

Chapitre 5

Fonctions de luminosité et évolution

5.1 Introduction

Dans les modèles de formation de l'Univers à grande échelle basés sur l'effondrement gravitationnel des structures, les fonctions de luminosité des galaxies offrent un outil quantitatif pour contraindre les processus majeurs entrant en jeu dans la formation des galaxies (Cole et al. 2000; Baugh et al. 2002). La fonction de masse des galaxies est une prédiction de base des modèles théoriques et contraint la fonction de luminosité moyennant des hypothèses sur le rapport masse-luminosité des galaxies (Ashman et al. 1993). Les phénomènes de refroidissement et d'éjection du gaz jouent aussi un rôle dans la prédiction théorique des fonctions de luminosité (Scannapieco & Broadhurst 2001). Les fonctions de luminosité permettent en outre de contraindre la formation d'étoiles et sa régulation (Perez-Gonzalez et al. 2003; Peng et al. 2010), ainsi que les processus de fusions des galaxies (Wake et al. 2006).

Si les simulations à N-corps décrivent un intervalle limité de masse et de type de galaxies, les observations révèlent une grande richesse de détails, avec une fonction de luminosité des galaxies s'étendant sur 12 magnitudes, soit cinq ordres de grandeur en luminosité (Mathis et al. 2002; Flint et al. 2001; Trentham & Tully 2002). Les relevés systématiques de galaxies indiquent un comportement en loi de Schechter (1976) pour la plupart des mesures, avec des variations de la magnitude caractéristique et de la pente aux faibles magnitudes selon le type de galaxies considérées (Efstathiou et al. 1988; Loveday et al. 1992; Heyl et al. 1997; Lin et al. 1999; Folkes et al. 1999; Fried et al. 2001; Madgwick et al. 2002; Wolf et al. 2003; Montero-Dorta & Prada 2009).

Pourtant, les mesures locales des fonctions de luminosité dans l'amas de la Vierge, du Centaure, du Fornax et de Coma (Sandage et al. 1985; Jerjen & Tammann 1997a; Ferguson & Sandage 1991; Andreon 1998), avaient montré un comportement distinct pour les différents types morphologiques de galaxies, avec des fonctions Gaussiennes pour les galaxies géantes, et des fonctions croissantes à faibles magnitudes pour les galaxies naines. Des modèles théoriques peuvent prédire ce comportement bimodal (Schaeffer & Silk 1988). Par les différences de forme ou de paramètres caractéristiques entre les différents types morphologiques, ces fonctions peuvent être considérées comme les fonctions de luminosité "intrinsèques". Les variations de la fonction globale peuvent alors être attribuées à des différences dans les fractions relatives des différents types, et dans le rapport du nombre de galaxies géantes et naines.

5.2 Collaborateurs

- Stéphane Arnouts (alors doctorant IAP; actuellement au Télescope Canada-France-Hawaï, en détachement du Lab. d’Astrophysique de Marseille),
- Sandro Bardelli (Observatoire de Bologne, Italie),
- Gaspar Galaz (alors doctorant IAP; actuellement maître de conférences à l’Universidad Pontificia Católica, Chili),

5.3 Fonctions de luminosité par classe spectrale

Article: “The ESO-Sculptor Survey: Luminosity functions of galaxies per spectral type at redshifts 0.1-0.5”, de Lapparent, V., Galaz, G., Bardelli, S., Arnouts, S., 2003, *A&A* 404, pp. 831-860.

Grâce à la classification spectrale objective des galaxies du relevé ESO-Sculpteur, nous mesurâmes les fonctions de luminosité par type spectral (de Lapparent et al. 2003). Le catalogue fut scindé en trois classes spectrales, correspondant aux trois regroupements de types morphologiques suivants: E + S0 + Sa, Sb + Sc + dE, Sc + Sd/Sm + dI. Ainsi, les galaxies géantes (elliptiques, lenticulaires, et spirales) occupent les trois classes spectrales, tandis que les deux types de galaxies naines (dE, dI ou Im), mises en évidence pour la première fois dans un relevé systématique à $z \sim 0.5$, sont réparties entre les deux classes spectrales dominées par les galaxies spirales “tardives”.

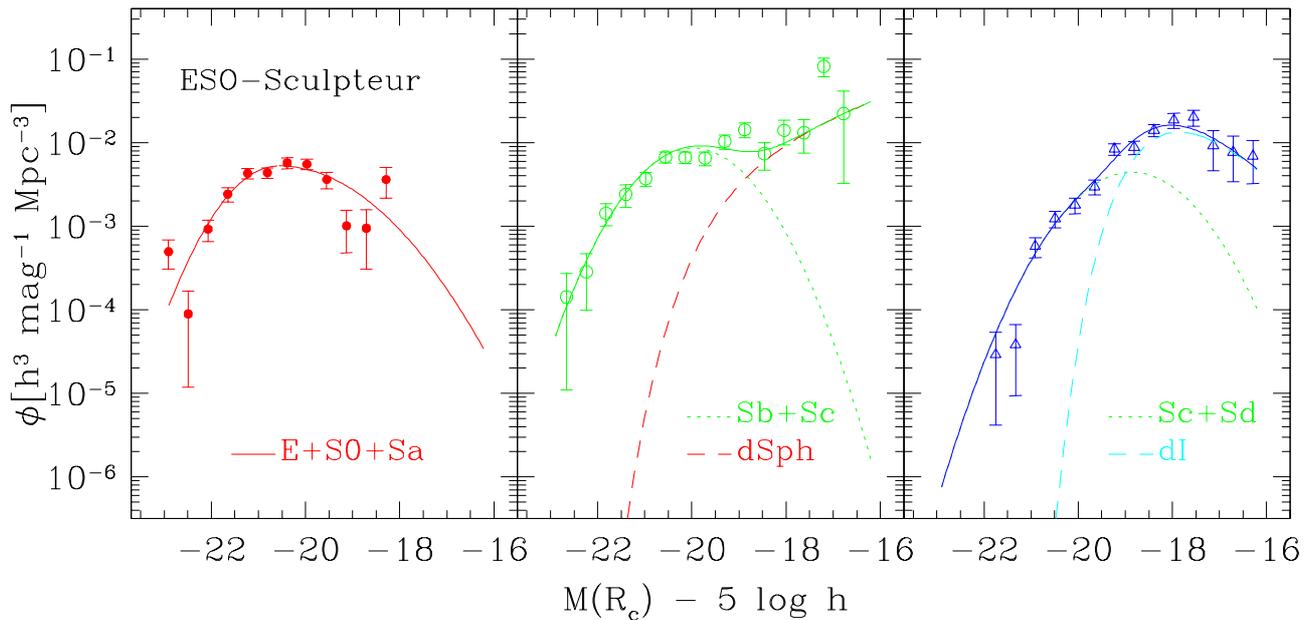


FIG. 5.1 – Les fonctions de luminosité par classe spectrale du relevé ESO-Sculpteur à $R_c \leq 21.5$ et $0.1 < z < 0.6$ (symboles) sont ajustées au moyen de fonctions composites (lignes continues) basées sur les fonctions de luminosité spécifiques à chaque type de galaxie.

Les fonctions de luminosité des trois classes spectrales, montrées dans la Fig. 5.1, diffèrent significativement les unes des autres, et nous proposons une nouvelle approche pour interpréter ces résultats. Nous montrâmes que l’on peut obtenir de bons ajustements des fonctions de luminosité du relevé ESO-Sculpteur par classe spectrale au moyen de sommes de fonctions Gaussiennes pour les galaxies géantes, et de fonctions de Schechter (1976) pour les galaxies naines (décroissance exponentielle aux magnitudes brillantes, et croissance en loi de puissance aux faibles luminosités). Ces ajustements, montrés dans la

Fig. 5.1, conduisirent à une réconciliation avec les fonctions de luminosité spécifiques à chaque type morphologique mesurées dans l'Univers local, et indiquées dans la Fig. 5.2 (de Lapparent 2003). De surcroît, les paramètres des composantes géantes et naines des fonctions de luminosité du relevé ESO-Sculpteur montraient un bon accord avec les mesures locales pour chaque type de galaxie (Sandage et al. 1985; Jerjen & Tammann 1997a; Ferguson & Sandage 1991).

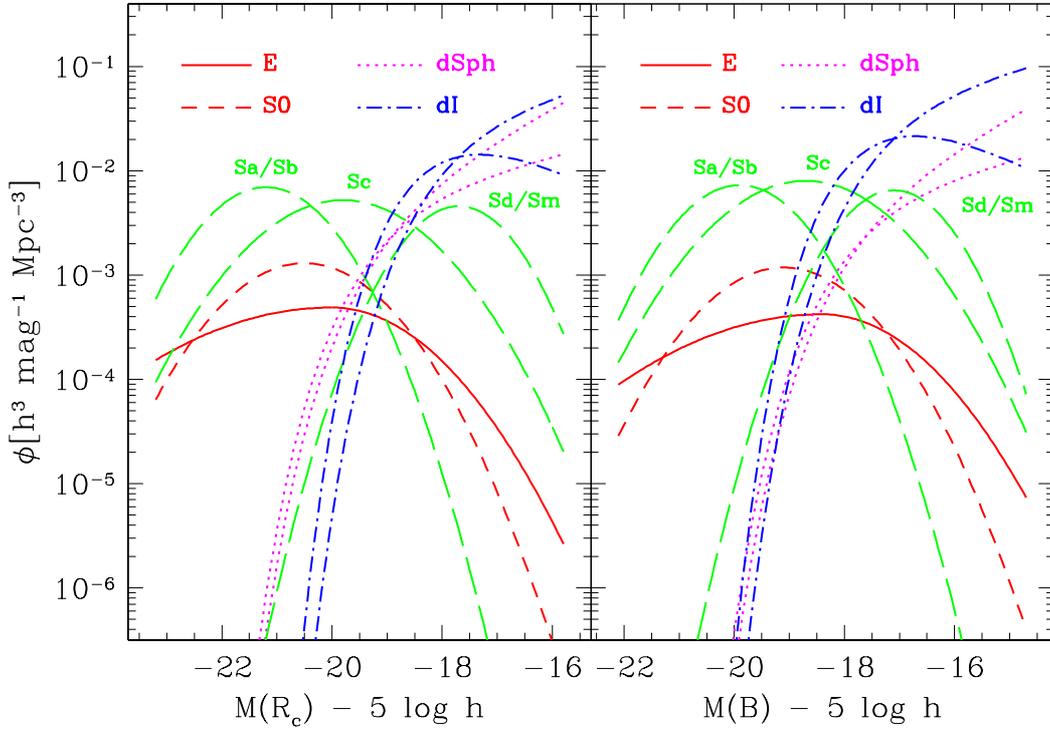


FIG. 5.2 – Les fonctions de luminosité par type morphologique (Sandage et al. 1985; Jerjen & Tammann 1997b) converties dans les bandes B_J et R_c , avec recalage des amplitudes sur le relevé ESO-Sculpteur. Ces courbes illustrent les contributions relatives de chaque classe morphologique à la fonction de luminosité des galaxies.

5.4 Article choisi n° 4

“The ESO-Sculptor Survey: Luminosity functions of galaxies per spectral type at redshifts 0.1-0.5”

de Lapparent, V., Galaz, G., Bardelli, S., Arnouts, S.

Astronomy & Astrophysics, Vol. 404, pp. 831-860

2003

5.5 Biais dans les fonctions de luminosité par type

Article: “Critical analysis of the luminosity functions per galaxy type measured from redshift surveys” de Lapparent, V., 2003, *A&A* 408, pp. 845-872.

Afin de replacer dans un contexte plus large les nouvelles mesures de fonctions de luminosité que nous avons obtenues avec le relevé ESO-Sculpteur, j’effectuai une revue exhaustive de toutes les mesures de fonctions de luminosité par classe de galaxie obtenues dans les relevés avec connaissance des décalages vers le rouge (de Lapparent 2003). Ces fonctions sont toutes de type Schechter, avec des magnitudes caractéristiques et des pentes variables selon les relevés et le mode de sélection par type. Par comparaison avec les fonctions de luminosité “intrinsèques” spécifiques à chaque type morphologique et mesurées localement (voir Fig. 5.2), cette analyse suggère qu’une grande partie des mesures de fonctions de luminosité sont affectées par un mélange de types morphologiques. Cette confusion gêne la comparaison des fonctions de luminosité entre les différents relevés.

Fait notable, aucun relevé existant n’a mesuré les fonctions de luminosité “intrinsèques” des galaxies spirales : ces mesures sont suspectées d’être contaminées par la présence de galaxies naines elliptiques (voir Sect. 5.3); nous confirmons cette présomption dans la Sect. 3.4 au moyen du catalogue morphologique EFIGI). En outre, la plupart des relevés utilisent une identification visuelle de la morphologie des objets à partir de plaques photographiques, et échouent dans la mesure des fonctions de luminosité Gaussiennes pour les galaxies elliptiques et lenticulaires. Cette analyse souligne la nécessité de mesures séparées des fonctions de luminosité des différents types de galaxies géantes et naines au delà de l’Univers local, et pour de grands échantillons statistiques. L’échantillon EFIGI, décrit dans le deuxième volet de ce mémoire, fournit un premier échantillon permettant de telles mesures (voir Sect. 3.4 de la Partie III).

5.6 Article choisi n° 5

“Critical analysis of the luminosity functions per galaxy type measured from redshift surveys”

de Lapparent, V.

Astronomy & Astrophysics, Vol. 408, pp. 845-872

2003

5.7 Evolution des galaxies spirales tardives

Article: “The ESO-Sculptor Survey: Evolution of late-type galaxies at redshifts 0.1-0.”, de Lapparent, V., Arnouts, S., Galaz, G., Bardelli, S. 2004, *A&A* 422, pp. 841–863.

Le relevé ESO-Sculpteur permet ensuite de préciser la nature de l’excès de galaxies dans les comptages profonds de galaxies, et plus particulièrement dans les bandes bleues (Tyson 1988; Lilly et al. 1991; Metcalfe et al. 1995; Campos & Shanks 1997). Ces données exhibent une croissance rapide de la densité spatiale de galaxies Sc + Sd + dI (ou Im) avec le décalage spectral, montrée dans le panneau de gauche de la Fig. 5.3 (de Lapparent et al. 2004), que l’on peut modéliser en $(1+z)^2$. Cette modélisation fut validée par les 2 excellentes prédictions qui en résultent : (1) l’ajustement des distributions en décalage vers le rouge du relevé jusqu’à $z \simeq 0.5$, dans le panneau de droite de la Fig. 5.3 ; (2) l’ajustement des comptages $B_J V_J R_c$ extrapolés jusqu’à la limite du catalogue photométrique, soit 3 magnitudes plus profond que le sondage spectroscopique (et $z \simeq 1.0$), montrés dans la Fig. 5.4.

L’évolution détectée pourrait être causée par une croissance rapide du nombre de galaxies lorsque le décalage spectral augmente, ce qui indiquerait que les fusions de galaxies ont joué un rôle dans l’évolution récente des galaxies de type spiral tardif et les irrégulières. Une autre interprétation possible est une augmentation de luminosité de l’ordre de ~ 1 magnitude à $z \sim 0.5$ et de $\sim 1.5 - 2.0$ magnitudes à $z \sim 1$. Cette dernière interprétation est compatible avec l’accroissement de luminosité prédit par les modèles d’évolution spectro-photométrique des galaxies Sc aux décalages vers le rouge considérés (Poggianti 1997). Enfin, la combinaison d’une évolution en nombre *et* en luminosité ne peut pas être écartée.

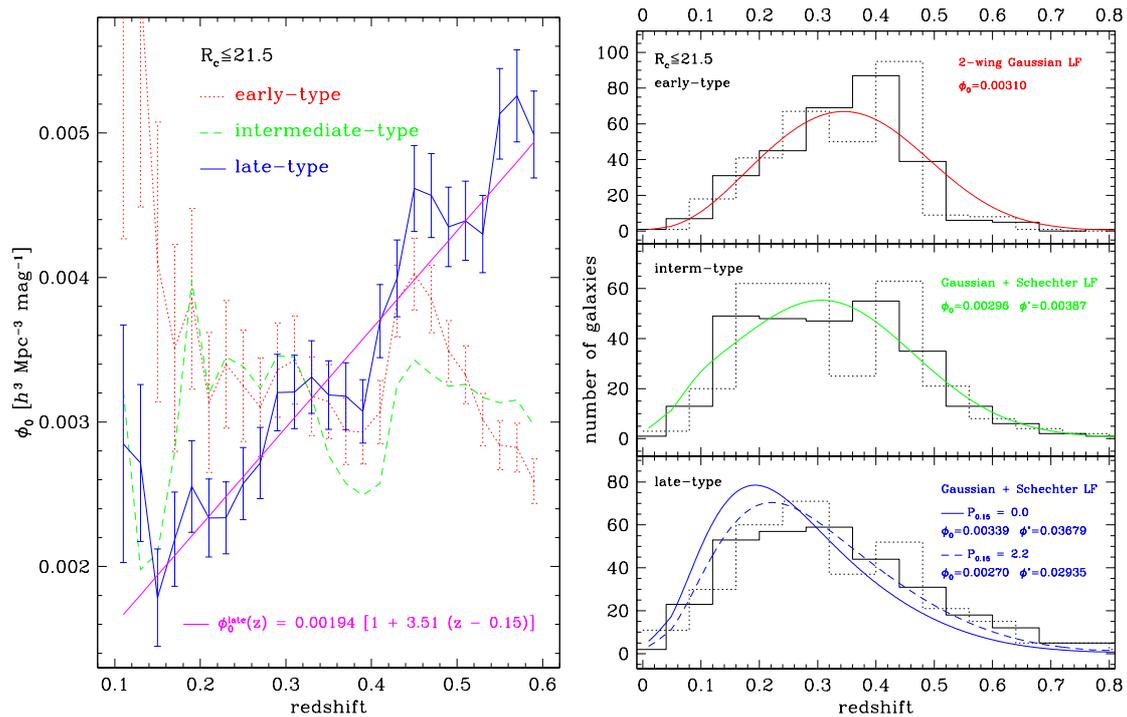


FIG. 5.3 – A gauche, la croissance rapide de la densité de galaxies de type spectral tardif (Sc + Sd/Sm + dI) dans le relevé ESO-Sculpteur. A droite, l’ajustement des distributions en décalage vers le rouge dans la bande R_c pour les trois classes spectrales (type précoce [E, S0, Sa], type intermédiaire [Sb, Sc, dE], et type tardif [Sc, Sd/Sm, dI]), par les fonctions de luminosité composites de la Fig. 5.1 (sans évolution, lignes continues), et avec prise en compte de l’évolution des galaxies de type tardif (ligne pointillée).

Cette analyse illustre l’importance d’utiliser des fonctions de luminosité réalistes pour chaque type de galaxie lorsque l’on souhaite mesurer leur évolution. Nous avons en effet constaté que l’utilisation

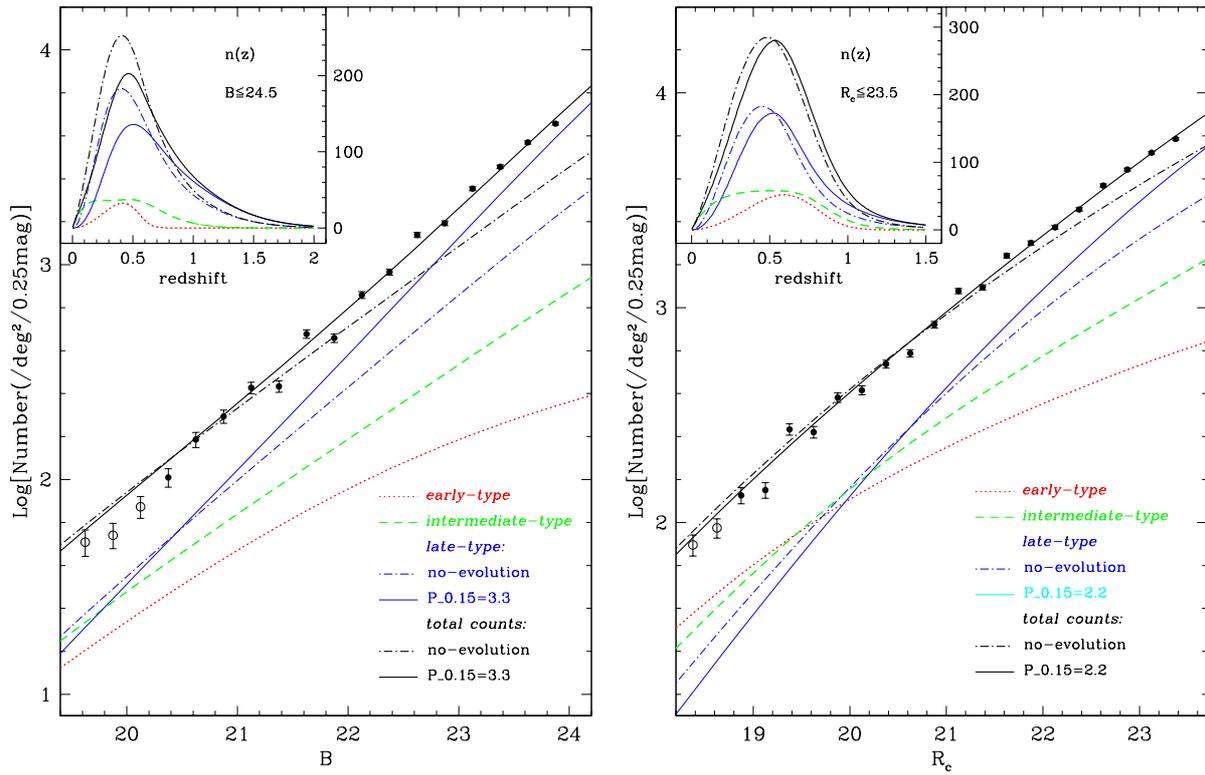


FIG. 5.4 – Ajustement des comptages du relevé ESO-Sculpteur dans les bandes B_J (à gauche) et R_c (à droite) par les fonctions de luminosité composites de la Fig. 5.1 (sans évolution, lignes pointillées), et avec prise en compte de l'évolution des galaxies de type tardif (lignes continues).

des fonctions de luminosité de Schechter obtenues pour les différentes classes spectrales rendent difficile l'ajustement simultané des distributions en décalage vers le rouge et en magnitude, et l'évolution qui en est déduite est affectée par de plus grandes dégénérescences et barres d'erreur.

5.8 Article choisi n° 6

“The ESO-Sculptor Survey: Evolution of late-type galaxies at redshifts 0.1-0.”

de Lapparent, V., Arnouts, S., Galaz, G., Bardelli, S.

Astronomy & Astrophysics, Vol. 422, pp. 841–863

2004