



Thèse présentée pour obtenir le grade de
Docteur de l'Université Louis Pasteur
Strasbourg I

Doctorat européen

Discipline : Sciences de la Terre et de l'Univers
par Nausicaa DELMOTTE

Identifications croisées multi-longueurs d'ondes
Application aux
populations stellaires des Nuages de Magellan
et aux
étoiles jeunes de notre Galaxie

Soutenue publiquement le 7 novembre 2003

Membres du jury

M ^{me} Agnès ACKER	Professeur	Strasbourg	Examineur
M Olivier BIENAYMÉ	Astronome	Strasbourg	Rapporteur interne
M Fernando COMERÓN	Astronome associé	ESO	Co-Directeur de Thèse
M Daniel EGRET	Astronome	Paris	Directeur de Thèse
M ^{me} Mary KONTIZAS	Professeur associé	Athènes	Rapporteur externe
M Jordi TORRA	Professeur associé	Barcelone	Rapporteur externe



Ph.D. degree
Louis Pasteur University
Strasbourg I

European doctorate

Field: Earth and Universe Sciences
by Nausicaa DELMOTTE

Multiwavelength Cross-Identifications of Stars
Application to
Stellar Populations in the Magellanic Clouds
and to
Young Stars of our Galaxy

Publicly defended on 7th November 2003

Members of the jury

Mrs Agnès ACKER	Professor	Strasbourg	Examiner
Mr Olivier BIENAYMÉ	Astronomer	Strasbourg	Internal Referee
Mr Fernando COMERÓN	Associate Astronomer	ESO	Co-Advisor
Mr Daniel EGRET	Astronomer	Paris	Advisor
Mrs Mary KONTIZAS	Associate Professor	Athens	External Referee
Mr Jordi TORRA	Associate Professor	Barcelona	External Referee

A ma famille.

Lieux de travail

Research Places

Cette thèse à label européen a été effectuée :

- ★ d'une part à l'Observatoire Astronomique de Strasbourg, France, au sein de l'équipe CDS (Centre de Données astronomiques de Strasbourg) ;
- ★ d'autre part au sein de l'Organisation Européenne pour des Recherches Astronomiques dans l'Hémisphère Austral (ESO, *European Southern Observatory*), Garching bei München, Allemagne.

De plus, j'ai bénéficié d'un monitorat, 64 heures TD par an, dans le cadre du CIES (Centre d'Initiation à l'Enseignement Supérieur) Alsace. Au cours de ces trois années de thèse, j'ai donc enseigné à l'Université Louis Pasteur : la mécanique céleste, l'astronomie fondamentale, l'algorithmique et la programmation en langage C en DEUG MIAS, la planétologie, la communication et la méthodologie de la recherche en DEUG STU.

J'ai également contribué à la traduction française de la série d'exercices d'astronomie pour le collège/lycée intitulée ESA/ESO Astronomy Exercise Series (voir <http://www.astroex.org/>).

This european doctorate has been conducted both:

- ★ at the Strasbourg Astronomical Observatory, France, within the CDS (Strasbourg astronomical Data Center) team;
- ★ at the European Southern Observatory (ESO), Garching bei München, Germany.

Furthermore I have been involved throughout these years in a teaching program, 64 hours per year, in the framework of CIES Alsace. I taught celestial mechanics, fundamental astronomy, planetology, algorithmic and C programming, communication and research methodology to students in their 1st and 2nd year at Louis Pasteur University.

I also helped translating from english to french the ESA/ESO Astronomy Exercise Series for use in high school (see <http://www.astroex.org/>).



CDS, Observatoire Astronomique de Strasbourg
11 rue de l'Université
67000 Strasbourg - FRANCE
Tél. +33 (0)3 90 24 24 10
Fax. +33 (0)3 90 24 24 32



ESO Headquarter Garching
Karl-Schwarzschild-Str. 2
85748 Garching bei München - GERMANY
Tel. +49 89 3200 60
Fax. +49 89 320 2362



CIES Alsace
Faculté de Médecine
11 rue Humann
67085 Strasbourg Cedex - FRANCE
Tél. +33 (0)3 90 24 31 25/26
Fax. +33 (0)3 90 24 31 24

Remerciements

Je tiens à remercier le directeur de l'Observatoire Astronomique de Strasbourg, Jean-Marie Hameury, et le responsable de l'Office for Science de l'ESO, Bruno Leibundgut, pour m'avoir accueillie au sein de leur laboratoire respectif pendant mes trois années de thèse.

Ce travail de thèse n'aurait pas été possible sans tout d'abord la confiance de mon directeur de thèse, Daniel Egret, qui m'a permis de participer à des projets européens tournés vers la construction de l'Observatoire Virtuel. Ensuite, mon co-directeur, Fernando Comerón, m'a permis de développer le volet astrophysique de mon travail de recherche en me sensibilisant au domaine passionnant des étoiles massives. Finalement, j'ai eu la chance de me rendre au Chili à l'Observatoire de La Silla afin d'appréhender la dimension observationnelle de l'astronomie sur le WFI. L'émerveillement devant la beauté complexe des nébuleuses gazeuses est sans fin. J'ai aussi eu le plaisir de contempler les Nuages de Magellan à l'œil nu... et de découvrir un magnifique pays !

Les premiers temps passés à Strasbourg sont marqués par plusieurs amitiés : Sandrine (et sa compréhension), Laurent (et ses moqueries), Jérôme (et les week-ends en Alsace), Lars (et les pointeurs en C) et Christèle (fan de Kandinsky). Je n'oublie pas non plus les moniteurs du CIES, Josselin, Julien et Paul, pour leur ouverture d'esprit et leur monde si différent de celui de l'astronomie, mais tout aussi fascinant. Le temps passé à l'ESO a été riche culturellement grâce à sa communauté internationale et surtout franco-italiano-chilienne avec en particulier Aureore (ALMA-girl), Giancarlo (sorry, sorry, sorry), Jérémy (et ses blagues tordues), Ricardo (et le Mahna Mahna), Thomas (et ses ragots) ... et bien d'autres !

Un clin d'œil à Sébastien, premier compagnon d'aventure en astronomie depuis le DEA, ainsi qu'à Hélène, amie d'enfance, et Catherine, Alsacienne de cœur.

Un merci très spécial à Sébastien, qui construit mes télescopes, et est l'artisan d'une certaine daube niçoise...

Finalement, un grand merci à ma famille et mes parents qui m'ont toujours encouragée dans mes études et soutenue dans les moments difficiles.

Résumé

Cette thèse bénéficie de la mise à disposition publique récente des grands relevés infrarouges et visibles et s'inscrit dans le cadre de l'Observatoire Virtuel émergent.

Nous avons réalisé un *Master Catalogue of stars towards the Magellanic Clouds* (MC2) basé sur l'identification croisée multi-longueur d'onde des catalogues de sources ponctuelles DENIS, 2MASS, GSC-II et UCAC. D'importants résultats sur la précision et la calibration astro-photométriques de ces catalogues ont été établis. Le MC2 est accessible en ligne au travers d'une interface web spécialement conçue pour gérer sa nature composite. Nous avons produit des vues multi-spectrales du GNM, où ses populations stellaires variées se distinguent de façon remarquable dans les diagrammes couleur-couleur et couleur-magnitude construits à partir de magnitudes à la fois visibles et infrarouges.

Nous avons calibré les magnitudes absolues des étoiles de type B dans le proche infrarouge, en fonction de leur type spectral. Nous avons combiné des mesures de distance de grande qualité basées sur les données Hipparcos avec la photométrie homogène des sources ponctuelles proche-infrarouges 2MASS. Les données ont été corrigées de l'extinction et nous avons évalué par le biais de simulations la contribution de divers erreurs de mesure et effets physiques (binarité, rotation) à la dispersion observée sur la calibration. C'est une étape nécessaire à la détermination de la structure du disque jeune Galactique et des distances et propriétés de jeunes amas ouverts découverts par les grands relevés infrarouges tels 2MASS.

Nous avons commencé une analyse morphologique et multi-longueur d'onde de régions ionisées et de leurs étoiles dans le GNM, imagées en bande étroite. L'interaction réciproque des étoiles massives avec le milieu interstellaire environnant permet d'approfondir l'histoire de formation stellaire locale et le contenu stellaire de ces régions ainsi que d'obtenir un schéma de leur évolution dynamique.

Mots-clefs : *grands relevés, catalogues astronomiques, Observatoire Virtuel, identification croisée, analyse de données, statistiques, populations stellaires, Nuages de Magellan, distances, infrarouge, étoiles de type jeune, structure Galactique, régions HII, étoiles massives, milieu interstellaire, imagerie en bande étroite, histoire de formation stellaire.*

Abstract

My thesis benefits from the recently released infrared and visible large surveys and takes place within the framework of the ongoing Virtual Observatory.

I built a Master Catalogue of stars towards the Magellanic Clouds (MC2) based on multiwavelength cross-identifications of the DENIS, 2MASS, GSC-II and UCAC point source catalogues. I derived important results on the astro-photometric accuracy and calibration of the cross-identified catalogues. The MC2 can be queried on-line through a dedicated web interface I designed to handle its composite nature. I produced multispectral views of the LMC where its various populations discriminate remarkably well in colour-colour and colour-magnitude diagrams based on both infrared and visible wavelengths. The MC2 provides an unprecedented basis for the study of stellar populations in the Magellanic Clouds and for further cross-identifications with catalogues at other wavelengths.

I calibrated the absolute magnitudes of the B-type stars in the near-infrared, as a function of their spectral types. I combined high quality Hipparcos-based distance measurements with homogeneous photometry from the near-infrared 2MASS point sources. I corrected the data from extinction effect and assessed by means of simulations the contribution of various measurement errors and physical effects (binarity, rotation) to the scatter observed in the calibration. It is a mandatory step towards the determination of the structure of the young Galactic disk and of the distances and properties of young open clusters revealed by large area infrared surveys such as 2MASS.

I started a morphological and multiwavelength analysis of ionized regions and their stars in the LMC, observed in narrow-band imaging. Massive stars and their reciprocal interaction with the surrounding interstellar medium enable to gain insight into the local star formation history and stellar contents of these regions and to obtain a sketch of their dynamical evolution.

Keywords: *Surveys, Astronomical Catalogues, Virtual Observatory, Cross-Identifications, Data Analysis, Statistics, Stellar Populations, Magellanic Clouds, Distances, Infrared, Early-Type Stars, Galactic Structure, HII Regions, Massive Stars, Interstellar Medium, Narrow-Band Imaging, Star Formation History.*

Publications related to this work [a]

- REFEREED ARTICLES:

- 2003
"Near-Infrared absolute magnitude calibration for B-type stars."
N. Delmotte and F. Comerón
Submitted to A&A.
 - 2003
"The kinematical map of the ionized gas of the supergiant shell LMC2."
A. Laval, P. Ambrocio-Cruz, M. Rosado, Y. P. Georgelin, M. Marcelin,
F. Comerón, **N. Delmotte** and A. Viale
Submitted to AJ.
 - 2003
"On the usefulness of finding charts. Or the runaway carbon stars of the
Blanco & McCarthy field 37."
C. Loup, **N. Delmotte**, D. Egret, M.-R. Cioni and F. Genova
ADS 2003A&A...402..801L - astro-ph 302385
 - 2002
"The Master Catalogue of stars towards the Magellanic Clouds.
I. Multispectral surveys of the Large Magellanic Cloud."
N. Delmotte, C. Loup, D. Egret, M.-R. Cioni and F. Pierfederici
ADS 2002A&A...396..143D - astro-ph 0209207 - Cover page A&A Journal
-

Publications related to this work [*b*]

- CONFERENCE PROCEEDINGS:

- 2002

- ”The Master Catalogue of stars towards the Magellanic Clouds.”

- N. Delmotte**, C. Loup, D. Egret and M.-R. Cioni

- VO conference Toward an International Virtual Observatory

- Scientific Motivation, Roadmap for Development and Current Status

- Garching bei München, Germany, June 10-14, 2002

- To appear in the Springer-Verlag series ”ESO Astrophysics Symposia”.

- 2001

- ”Cross-identification of Dense Stellar Catalogues towards the Magellanic Clouds.”

- N. Delmotte**, D. Egret, C. Loup and M.-R. Cioni

- JENAM 2001, Joint Discussion Virtual Observatory

- Munich, Germany, September 10-15 2001

- Astronomische Gesellschaft Abstract Series, Vol. 18.

- 2001

- ”Cross-matching DENIS and 2MASS Point Sources towards the Magellanic Clouds.”

- N. Delmotte**, D. Egret, C. Loup and M.-R. Cioni

- SPIE conference, Astronomical Data Analysis

- San Diego, USA, August 2001

- in Proc. SPIE Conf. vol. 4477, pp 301.

Table des matières

Lieux de travail / Research Places	i
Remerciements	v
Résumé	vii
Abstract	ix
Publications related to this work	xi
Table des matières	xv
Table des figures	xviii
Liste des tableaux	xxii
0 Motivations et plan de la thèse	1
1 Infrarouge et Observatoire Virtuel	7
1.1 Pionniers de l'infrarouge	8
1.2 Astronomie infrarouge moderne	10
1.2.1 Premiers développements technologiques	10
1.2.2 Découverte d'un nouveau monde	11
1.2.3 Fenêtres atmosphériques et lente ascension vers l'espace	14
1.2.4 Ère spatiale et progrès technologiques	16
1.3 Diverses bandes photométriques	17
1.4 Grands relevés infrarouges	18
1.4.1 Relevés au sol	18
1.4.2 Relevés spatiaux	20
1.5 Observatoires spatiaux	22
1.6 Futurs projets	22
1.7 Observatoire Virtuel	25
1.7.1 Contexte scientifique et technologique	26
1.7.2 Problèmes et motivations	29

1.7.3	GRID : une nouvelle infrastructure technologique	30
1.7.4	Nouveaux outils	32
1.7.5	Nouvelle science	35
1.7.6	Différents acteurs et partenaires	37
1.7.7	Projet ASTROVIRTEL	40
2	Master Catalogue of stars towards the Magellanic Clouds (MC2)	41
2.1	Nuages de Magellan	42
2.1.1	Mythes et légendes associés aux Nuages	44
2.1.2	Origine des constellations associées aux Nuages	47
2.1.3	Astronomie moderne	50
2.2	Données disponibles sur les Nuages	53
2.3	Description des catalogues utilisés	56
2.3.1	Catalogue DCMC/DENIS	56
2.3.2	Catalogue 2MASS	56
2.3.3	Catalogue GSC2.2	57
2.3.4	Catalogue UCAC1	57
2.3.5	Comparaison préliminaire	58
2.4	Première étape : DENIS et 2MASS	61
2.4.1	Stratégie de croisement	61
2.4.2	Principe général de l'identification croisée	61
2.4.3	Détection d'inhomogénéités	62
2.4.4	Définition d'une boîte de recherche en position	66
2.4.5	Sélection sur les magnitudes	66
2.4.6	Résultats	68
2.5	Comparaison des systèmes photométriques DENIS et 2MASS	69
2.6	Deuxième étape : ajout du GSC2.2	71
2.7	Composition du MC2	72
2.8	Troisième étape : ajout de l'UCAC1	74
2.9	Vues multi-spectrales du Grand Nuage de Magellan	74
2.9.1	Diagramme couleur-magnitude ($K_s, J - K_s$)	76
2.9.2	Diagramme couleur-couleur ($J - H, H - K_s$)	78
2.9.3	Diagrammes couleur-couleur mixtes : infrarouge et visible	79
2.9.4	Mise en évidence d'une population d'étoiles bleues	81
2.10	Mise en ligne	83
3	Calibration en magnitude absolue des étoiles de type B dans le proche IR	87
3.1	Caractéristiques des étoiles de type B	88
3.1.1	Propriétés spectrales	89
3.1.2	Associations OB	90
3.2	Difficultés observationnelles	91
3.3	Premières tentatives de calibration	93
3.4	Données	94
3.4.1	Associations OB, Hipparcos et 2MASS	94
3.4.2	Résultats de l'identification croisée entre Hipparcos et 2MASS	95
3.5	Élaboration de l'échantillon	98
3.5.1	Sélection de la photométrie 2MASS	98

3.5.2	Multiplicité et singularité	98
3.5.3	Sélection des types spectraux	99
3.6	Extinction et correction du rougissement interstellaire	101
3.6.1	Poussières et milieu interstellaire	101
3.6.2	Influence des poussières sur le calcul des distances	102
3.6.3	Le diagramme ($J - H$, $H - K_s$)	102
3.7	Calibration M_J -type spectral	105
3.8	Simulation de la dispersion	108
3.8.1	Photométrie et type spectral	108
3.8.2	Distance	108
3.8.3	Rougissement	109
3.8.4	Binarité	109
3.8.5	Effets combinés	111
3.8.6	Rotation	114
3.9	Influence de la classe de luminosité	117
4	Nébuleuses et leurs étoiles dans le Grand Nuage de Magellan	119
4.1	Étoiles massives et milieu interstellaire	120
4.1.1	Spectre de raies et spectre continu	120
4.1.2	Processus physiques	121
4.1.3	Différents types de bulles	122
4.1.4	Dynamique des bulles	124
4.2	Relevés et nomenclature	126
4.3	Observations	128
4.3.1	Acquisition et traitement des données	128
4.3.2	Astrométrie	131
4.4	Analyse des images	132
4.4.1	LHA 120-N 44	132
4.4.2	DEM L 299	136
4.4.3	Populations stellaires	137
4.4.4	Recherche de RSNs	142
5	Conclusions et perspectives	145
	Annexe A	151
	Annexe B	163
	Annexe C	169
	Bibliographie	173

Table des figures

0 - Motivations et plan de la thèse	1
1 Principe de l'identification croisée	2
2 Plan de la thèse	5
1 - Infrarouge et Observatoire Virtuel	7
1.1 Spectre électromagnétique	9
1.2 Comparaison visible/infrarouge : la nébuleuse d'Orion	11
1.3 Spectre du corps noir et loi de Wien	13
1.4 Fenêtres atmosphériques et position des filtres infrarouges	14
1.5 Transparence atmosphérique et vapeur d'eau	15
1.6 Loi de croissance informatique de Moore	27
2 - Master Catalogue of stars towards the Magellanic Clouds (MC2)	41
2.1 Nuages de Magellan vus du Cerro Tololo	43
2.2 Nuages de Magellan - AAO	44
2.3 Planches représentant la constellation du Toucan	47
2.4 Atlas <i>Uranometria</i>	48
2.5 Constellations de la Dorade et de la Table	50
2.6 Constellation du Toucan	51
2.7 Mouvements propres dans l'UCAC1	58
2.8 Diagrammes de complétude : DCMC, 2MASS, GSC2.2, UCAC1	59
2.9 Cartes de densité du GNM : DCMC, 2MASS, GSC2.2, UCAC1	60
2.10 Problèmes d'astrométrie dans le DCMC	63
2.11 Sources redondantes dans le DCMC	64
2.12 Identifications croisées et doublons	65
2.13 Distorsion de champ dans le DCMC et décalages photométriques entre le DCMC et 2MASS	67
2.14 Résultat de l'identification croisée entre le DCMC et 2MASS	69
2.15 Décalages α et δ entre les catalogues DCMC et 2MASS	69
2.16 Comparaison des systèmes photométriques DENIS et 2MASS	70
2.17 Résultat de l'identification croisée entre le GSC2.2 et 2MASS	71

2.18	Comparaison des identifications GSC2.2/2MASS et DCMC/2MASS	72
2.19	Résultat de l'identification croisée entre le DCMC et le GSC2.2	73
2.20	Résultat de l'identification croisée entre l'UCAC1 et le MC2	75
2.21	Mouvements propres dans l'UCAC1	75
2.22	Diagramme couleur-magnitude ($K_s, J - K_s$)	77
2.23	Diagramme couleur-couleur ($J - H, H - K_s$)	78
2.24	Diagrammes couleur-couleur ($I - J, J - K_s$) et ($V_{\text{gsc2.2}} - J, J - K_s$)	80
2.25	Diagramme couleur-magnitude ($I, V_{\text{gsc2.2}} - K_s$)	82
2.26	Distribution en couleurs et magnitudes des étoiles bleues du GNM	82
2.27	Distribution spatiale des étoiles bleues du GNM	83
2.28	Sélection et distribution spatiale des étoiles bleues du PNM	84
2.29	Interface web et résultat d'une requête sur le MC2	85
3	- Calibration en magnitude absolue des étoiles de type B dans le proche IR	87
3.1	Résultat de l'identification croisée entre Hipparcos et 2MASS	97
3.2	Effet de l'extinction	103
3.3	Facteurs de correction A_J	104
3.4	Calibration M_J -type spectral	106
3.5	Calibration M_H -type spectral	107
3.6	Effet de la binarité sur la calibration	112
3.7	Dispersion en M_J en fonction de α et β	113
3.8	Calibration M_J -type spectral : rotateurs lents vs rotateurs rapides	115
3.9	Test de Kolmogorov-Smirnov	118
4	- Nébuleuses et leurs étoiles dans le Grand Nuage de Magellan	119
4.1	Carte des nébulosités dans le GNM	126
4.2	Topographie du GNM	127
4.3	Associations stellaires dans le GNM	128
4.4	WFI sur le télescope MPG/ESO de 2.2 m, La Silla	129
4.5	Interstices entre les huit CCDs du WFI	130
4.6	Cartographie de LHA 120-N 44 et DEM L 299	132
4.7	Image WFI en $H\alpha$: caractéristiques remarquables de LHA 120-N 44	134
4.8	Reste de supernova dans LHA 120-N 44	135
4.9	Carte de température de LHA 120-N 44	136
4.10	Régions choquées et photoionisées dans DEM L 299	137
4.11	Populations stellaires dans LHA 120-N 44 et DEM L 299	138
4.12	2MASS et WFI : intégration des données	141
4.13	Un jeune RSN à proximité de DEM L 299	144
5	- Conclusions et perspectives	145
5.1	Identifications croisées en chaînes	147

Annexe A	151
2 Problèmes astrométriques du DCMC dans le GNM	151
3 Problèmes astrométriques du DCMC dans le PNM	152
4 Visualisation des identifications croisées DCMC/2MASS	161
5 Décalages astrométriques et photométriques entre DCMC et 2MASS	162
Annexe B	163
Annexe C	169
6 Image multi-bande N44	170
7 Image multi-bande DEM299	171

Liste des tableaux

0 - Motivations et plan de la thèse	1
1 - Infrarouge et Observatoire Virtuel	7
1.1 Systèmes photométriques infrarouges	18
1.2 Comparaison des caractéristiques d'IRAS, ISO et NICMOS	21
1.3 Statistiques sur les UCDs	33
1.4 Organisations membres de l'IVOA	39
2 - Master Catalogue of stars towards the Magellanic Clouds (MC2)	41
2.1 Bandes photométriques du GSC2.2	57
2.2 Nombre de sources en fonction de la photométrie DCMC et 2MASS	60
2.3 Distribution des sources du MC2	73
3 - Calibration en magnitude absolue des étoiles de type B dans le proche IR	87
3.1 Liste et principaux paramètres des associations OB	96
4 - Nébuleuses et leurs étoiles dans le Grand Nuage de Magellan	119
4.1 Mots-clefs astrométriques dans les fichiers fits	131
5 - Conclusions et perspectives	145
Annexe A	151
1 GNM - Critères d'identification croisée DCMC/2MASS	153
2 PNM - Critères d'identification croisée DCMC/2MASS	157
Annexe B	163
3 Liste des 145 étoiles de la calibration M_J -type spectral	163
Annexe C	169

