, pp. 1–29  
*A long-wavelength view on galaxy evolution from deep surveys by the Infrared Space Observatory.*
- Frayser D.T., Seaquist E.R., Thuan T.X. et Sievers A., 1998, **ApJ** **503**, pp. 231–238  
*Molecular Gas in Markarian 109: Constraining the O<sub>2</sub>/CO Ratio in Chemically Young Galaxies.*
- Gallagher, J.S. et Hunter D.A., 1984, **A&A** **22**, pp. 37–74  
*Structure and Evolution of Irregular Galaxies.*
- Gao Y. et Solomon P.M., 1999, **ApJ** **512**, pp. L99–L103  
*Molecular Gas Depletion and Starbursts in Luminous Infrared Galaxy Mergers.*
- Georgakakis, A., Forbes D.A. et Norris R.P., 2000, **MNRAS** **318**, pp. 124–138  
*Cold gas and star formation in a merging galaxy sequence.*
- Gispert R., Lagache G. et Puget J.-L., 2000, **A&A** **360**, pp. 1–9  
*Implications of the cosmic infrared background for light production and the star formation history in the Universe.*
- Goldader J.D., Meurer G., Heckman T.M., Seibert M., Sanders D.B., Calzetti D. et Steidel C.C., 2002, **ApJ** **568**, pp. 651–678  
*Far-Infrared Galaxies in the Far-Ultraviolet.*
- Gordon K.D., Clayton G.C., Witt A.N. et Misselt K.A., 2000, **ApJ** **533**, pp. 236–244  
*The Flux Ratio Method for Determining the Dust Attenuation of Starburst Galaxies.*
- Gorjian V., Wright E.L. et Chary R.R., 2000, **ApJ** **536**, pp. 550–560  
*Tentative Detection of the Cosmic Infrared Background at 2.2 and 3.5 Microns Using Ground-based and Space-based Observations.*
- Green D.A., 1998, Mullard Radio Astronomy Observatory, Cavendish Laboratory, Cambridge, United Kingdom (disponible en ligne à l'adresse: <http://www.mrao.cam.ac.uk/surveys/snrs/>)  
*A Catalogue of Galactic Supernova Remnants.*
- Greenberg J.M. et Chlewicki G., 1983, **ApJ** **272**, pp. 563–578  
*A far-ultraviolet extinction law - What does it mean?*
- Greenberg J.M., 1989, in *Interstellar dust*, édité par L.J. Allamandola et A.G.G.M. Tielens (Kluwer, Dordrecht), **IAU Symp.** **135**, p. 345  
*The Core-Mantle Model of Interstellar Grains and the Cosmic Dust Connection.*

- Guiderdoni B., 1987, **A&A** **172**, pp. 27–31  
*Evolution of spiral galaxies in the Virgo cluster. II - Evidence for a threshold in star formation processes.*
- Guiderdoni B. et Rocca-Volmerange B., 1987, **A&A** **186**, pp. 1–21  
*A model of spectrophotometric evolution for high-redshift galaxies.*
- Guiderdoni B., Bouchet F.R., Puget J.-L., Lagache G. et Hivon E., 1997, **Nature** **390**, p. 257  
*The optically dark side of galaxy formation.*
- Guiderdoni B., Hivon E., Bouchet F.R. et Maffei B., 1998, **MNRAS** **295**, pp. 877–898  
*Semi-analytic modelling of galaxy evolution in the IR/submm range.*
- Hammer F., Gruel N., Thuan T.X., Flores H. et Infante L., 2001, **ApJ** **550**, pp. 570–584  
*Luminous Compact Galaxies at Intermediate Redshifts: Progenitors of Bulges of Massive Spirals?*
- Hauser M.G., Arendt R.G., Kelsall T., Dwek E., Odegard N., Weiland J.L., Freudenreich H.T., Reach W.T., Silverberg R.F., Moseley S.H., Pei Y.C., Lubin P., Mather J.C., Shafer R.A., Smoot G.F., Weiss R., Wilkinson D.T. et Wright E.L., 1998, **ApJ** **508**, pp. 25–43  
*The COBE Diffuse Infrared Background Experiment Search for the Cosmic Infrared Background. I. Limits and Detections.*
- Helou G., Soifer B.T., Rowan-Robinson M., 1985, **ApJ** **298**, pp. L7–L11  
*Thermal infrared and nonthermal radio - Remarkable correlation in disks of galaxies.*
- Helou G., 1986, **ApJ** **311**, pp. L33–L36  
*The IRAS colors of normal galaxies.*
- Helou G. et Walker D.W., 1988, **NASA RP-1190**, Vol. 7  
*IRAS Catalogs and Atlases: The Small Scale Structure Catalog.*
- Helou G., Khan I.R., Malek L., Boehmer L., 1988, **ApJS** **68**, pp. 151–172  
*IRAS observations of galaxies in the Virgo cluster area.*
- Helou G., Lu Nanyao Y., Werner M. W., Malhotra S. et Silbermann N., 2000, **ApJ** **532**, pp. L21–L24  
*The Mid-Infrared Spectra of Normal Galaxies.*
- Hill G.J., Becklin E.E. et Wynn-Williams C.G., 1988, **ApJ** **330**, pp. 737–742  
*Infrared sizes and colors of selected IRAS galaxies.*
- Hogg D.W., Cohen J.G., Blandford R. et Pahre M.A., 1998, **ApJ** **504**, pp. 622–628  
*The OII Luminosity Density of the Universe.*
- Howarth I.D., 1983, **MNRAS** **203**, pp.301–304  
*LMC and galactic extinction.*
- Huchra J.P., Geller M.J., Clemens C.M., Tokarz S.P. et Michel A., 1992, **Bull. Inf. CDS** **41**, p. 31  
*CfA redshift catalogue.*

- Hughes D.H., Serjeant S., Dunlop J., Rowan-Robinson M., Blain A., Mann R.G., Ivison R., Peacock J., Efstathiou A., Gear W., Oliver S., Lawrence A., Longair M., Goldschmidt P. et Jenness T., 1998, **Nature** **394**, pp. 241–247  
*High-redshift star formation in the Hubble Deep Field revealed by a submillimetre-wavelength survey.*
- Hunter D.A., Elmegreen B.G. et van Woerden H., 2001, **ApJ** **556**, pp. 773–800  
*Neutral Hydrogen and Star Formation in the Irregular Galaxy NGC 2366.*
- Hwang C.-Y., Lo K.Y., Gao Y., Gruendl R.A. et Lu N.Y., 1999, **ApJ** **511**, pp. L17–L20  
*Mid-Infrared Images of Luminous Infrared Galaxies in a Merging Sequence.*
- Inoue A.K. et Kamaya H., 2000, **PASJ** **52**, pp. L47–L51  
*Structural Model of Molecular Cloud Complexes: Mass, Size, and External Pressure.*
- Jarrett T.H., Chester T., Cutri R., Schneider S., Skrutskie M. et Huchra J.P., 2000, **AJ** **119**, pp. 2498–2531  
*2MASS Extended Source Catalog: Overview and Algorithms.*
- Jones A.P., Tielens A.G., Hollenbach D.J. et McKee C.F., 1994, **ApJ** **433**, pp. 797–810  
Grain destruction in shocks in the interstellar medium.
- Jones A.P., Tielens A.G. et Hollenbach D.J., 1996, **ApJ** **469**, pp. 740–764  
Grain Shattering in Shocks: The Interstellar Grain Size Distribution.
- Jones A. et d’Hendécourt L., 2000, **A&A** **355**, pp. 1191–1200  
*Interstellar nanodiamonds: the carriers of mid-infrared emission bands?*
- Joseph R.D. et Wright G.S., 1985, **MNRAS** **214**, pp. 87–96  
*Recent star formation in interacting galaxies. II - Super starburst in merging galaxies.*
- Karachentsev I.D. et Makarov D.A., 1996, **AJ** **111**, pp. 794–803  
*The galaxy motion relative to nearby galaxies and the local velocity field.*
- Kenney J.P., Wilson C.D., Scoville, N.Z., Devereux N.A. et Young J.S., 1992, **ApJ** **395**, pp. L79–L82  
*Twin peaks of CO emission in the central regions of barred galaxies.*
- Kennicutt R.C. Jr., 1983, **ApJ** **272**, pp. 54–67  
*The rate of star formation in normal disk galaxies.*
- Kennicutt R.C. Jr., 1989, **ApJ** **344**, pp. 685–703  
*The star formation law in galactic disks.*
- Kennicutt R.C. Jr., 1992, **ApJ** **388**, pp. 310–327  
*The integrated spectra of nearby galaxies - General properties and emission-line spectra.*
- Kennicutt R.C., 1998 **ApJ** **498**, pp. 541–552  
*The Global Schmidt Law in Star-forming Galaxies.*
- Klaas U., Haas M., Müller S.A.H., Chini R., Schulz B., Coulson I., Hippelein H., Wilke K., Albrecht M. et Lemke D., 2001, **A&A** **379**, pp. 823–844  
*Infrared to millimetre photometry of ultra-luminous IR galaxies: New evidence favouring a 3-stage dust model.*

- Krause O., Lisenfeld U., Klaas U., Lemke D. et Stickel M., 2002, in *Exploiting the ISO Data Archive. Infrared Astronomy in the Internet Age*, édité par C. Gry, S. Peschke, J. Matagne, P. Garcia-Lario, R. Lorente et A. Salama, **ESA-SP 511**, p. 285  
*ISOPHOT's Serendipity Survey discovers an unusually cold ultraluminous infrared galaxy.*
- Lagache G., Haffner L.M., Reynolds R.J. et Tufte S.L., 2000, **A&A 354**, pp. 247–252  
*Evidence for dust emission in the Warm Ionised Medium sing WHAM data.*
- Lanoix P., Garnier R., Paturel G., Petit C., Rousseau J. et di Nella-Courtois H., 1999, **AN 320**, pp. 21–25  
*Extragalactic Cepheid database.*
- Larson R.B., 1988, in *Galactic and Extragalactic Star Formation*, édité par R.E. Pudritz et M. Fich (Kluwer, Dordrecht), **NATO ASI Ser. C 232**, p. 459  
*Large-Scale Aspects of Star Formation and Galactic Evolution.*
- Laurent O., 1999, **Thèse de doctorat**  
*Etude de galaxies à flambées d'étoiles et à noyau actif dans l'infrarouge moyen avec ISOCAM.*
- Laurent O., Mirabel I.F., Charmandaris V., Gallais P., Sauvage M., Vigroux L. et Cesarsky C., 2001, **Ap&SS 276**, 569  
*A New Mid-Infrared Diagnostic between AGN and Starbursts.*
- Le Fèvre O., Abraham R., Lilly S.J., Ellis R.S., Brinchmann J., Schade D., Tresse L., Colless M., Crampton D., Glazebrook K., Hammer F. et Broadhurst T., 2000, **MNRAS 311**, pp. 565–575  
*Hubble Space Telescope imaging of the CFRS and LDSS redshift surveys - IV. Influence of mergers in the evolution of faint field galaxies from  $z \simeq 1$ .*
- Lemke D., Klaas U., Abolins J., Abraham P., Acosta-Pulido J., Bogun S., Castaneda H., Cornwall L., Drury L., Gabriel C., Garzon F., Gemuend H.P., Groezinger U., Gruen E., Haas M., Hajduk C., Hall G., Heinrichsen I., Herbstmeier U., Hirth G., Joseph R., Kinkel U., Kirches S., Koempe C., Kraetschmer W., Kreysa E., Krueger H., Kunkel M., Laureijs R., Luetzow-Wentzky P., Mattila K., Mueller T., Pacher T., Pelz G., Popow E., Rasmussen I., Rodriguez Espinosa J., Richards P., Russell S., Schnopper H., Schubert J., Schulz B., Telesco C., Tilgner C., Tuffs R., Voelk H., Walker H., Wells M. et Wolf J., 1996, **A&A 315**, pp.L64–70  
*ISOPHOT - capabilities and performance.*
- Léger A. et Puget J.-L., 1984, **A&A 137**, L5–8  
*Identification of the 'unidentified' IR emission features of interstellar dust.*
- Lehnert M.D. et Heckman, T.M., 1996, **ApJ 472**, pp. 546–563  
*The Nature of Starburst Galaxies.*
- Leisawitz D., Bash F.N. et Thaddeus P., 1989, **ApJS 70**, pp. 731–812  
*A CO survey of regions around 34 open clusters.*
- Lequeux J., Maurice E., Prévot L., Prévot-Burnichon M.L. et Rocca-Volmerange B., 1984, in *Structure and evolution of the Magellanic Clouds*, édité par S. Van der Bergh et K.S. de Boer, **IAU Symp. 108**, pp.403–404  
*SMC - UV Extinction Curves, Gas to Color-Excess Ratios.*
- Lequeux J., 1988, in *Dust in the universe*, édité par M. Bailey et D.A. Williams (Cambridge Univ. Press, Cambridge), pp. 449–460  
*Dust in the Magellanic Clouds, M31 and M33, and large-scale variations in the Galaxy.*

- Lequeux J., 2002, Coll. *Savoirs actuels*, (EDP Sciences/CNRS Éditions), 487 p.  
*Le milieu interstellaire.*
- Li A., Greenberg J.M., 1997, **A&A** **323**, pp. 566–584  
*A unified model of interstellar dust.*
- Li A. et Draine B. T., 2002, **ApJ** **572**, pp. 232-237  
*Do the Infrared Emission Features Need Ultraviolet Excitation? The Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Model in UV-poor Reflection Nebulae.*
- Lilly S.J., Le Fevre O., Hammer F. et Crampton D., 1996, **ApJ** **460**, pp. L1–L4  
*The Canada-France Redshift Survey: The Luminosity Density and Star Formation History of the Universe to Z approximately 1.*
- Lilly S., Schade D., Ellis R., Le Fevre O., Brinchmann J., Tresse L., Abraham R., Hammer F., Crampton D., Colless M., Glazebrook K., Mollen-Ornelas G et Broadhurst T, 1998, **ApJ** **500**, pp. 75–94  
*Hubble Space Telescope Imaging of the CFRS and LDSS Redshift Surveys. II. Structural Parameters and the Evolution of Disk Galaxies to Z approximately 1.*
- Lisenfeld U., Völk H.J., Xu C., 1996, **A&A** **306**, pp. 677–690  
*A quantitative model of the FIR/radio correlation for normal late-type galaxies.*
- Lisenfeld U., Ferrara A., 1998, **ApJ** **496**, pp. L145–L148  
*Dust-to-Gas Ratio and Metal Abundance in Dwarf Galaxies.*
- Lisenfeld U., Isaak K.G. et Hills R., 2000, **MNRAS** **312**, pp. 433–441  
*Dust and gas in luminous infrared galaxies - results from SCUBA observations.*
- Lisenfeld U., Völk H.J., 2000, **A&A** **354**, pp. 423–430  
*On the radio spectral index of galaxies.*
- Longo G., Ceriello A. et Capaccioli M., 1991, **A&AS** **90**, pp. 375–386  
*The UV properties of normal galaxies. I - The IUE data.*
- Lonsdale-Persson, C.J., Helou, G., 1987, **ApJ** **314**, pp. 513–524  
*On the origin of the 40-120 micron emission of galaxy disks: A comparison with H $\alpha$  fluxes.*
- Lonsdale C.J., Hacking P.B., Conrow T.P. et Rowan-Robinson M., 1990, **ApJ** **358**, pp. 60–80  
*Galaxy evolution and large-scale structure in the far-infrared. II - The IRAS faint source survey.*
- Lonsdale Carol J., Smith, H.E., Lonsdale, Colin J., 1995, **ApJ** **438**, pp. 632–642  
*Ultraluminous infrared galaxies and the radio-optical correlation for quasars.*
- Lutz D., 1999, in *The Universe as seen by ISO*, édité par P. Cox et M.F. Kessler, **ESA-SP 427**, p. 623  
*ISO observations of the Galactic Centre.*
- Madau P., Ferguson H.C., Dickinson M.E., Giavalisco M., Steidel C.C. et Fruchter A., 1996, **MNRAS** **283**, pp. 1388–1404  
*High-redshift galaxies in the Hubble Deep Field: colour selection and star formation history to z $\approx$ 4.*



- Madau P., Pozzetti L. et Dickinson M., 1998, **ApJ** **498**, pp. 106–116 *The Star Formation History of Field Galaxies*.
- Madau P. et Pozzetti L., 2001, **MNRAS** **312**, pp. L9–L15  
*Deep galaxy counts, extragalactic background light and the stellar baryon budget*.
- Madden S.C., Vigroux L., Sauvage M., 1997, in *Extragalactic Astronomy in the Infrared*, édité par G.A. Mamon, Trinh Xuan Thuan et J. Tran Thanh Van. (Editions Frontières, Paris), 1997., pp. 229  
*Mid Infrared Observations of Early-Type Galaxies*.
- Marcum, Pamela M., O’Connell, R.W., Fanelli, M.N., Cornett, R.H., Waller W.H., Bohlin R.C., Neff S.G., Roberts M.S., Smith A.M., Cheng K.-P., Collins N.R., Hennessy G.S., Hill J.K., Hill R.S., Hintzen P., Landsman W.B., Ohl R.G., Parise R.A., Smith E.P., Freedman W.L., Kuchinski L.E., Madore B., Angione R., Palma C., Talbert F., Stecher T.P., 2001, **ApJS** **132**, pp. 129–198  
*An Ultraviolet/Optical Atlas of Bright Galaxies*.
- Marsh K.A. et Helou G., 1995, **ApJ** **445**, pp. 599–606  
*The spatial variation of the infrared-to-radio ratio in spiral galaxies*.
- Marsh K.A. et Helou G., 1995, **ApJ** **493**, pp. 121–128  
*Observational Constraints on the Diffusion of Cosmic-ray Electrons in Spiral Galaxies*.
- Martin C., Hurwitz M. et Bowyer S., 1991, **ApJ** **379**, pp. 549–563  
*Spectroscopic limits to an extragalactic far-ultraviolet background*.
- Mathis J.S., Ruml W. et Nordsieck K.H., 1977, **ApJ** **217**, pp. 425–433  
*The size distribution of interstellar grains*.
- Mathis J.S., Mezger P.G., Panagia N., 1983, **A&A** **128**, pp. 212–229  
*Interstellar radiation field and dust temperatures in the diffuse interstellar matter and in giant molecular clouds*.
- Mayya Y.D. et Rengarajan T.N., 1997, **AJ** **114**, pp. 932–945  
*Spatial distribution of far-infrared emission in spiral galaxies. I. Relation with radio continuum emission*.
- Meier D.S., Turner J.L. et Beck S.C., 2002, **AJ** **124**, pp. 877–885  
*Molecular Gas and the Young Starburst in NGC 5253 Revisited*.
- Meurer G.R., Heckman T.M. et Lehnert M.D., 1997, **AJ** **114**, pp. 54–68  
*The Panchromatic Starburst Intensity Limit at Low and High Redshift*.
- Meurer G.R., Heckman, T.M. et Calzetti D., 1999, **ApJ** **521**, pp. 64–80  
*Dust Absorption and the Ultraviolet Luminosity Density at  $Z \sim 3$  as Calibrated by Local Starburst Galaxies*.
- Mirabel I.F. et Sanders D.B., 1989, **ApJ** **340**, pp. L53–L56  
*The Ratio of Molecular to Atomic Gas in Infrared Luminous Galaxies*.
- Misselt K.A., Gordon K.D., Clayton G.C. et Wolff M.J., 2001 **ApJ** **551**, pp. 277–293  
*The DIRTY Model. II. Self-consistent Treatment of Dust Heating and Emission in a Three-dimensional Radiative Transfer Code*.

- Moshir M., Kopan G., Conrow T., McCallon H., Hacking P., Gregoritch D., Rohrbach G., Melnyk M., Rice W., Fullmer L., White J. et Chester T., 1989, **Infrared Processing and Analysis Center**  
*IRAS Faint Source Catalog,  $|b| > 10$  Degrees, Version 2.0.*
- Natta et Panagia, 1984, **ApJ** **287**, pp. 228–237  
*Extinction in inhomogeneous clouds.*
- Niklas S. et Beck R., 1997, **A&A** **320**, pp.54–64  
*A new approach to the radio-far infrared correlation for non-calorimeter galaxies.*
- Niklas S., Klein U. et Wielebinski R., 1997, **A&A** **322**, pp.19–28  
*A radio continuum survey of Shapley-Ames galaxies at  $\lambda = 2.8\text{cm}$ . II. Separation of thermal and non-thermal radio emission.*
- Partridge R.B. et Peebles P.J.E., 1967, **ApJ** **148**, pp. 377–398  
*Are Young Galaxies Visible? II. The Integrated Background.*
- Paturel G., Fang Y., Petit C., Garnier R. et Rousseau J., 1990, **A&ASS** **146**, pp.19–29  
*An image database.*
- Papoular R., Conrad J., Giuliano M., Kister J. et Mille G., 1989, **A&A** **217**, pp. 204–208  
*A coal model for the carriers of the unidentified IR bands.*
- Papoular R., Ellis K., Guillois O., Reynaud C. et Nenner I. 1993, **J. Chem. Soc. Faraday Trans.** **89**, pp. 2289–2295  
*New developments of the coal model of interstellar dust.*
- Pierre M., Lidman C., Hunstead R., Alloin D., Casali M., Cesarsky C., Chaniel P., Duc P.-A., Fadda D., Flores H., Madden S. et Vigroux L., 2001, **A&A** **372**, pp. 45–49L  
*The first ISO ERO: A dusty quasar at  $z = 1$ .*
- Planesas P., Mirabel I.F. et Sanders D.B., 1991, **ApJ** **370**, pp.172–175  
*High-resolution CO observations of luminous infrared galaxies with large  $L(\text{ir})/L(B)$  ratios - IRAS 10173+0828, Zw 049.057, IRAS 17208-0014.*
- Pozzetti L., Madau P., Zamorani G., Ferguson H.C. et Bruzual A.G., 1998, **MNRAS** **298**, pp. 1133–1144  
*igh-redshift galaxies in the Hubble Deep Field - II. Colours and number counts.*
- Prévot M.L., Lequeux J., Prévot L., Maurice E. et Rocca-Volmerange B., 1984, **A&A** **132**, pp. 389–392  
*The typical interstellar extinction in the Small Magellanic Cloud.*
- Prugniel P. et Heraudeau P., 1998, **A&AS** **128**, pp. 299–308  
*Total magnitude, radius, color indices, color gradients and photometric type of galaxies.*
- Pudritz R.E., 2001, in *From Darkness to Light: Origin and Evolution of Young Stellar Clusters*, édité par T. Montmerle et P. André (Astronomical Society of the Pacific, San Francisco), **ASP Conf. Ser.** **243**, p. 3  
*Clustered Star Formation.*
- Puget J.-L. et Léger A., 1989, **ARA&A** **27**, pp. 161–198  
*A new component of the interstellar matter - Small grains and large aromatic molecules.*

- Puget J.-L., Abergel A., Bernard J.-P., Boulanger F., Burton W.B., Desert F.-X. et Hartmann, D., 1996, **A&A** **308**, pp. L5–L8  
*Tentative detection of a cosmic far-infrared background with COBE.*
- Puget J.-L., Lagache G., Clements D.L., Reach W.T., Aussel H., Bouchet F.R., Cesarsky C., Désert F.X., Dole H., Elbaz D., Franceschini A., Guiderdoni B. et Moorwood A.F.M., 1999, **A&A** **345**, pp. 29–35  
*FIRBACK. I. A deep survey at 175 microns with ISO, preliminary results.*
- Quirk W.J., 1972, **ApJ** **176**, pp. L9–L14  
*On the Gas Content of Galaxies.*
- Regan M.W., Vogel S.N. et Teuben P.J., 1995, **ApJ** **449**, pp. 576–591  
*Dust and Molecular Gas in the Barred Spiral Galaxy NGC 1530.*
- Renault C., Barrau A., Lagache G. et Puget J.-L., 2001, **A&A** **371**, pp. 771–778  
*New constraints on the cosmic mid-infrared background using TeV gamma-ray astronomy.*
- Rice W., Lonsdale C.J., Soifer B.T., Neugebauer G., Koplan E.L., Lloyd L.A., de Jong T. et Habing H.J., 1988, **ApJS** **68**, pp. 91–127  
*The Large Optical Galaxy Catalogue.*
- Rieke G.H. et Lebofsky M.J., 1985, **ApJ** **288**, pp. 618–621  
*The interstellar extinction law from 1 to 13 microns.*
- Rieke G.H., Cutri R.M., Black J.H., Kailey W.F., McAlary C.W., Lebofsky M. J., et Elston R., 1985, **ApJ** **290**, pp. 116–124  
*10 to the 12th solar luminosity starbursts and shocked molecular hydrogen in the colliding galaxies ARP 220 (= IC 4553) and NGC 6240.*
- Rifatto A., Longo G. et Capaccioli M., 1995a, **A&AS**, pp. 341–345  
*The UV properties of normal galaxies. II. The “non-IUE” data.*
- Rifatto A., Longo G. et Capaccioli M., 1995b, **A&AS** **114**, pp. 527–536  
*The UV properties of normal galaxies. III. Standard luminosity profiles and total magnitudes.*
- Roche P.F. et Aitken D.K., 1986, **MNRAS** **221**, pp. 63–76  
*The infrared spectral properties of planetary nebulae.*
- Rodighiero G., Franceschini A. et Fasano et G., 2001, **MNRAS** **324**, pp. 491–497  
*Deep Hubble Space Telescope imaging surveys and the formation of spheroidal galaxies.*
- Roussel H., 2001, **thèse de doctorat**  
*Emission en infrarouge moyen des poussières dans les galaxies spirales: liens avec la formation d'étoiles et avec la dynamique des galaxies barrées.*
- Roussel H., Vigroux L., Bosma A., Sauvage M., Bonoli C., Gallais P., Hawarden T., Lequeux J., Madden, S. et Mazzei P., 2001a, **A&A** **369**, pp. 473–509  
*An atlas of mid-infrared dust emission in spiral galaxies.*
- Roussel H., Sauvage M., Vigroux L., Bosma A., Bonoli C., Gallais P., Hawarden T., Madden S. et Mazzei P., 2001b, **A&A** **372**, pp.406–426  
*The impact of bars on the mid-infrared dust emission of spiral galaxies: global and circumnuclear properties.*

- Roussel H., Sauvage M., Vigroux L. et Bosma A., 2001*v*, **A&A** **372**, pp. 427–437  
*The relationship between star formation rates and mid-infrared emission in galactic disks.*
- Rowan-Robinson M., 1987, in *Star Formation in Galaxies* (NASA, Washington), pp. 133–152  
*Models for infrared emission from IRAS galaxies.*
- Rowan-Robinson, M., Lawrence A., Saunders W., Crawford J., Ellis R., Frenk C. S., Parry I., Xiaoyang X., Allington-Smith J., Efstathiou G. et Kaiser N., 1990, **MNRAS** **247**, pp. 1–18  
*A Sparse-Sampled Redshift Survey of IRAS Galaxies - Part One - the Convergence of the IRAS Dipole and the Origin of Our Motion with Respect to the Microwave Background.*
- Rowan-Robinson M., Sharpe J., Oliver S.J., Keeble O., Canavezes A., Saunders W., Taylor A.N., Valentine H., Frenk C.S., Efstathiou G.P., McMahon R.G., White S.D.M., Sutherland W., Tadros H. et Maddox S., 2000, **MNRAS** **314**, pp. 375–397  
*The IRAS PSCz dipole.*
- Rush B., Malkan M.A. et Spinoglio L., 1993, **ApJS** **89**, pp. 1–33  
*The extended 12 micron galaxy sample.*
- Sage L.J., Loose H.H. et Salzer J.J., 1993, **A&A** **273**, pp. 6–14  
*Powering the Starburst in the Merging System Mrk 297.*
- Sakata A., Wada S., Tanabe T. et Onaka T., 1984, **ApJ** **287**, L51  
*Infrared spectrum of the laboratory-synthesized quenched carbonaceous composite (QCC) - Comparison with the infrared unidentified emission bands.*
- Sakata A., Wada S., Onaka T. et Tokunaga A.T., 1990, **ApJ** **353**, pp. 543–548  
*Quenched carbonaceous composite. III - Comparison to the 3.29 micron interstellar emission feature.*
- Salpeter E.E., 1955, **ApJ** **121**, pp. 161–167  
*The Luminosity Function and Stellar Evolution.*
- Sanders D.B., Soifer B.T., Elias J.H., Madore B.F., Matthews K., Neugebauer G. et Scoville N.Z., 1988*a*, **ApJ** **325**, pp. 74–91  
*Ultraluminous infrared galaxies and the origin of quasars.*
- Sanders D.B., Soifer B.T., Scoville N.Z. et Sargent A.I., 1988*b*, **ApJ** **324**, pp. L55–L58  
*Aperture synthesis mapping of molecular gas in high-luminosity IRAS galaxies.*
- Sanders D.B., Scoville N.Z. et Soifer B.T., 1991, **ApJ** **370**, pp. 158–171  
*Molecular gas in luminous infrared galaxies.*
- Sanders D.B. et Mirabel I.F., 1996, **ARA&A** **34**, pp. 749–792  
*Luminous Infrared Galaxies.*
- Saunders W., Sutherland W.J., Maddox S.J., Keeble O., Oliver S.J., Rowan-Robinson M., McMahon R.G., Efstathiou G.P., Tadros H., White S.D.M., Frenk C.S., Carraminana A. et Hawkins M.R.S., 2000, **MNRAS** **317**, pp. 55–64  
*The Point Source Catalogue with redshift.*
- Sauvage M. et Thuan T.X., 1992, **ApJ** **396**, pp. L69–L73  
*On the use of far-infrared luminosity as a star formation indicator in galaxies.*

- Sauvage M., Madden S.C. et Thuan T.X., 1999, in *The Universe as seen by ISO*, édité par P. Cox et M.F. Kessler, **ESA-SP 427**, p. 961  
*Dust in the extremely metal-poor galaxy SBS 0335-052.*
- Scalo J.M., 1986, **Fund. Cosm. Ph.** 11, p. 1  
*The stellar initial mass function.*
- Schlegel D.J., Finkbeiner D.P., Davis M., 1998, **ApJ** 500, pp. 525–553  
*Maps of Dust Infrared Emission for Use in Estimation of Reddening and Cosmic Microwave Background Radiation Foregrounds.*
- Schmidt M., 1959, **ApJ** 129, pp. 243–258  
*The Rate of Star Formation.*
- Schmitt H.R., Kinney A.L., Calzetti D. et Storchi Bergmann T., 1997, **AJ** 114, pp. 592–612  
*The Spectral Energy Distribution of Normal, Starburst, and Active Galaxies.*
- Scoville N.Z., Good J.C., 1989, **339**, pp. 149–162  
*The far-infrared luminosity of molecular clouds in the Galaxy.*
- Scoville N.Z., Sanders D.B., Sargent A.I., Soifer B.T. et Tinney C.G., 1989, **ApJ** 345, pp. L25–L28  
*Aperture synthesis of CO emission in extremely luminous infrared galaxies.*
- Scoville N.Z., Sargent A.I., Sanders D.B. et Soifer B.T., 1991, **ApJ** 366, pp. L5–L9  
*Dust and gas in the core of ARP 220 (IC 4553).*
- Schade D., Lilly S.J., Crampton D., Ellis R.S., Le Fèvre O., Hammer F., Brinchmann J., Abraham R., Colless M., Glazebrook K., Tresse L. et Broadhurst T., 1999, **ApJ** 525, pp. 31–46  
*Hubble Space Telescope Imaging of the CFRS and LDSS Redshift Surveys. III. Field Elliptical Galaxies at  $0.2 < z < 1.0$ ?*
- Schechter P.L., 1980, **AJ** 85, pp. 801–811  
*Mass-to-light ratios for elliptical galaxies.*
- Silk J., 1997, **ApJ** 481, pp. 703–709  
*Feedback, Disk Self-Regulation, and Galaxy Formation.*
- Silva L., Granato G.L., Bressan A. et Danese, L., 1998, **ApJ** 509, pp. 103–117  
*Modeling the Effects of Dust on Galactic Spectral Energy Distributions from the Ultraviolet to the Millimeter Band.*
- Smail I., Ivison R.J. et Blain A.W., 1997, **ApJ** 490, pp. L5–L9  
*A Deep Sub-millimeter Survey of Lensing Clusters: A New Window on Galaxy Formation and Evolution.*
- Smail I., Ivison R.J., Kneib J.-P., Cowie L.L., Blain A.W., Barger A.J., Owen F.N. et Morrison G., 1999, **MNRAS** 308, pp. 1061–1068  
*The discovery of ERO counterparts to faint submillimetre galaxies.*
- Soifer B.T., Neugebauer G. et Houck J.R., 1987a, **ARA&A** 25, pp.187–230  
*The IRAS view of the extragalactic sky.*
- Soifer B.T., Sanders D.B., Madore B.F., Neugebauer G., Danielson G. E., Elias J. H., Lonsdale C.J., Rice W. L., 1987b, **ApJ** 320, pp. 238–257  
*The IRAS Bright Galaxy Sample. II. The sample and luminosity function.*

- Soifer B.T. et Neugebauer G., 1991, **AJ** **101**, pp. 354–361  
*The properties of infrared galaxies in the local universe.*
- Soifer B.T., Neugebauer G., Matthews K., Egami E., Becklin E.E., Weinberger A.J., Ressler M., Werner M.W., Evans A.S., Scoville N.Z., Surace J.A. et Condon J.J., 2000, **AJ** **119**, pp. 509–523  
*High Resolution Mid-Infrared Imaging of Ultraluminous Infrared Galaxies.*
- Spinoglio L., Malkan M.A., Rush B., Carrasco L. et Recillas-Cruz E., 1995, **ApJ** **453**, pp. 616–633  
*Multiwavelength Energy Distributions and Bolometric Luminosities of the 12 Micron Galaxy Sample.*
- Stanford S.A., Sargent A.I., Sanders D.B. et Scoville N.Z., 1990, **ApJ** **349**, pp.492–496  
*CO aperture synthesis of NGC 4038/39 (ARP 244).*
- Steidel C.C., Adelberger K.L., Giavalisco M., Dickinson M. et Pettini M., 1999, **ApJ** **519**, pp. 1–17  
*Lyman-Break Galaxies at  $z > 4$  and the Evolution of the Ultraviolet Luminosity Density at High Redshift.*
- Stickel M., Lemke D., Klaas U., Beichman, C.A., Rowan-Robinson M., Efstathiou A., Bogun S., Kessler M.F. et Richter G., 2000, **A&A** **359**, pp. 865–875  
*The ISOPHOT 170 um serendipity survey. I. Compact sources with galaxy associations.*
- Surace J.A. et Sanders D.B., 2000, **AJ** **120**, pp. 604–620  
*Imaging of Ultraluminous Infrared Galaxies in the Near-Ultraviolet.*
- Sutherland W. et Saunders W., 1992, **MNRAS** **259**, pp. 413–420  
*On the likelihood ratio for Source Identification.*
- Tan J.C., 2000, **ApJ** **536**, pp. 173–184  
*Star Formation Rates in Disk Galaxies and Circumnuclear Starbursts from Cloud Collisions.*
- Thuan T.X., Sauvage M. et Madden S.C. et , 1999, **ApJ** **516**, pp. 783–787  
*Dust in an Extremely Metal-Poor Galaxy: Mid-infrared Observations of SBS 0335-052.*
- Toomre A., 1964, **ApJ** **139**, pp. 1217–1238  
*On the gravitational stability of a disk of stars.*
- Trentham N., Kormendy J. et Sanders D.B., 1999, **AJ** **117**, pp. 2152–2167  
*Hubble Space Telescope Ultraviolet Spectral Energy Distributions for Three Ultraluminous Infrared Galaxies.*
- Tully R.B., 1988, Cambridge University Press, 221 p.  
*Nearby Galaxies Catalogue.*
- Uchida K.I., Sellgren K. et Werner M.W., 1998, **ApJ** **493**, L109  
*Do the Infrared Emission Features Need Ultraviolet Excitation?*
- Uchida K.I., Sellgren K., Werner M.W. et Houdashelt M.L., 2000, **ApJ** **530**, pp. 817-833  
*Infrared Space Observatory Mid-Infrared Spectra of Reflection Nebulae.*
- Vader J.P., Vigroux L., 1991, **A&A** **246**, pp. 32–38  
*A star-forming disk in the elliptical galaxy NGC 5173.*

- Városi F. et Dwek E., 1999, **ApJ** **523**, pp. 265–305  
*Analytical Approximations for Calculating the Escape and Absorption of Radiation in Clumpy Dusty Environments.*
- van der Hulst J.M., Skillman E.D., Smith T.R., Bothun G.D., McGaugh S.S., de Blok W.J.G., 1993, **AJ** **106**, pp. 548–559  
*Star formation thresholds in Low Surface Brightness galaxies.*
- Van der Werf et al., 2000, in “the far-infrared and submillimeter spectral energy distribution of active and starburst galaxies”, eds. I. van Bemmel, B. Wilkes and P. Barthel, Elsevier New Astronomy Reviews (astroph/0011217) *Lessons from lensed Lyman break galaxies: can dusty Lyman break galaxies produce the submillimetre counts and background?*
- Véron-Cetty M.-P. et Véron P., 2001, **A&A** **374**, pp. 92–94  
*A catalogue of quasars and active nuclei: 10th edition.*
- Verstraete L., Pech C., Moutou C., Sellgren K., Wright C.M., Giard M., Léger A., Timmermann R. et Drapatz S., 2001, **A&A** **372**, pp.981–997  
*The Aromatic Infrared Bands as seen by ISO-SWS: Probing the PAH model.*
- Vigroux L., Charmandaris V., Gallais P., Laurent O., Madden S., Mirabel F., Roussel H., Sauvage M. et Tran D., 1999, in *The Universe as seen by ISO*, édité par P. Cox et M.F. Kessler **ESA-SP 427**, Vol. 2, p. 805 *ISOCAM observations of galaxies.*
- Vigroux L., 2002, in *The Evolution of Galaxies, II-Basic Building Blocks*, édité par M. Sauvage, G.Stasińska et D. Schaerer (Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Pays-Bas) pp. 7–11  
*Introduction.*
- Völk H.J., 1989, **A&A** **218**, pp.67–70  
*The correlation between radio and far-infrared emission for disk galaxies - A calorimeter theory.*
- Wang Z., Scoville N.Z. et Sanders D.B., 1991, **ApJ** **368**, pp.112–118  
*Millimeter interferometer observations of infrared luminous galaxies - NGC 828 and NGC 6240.*
- Wang Z. et Helou H., 1992, **ApJ** **398**, pp. L33–L36  
*The compactness of far-infrared bright galaxies.*
- Webster A., 1993, **MNRAS** **264**, pp. 121–131  
*The Vibrations of C<sub>60</sub>H<sub>60</sub> and the Unidentified Infrared Emission.*
- Wilson C.D., Scoville N.Z., Madden S.C. et Charmandaris V., 2000, **ApJ** **542**, pp. 120–127  
*High-Resolution Imaging of Molecular Gas and Dust in the Antennae (NGC 4038/39): Super Giant Molecular Complexes.*
- Witt A.N., Thronson, H.A. Jr. et Capuano J.M. Jr., 1992, **ApJ** **393**, pp. 611–630  
*Dust and the transfer of stellar radiation within galaxies.*
- Wolstencroft R.D., Savage A., Clowes R.G., MacGillivray H.T., Leggett, S.K. et Kalafi M., 1986, **MNRAS** **223**, pp. 279–302  
*The Identification of IRAS Point Sources - Part One - a 304°<sup>2</sup> Field Centred on the South Galactic Pole.*
- Wynn-Williams C.G. et Becklin E.E., 1993, **ApJ** **412**, pp. 535–540  
*Luminous infrared galaxies - Sizes at 10-32 microns.*

- Xu C., Buat V., Boselli A., Gavazzi G., 1996, **A&A** **324**, pp. 32–40  
*Internal extinction and gas column density in spiral galaxies.*
- Xu C., Hacking P.B., Fang F., Shupe D.L., Lonsdale C.J., Lu N.Y., Helou G., Stacey G.J. et Ashby M.L.N., 1998, **ApJ** **508**, pp. 576–589  
*Emission Features and Source Counts of Galaxies in the Mid-Infrared.*
- Xu C., Lonsdale C.J., Shupe D.L., O’Linger J. et Masci F. 2001, **ApJ** **562**, pp. 179–207  
*Models for Multiband Infrared Surveys.*
- Young J.S., Kenney J., Lord S.D. et Schloerb F.P., 1984, **ApJ** **287**, pp. L65–L68  
*CO emission from IRAS galaxies.*
- Young J.S., Claussen M.J. et Scoville N.Z., 1988, **ApJ** **324**, pp.115–122  
*Molecular clouds in the nuclear region of NGC 3079.*
- Young J.S., Xie S., Tacconi L., Knezek P., Viscuso P., Tacconi-Garman L., Scoville N., Schneider S., Schloerb F.P., Lord S., Lesser A., Kenney J., Huang Y., Devereux N.A., Claussen M., Case J., Carpenter J., Berry M. et Allen L., 1995, **ApJS** **98**, pp. 219–257  
*The FCRAO Extragalactic CO Survey. I. The Data.*
- Zasov A.V. et Simakov S.G., 1988, **Astrofizika** **29**, p. 190  
*Gas Distribution in Galaxies and a Gravitational Stability of Gaseous Disks.*
- Zhang Q., Fall S.M. et Whitmore, B.C., 2001, **ApJ** **561**, pp. 727–750  
*A Multiwavelength Study of the Young Star Clusters and Interstellar Medium in the Antennæ-Galaxies.*
- Zhu M., Seaquist E.R., Davoust E., Frayer D.T. et Bushouse H.A., 1999, **AJ** **118**, pp. 145–161  
*Molecular Gas in Strongly Interacting Galaxies. I. CO (1-0) Observations.*
- Zink E.C., Lester D.F., Doppmann G. et Harvey P.M., 2000, **ApJS** **131**, pp. 413–440  
*The Structure of Infrared-luminous Galaxies at 100 Microns.*



# Résumé - *Summary*

Cette thèse a pour objet la modélisation spectrophotométrique des galaxies normales et à flambées d'étoiles de l'Univers local. Elle a consisté en la création d'une base de donnée multi-longueur d'onde homogène, d'une bibliothèque de spectres infrarouges et à l'étude d'un paramètre global, la taille caractéristique de la région de formation d'étoiles.

Après avoir montré que la taille continuum radio est son meilleur estimateur par sa fiabilité et son faible coût observationnel, j'ai mis à jour une relation liant ce paramètre, la luminosité infrarouge et la température efficace des gros grains et ai exploré les processus physiques donnant lieu à cette relation et montré qu'elle peut être dérivée à partir de la loi de Schmidt reliant le taux de formation d'étoiles surfacique à la densité surfacique de gaz.

Enfin, j'ai montré que l'introduction de ce paramètre permet de déterminer simultanément d'une part l'atténuation de la lumière intrinsèque des étoiles par la poussière connaissant la masse totale et la métallicité du gaz et d'autre part la distribution d'énergie spectrale infrarouge à partir de la bibliothèque de spectres infrarouges et l'utilisation de la relation  $L_{\text{IR}} - T_{\text{d}} - R$ .

*The topic of this Ph.D. dissertation is the modelling of the spectral energy distribution of normal and starburst galaxies in the local universe. It consisted in the creation of a homogeneous multi-wavelength database, a infrared library of spectra and the study of a global parameter, the size of the star-forming region.*

*After showing that the radio continuum size is its best estimator because of its reliability and its observation low cost, I established a relation that relates the star-forming size, the infrared luminosity and the effective temperature of the big grains. I then explored the physical processes giving raise to this relation and showed that it can be derived from the Schmidt Law, which related the star formation rate per surface unit to the gas surface density.*

*Finally, I showed that the introduction of this parameter enables the determination of 1) the attenuation of the stellar intrinsic light by the dust given the total mass and metallicity of the gas and 2) the infrared spectral energy distribution by using the  $L_{\text{IR}} - T_{\text{d}} - R$  relation, given a library of infrared spectra depending on the effective dust temperature.*