

Première partie

PRÉAMBULE

“Les Nébuleuses.
A qui parles-tu donc, flocon lointain qui passes?
A peine entendons-nous ta voix dans les espaces.
Nous ne te distinguons que comme un nimbe obscur
Au coin le plus perdu du plus nocturne azur.
Laisse-nous luire en paix, nous, blancheurs des ténèbres,
Mondes spectres éclos dans les chaos funèbres,
N’ayant ni pôle austral ni pôle boréal;
Nous, les réalités vivant dans l’idéal,
Les univers, d’où sort l’immense essaim des rêves,
Dispersées dans l’éther, cet océan sans grèves,
Dont le flot à son bord n’est jamais revenu;
Nous les créations, îles de l’inconnu!”

Victor Hugo

“Abîmes”, “La légende des Siècles” (1877)

“A certain amount of vastness constitutes majesty. More than that seems insane.”

John Updike

“At the hairy edge of the possible”, “More Matters. Essays and criticism” (1999).

Remerciements

Après les cinq années passées à Cambridge, l'accueil chaleureux de Jean Audouze, Daniel Kunth et Jean-François Sygnet m'a aidé à intégrer progressivement l'Institut d'Astrophysique de Paris. En plus de l'excellence scientifique des chercheurs du laboratoire, j'y découvris l'intelligence et le dévouement du personnel administratif et technique.

Je ne peux m'empêcher de penser à Margaret Geller, au regretté John Huchra, et à Irwin Shapiro. De façon unanime, ils ont accepté de m'accueillir au Harvard-Smithsonian CfA et m'ont permis de concrétiser pendant ma thèse ce vif désir d'observer et de cartographier la distribution des galaxies à grande échelle, puis d'en mesurer les propriétés statistiques. Margaret et John m'ont imprégnée d'un niveau d'exigence dans l'acquisition, le traitement et l'interprétation des données qui me poursuit quotidiennement.

C'était Bernard Jones qui m'avait donné, au cours d'un stage sur la modélisation à N-corps des galaxies, le goût de l'étude de ces systèmes complexes et grandioses, et qui m'avait suggéré de prendre contact avec les chercheurs de Harvard.

Je remercie sincèrement mes collaborateurs Christelle Bellanger, Stéphane Arnouts, Gaspar Galaz et Sandro Bardelli pour leur participation compétente et efficace au programme-clé de l'ESO, grâce à laquelle le projet a pu aboutir et tirer tout le profit de ces nombreuses nuits de télescope sur le NTT à La Silla, ceci malgré la quasi-absence d'aide technique aux observations et au traitement des données. Leur intérêt scientifique pour ce projet jusqu'à son terme m'a aidé à tenir bon pendant les années ingrates du traitement des données de spectroscopie multi-objet.

Je remercie tout particulièrement Emmanuel Bertin pour nos échanges quotidiens autour de nos projets communs, dont le niveau d'exigence n'a jamais pesé sur la confiance et les égards mutuels. Je ne peux que lui exprimer ma joie de pouvoir mener, grâce à notre collaboration, des recherches de "rêve" : analyser les meilleures images astronomiques au moyen de logiciels à l'avant-garde de l'analyse des sources, dans le but de déchiffrer les secrets de l'évolution des galaxies.

Je suis reconnaissante envers Yannick Mellier pour le travail monumental qu'il a effectué en initiant et en coordonnant le centre TERAPIX de traitement des grandes images provenant du TCFH, qui nous fournit ces images magnifiques des champs du CFHTLS, ainsi qu'envers Laurent Vigroux pour avoir joué un rôle clé dès le début de ce projet phare pour la communauté internationale. De nombreuses questions astrophysiques n'ont pas encore été explorées via ces données, et la collaboration démarrée à l'IAP avec Emmanuel Bertin, Damien Le Borgne et Michel Fioc me promet que notre curiosité sera satisfaite.

Je tiens par ailleurs à exprimer ma gratitude à Florence Durret, Roya Mohayaee, Jacques Colin, Gary Mamon, et Gilles Missonnier, pour leur soutien professionnel et amical durant les années passées ; ainsi qu'à Johanna et Frédéric, pour leur soutien moral inestimable. Mes pensées vont aussi vers les personnes remarquables, dont tout particulièrement René Cavaroz, qui veillent à la diffusion de la connaissance de l'astrophysique auprès des scolaires, des enseignants et du grand public, et m'invitent régulièrement à donner des conférences. Enfin, je remercie vivement mes trois rapporteurs Chantal Balkowski, Guilaine Lagache et Andrea Biviano, pour avoir accepté de prendre en charge le long de travail de lecture et d'appréciation de ce mémoire.

Synthèse en français

Le programme-clé ESO-Sculpteur a fourni le premier catalogue avec photométrie CCD et spectroscopie de fente pour un relevé systématique d'environ un millier de galaxies. Sa couverture angulaire et son taux de complétude élevé en décalages vers le rouge permettent une cartographie fiable des vides et feuillets interceptés le long de la ligne de visée jusqu'à $z \simeq 0.5$. En distinguant les populations de galaxies géantes et naines, nous avons proposé des analyses originales des fonctions de luminosité et de corrélation, et nous avons détecté une évolution marquée des galaxies spirales tardives et des irrégulières. Un suivi en infrarouge moyen permet de modéliser les comptages avec une évolution "minimale".

De nouveaux résultats concernant le relevé ESO-Sculpteur sont présentés ici. Une surdensité est détectée dans l'intervalle $0.41 < z < 0.46$, précédée par une sous-densité à $0.33 < z < 0.39$. Ces structures définissent des régions de contraste de densité d'environ 2 sur ~ 170 à 200 Mpc le long de la ligne de visée. En prenant en compte le regroupement spatial mesuré des galaxies, j'évalue le niveau de significativité de la surdensité à 2.6 à 3.3σ . Si elle s'étendait transversalement sur $2 \times 2 \text{ deg}^2$, cette structure pourrait atteindre un niveau de significativité de 4 à 5σ . En extrayant des pinceaux profonds de même géométrie que le relevé ESO-Sculpteur à partir du cube de 500 Mpc de côté de la simulation numérique du "Millennium", j'obtiens confirmation que la probabilité de détecter une telle surdensité dans un volume cosmologique est de l'ordre du pourcent ou moins. La juxtaposition observée avec la sous-densité est encore plus rare, avec 0 ou 1 détection sur 363 pinceaux simulés.

De surcroît, je teste les performances des méthodes de décalages vers le rouge "photométriques" pour la détection de ces très grandes fluctuations de densité, en complétant la photométrie optique par la photométrie dans l'ultraviolet et l'infrarouge proches, obtenue avec ZPEG par l'ajustement des scénarios évolutifs de PÉGASE.2. Je montre que les biais systématiques dans ces ajustements peuvent empêcher la détection des très grandes structures quand les erreurs aléatoires de la photométrie sont supérieures à un seuil, qui dépend de la couverture en longueur d'onde. Je compare en outre les performances des ajustements de spectres synthétiques avec la classification spectrale par composante principale. Je montre enfin la présence d'effets systématiques sur la classification spectrale causés par l'orientation des fentes de spectroscopie relativement au grand axe projeté des galaxies.

Je présente ensuite les caractéristiques du catalogue morphologique de galaxies proches EFIGI. Par l'ajustement de profils convolués à double composantes de bulbe et de disque, nous dérivons de nouvelles magnitudes totales qui mettent en évidence des pertes de flux de 0.5 à 10 magnitudes dans les mesures photométriques produites par le relevé SDSS pour les galaxies brillantes; ces pertes sont causées par un mauvais ajustement du fond de ciel autour des grandes galaxies, et par un morcellement des objets sans bulbe dominant. Les nouvelles mesures exhibent un décalage continu dans le diagramme couleur-magnitude des différents types morphologiques, qui contraste avec la notion de bi-modalité. Je montre par ailleurs que les couleurs des bulbes des galaxies spirales sont proches des couleurs des galaxies elliptiques, avec un rougissement des bulbes des galaxies Sb et Sbc, les plus riches en poussières. En revanche, j'observe un bleuissement progressif des couleurs des disques, depuis ceux des lenticulaires, de même couleur que leurs bulbes, vers les disques des spirales les plus tardives.

Au cours de ce mémoire, j'utilise les catalogues ESO-Sculpteur et EFIGI pour illustrer les enjeux et difficultés dans la caractérisation des différents types de galaxies dans l'Univers proche et lointain. En particulier, je montre que les fonctions de luminosité intrinsèques à chaque type morphologique sont biaisées par les confusions entre les types lorsque la séparation est basée sur la classification spectrale, sur les couleurs, ou sur les types spectro-photométriques. Ces effets peuvent avoir des répercussions notables sur la dérivation de contraintes concernant l'évolution des galaxies à partir des relevés observationnels.

Synthèse en anglais

The ESO-Sculptor key-programme provided us with the first catalogue having both CCD photometry and slit spectroscopy for a systematic survey of about one thousand galaxies. Thanks to a high redshift completeness rate over the covered solid angle, it allows a reliable mapping of the voids and sheets intercepted along the line-of-sight up to $z \simeq 0.5$. By distinguishing the giant and dwarf galaxy populations, we proposed original analyses of the luminosity and correlation functions, and we detected a marked evolution in the late spiral and irregular galaxies. A mid-infrared follow-up survey allowed us to model the galaxy counts with “minimal” evolution.

New results on the ESO-Sculptor are presented here. An overdensity is detected in the interval $0.41 < z < 0.46$, just after an under-density at $0.33 < z < 0.39$. These structures define regions of density contrast of nearly 2 over ~ 170 to 200 Mpc along the line-of-sight. By taking into account the measured spatial clustering of galaxies, I evaluate the significance level of the overdensity to 2.6 to 3.3 σ . If it were extending over $2 \times 2 \text{ deg}^2$ on the sky, this structure could reach a significance level of 4 to 5 σ . By extracting from the 500 Mpc cube of the “Millennium” simulation deep pencil-beam probes having the same geometry as the ESO-Sculptor survey, I obtain confirmation that the probability to detect such an overdensity in a cosmological model is the order of one percent or less. The observed vicinity with the under-density makes it even rarer, with 0 or 1 detection over 363 simulated probes.

In addition, I test the capabilities of the “photometric redshift” techniques to detect very large density fluctuations. I complete the optical photometry with near-ultraviolet and near-infrared photometry simulated with ZPEG by fitting the PÉGASE.2 evolving scenarios. I show that the systematic biases in the spectral fits may prevent the detection of very large structures when the random errors in the photometry are above some threshold, that depends on the wavelength coverage. I also compare the performances of the template fitting with the spectral classification by principal component analysis. I finally show the presence of systematic effects on the latter which are caused by the orientation of the spectroscopic slits relative to the galaxy projected major axis.

I then present the characteristics of the EFIGI morphological catalogue of nearby galaxies. By the fitting convolved profiles with a bulge and disk double-component profile, we derive new measures of total magnitudes which show flux losses of 0.5 to 10 magnitudes in the photometric measures provided by the SDSS for bright galaxies; these losses are caused by a poor adjustment of the sky background around large galaxies, and by the splitting of objects without a dominating bulge. The new measures show a continuous shift in the colour-magnitude diagram of the different morphological types, which contrasts with the notion of bimodality. In addition, I show that the bulges of spiral galaxies are close in colour to the ellipticals, with some reddening for the bulges of Sb and Sbc, the types in which dust is most abundant. In contrast, I observe a progressive blueing of the colours of disks, from those of lenticulars which are similar in colour to their bulges, to the disks of the latest spirals.

During this dissertation, I use the ESO-Sculptor and EFIGI catalogue to illustrate the issues and difficulties in the characterisation of the different galaxy types in the nearby and distant Universe. In particular, I show that the intrinsic luminosity functions of the various morphological types are biased by type mixing when the separation is based in the spectral classification, on colors, or on the spectrophotometric types. These effects can have significant repercussion on the derivation of constraints on galaxy evolution from observational samples.