

Troisième partie

LE CATALOGUE MORPHOLOGIQUE EFIGI

Chapitre 1

Introduction

1.1 Les catalogues morphologiques

Le catalogue RC3 (de Vaucouleurs et al. 1991) a longtemps été la référence pour obtenir les types morphologiques ainsi que des informations sur la présence de barres et d’anneaux pour les galaxies proches. Au total ~ 23000 galaxies avec $B_T \lesssim 15.5$ ont été répertoriées à partir de plaques photographiques. En ce qui concerne l’étude des particularités morphologiques, des catalogues complémentaires se limitent à une ou quelques propriétés pour de petits échantillons et/ou dans des régions préférentielles du ciel (Kormendy 1979; Buta 1995; Naim et al. 1997; Buta et al. 2006, 2007).

Récemment, la mise à disposition des images et des catalogues du relevé “Sloan Digital Sky Survey” (SDSS, <http://www.sdss.org>) a permis la création de grandes bases de données morphologiques obtenues par examen visuel des images. D’une part le “Galaxy Zoo” (Lintott et al. 2008) utilise la participation du public pour obtenir la classification de centaines de milliers d’objets selon des critères simples : profil lisse ou avec disque, composantes multiples, nombre de bras et enroulement, prééminence du bulbe, barres, anneaux, allées de poussières et irrégularités. En [parallèle, Nair & Abraham (2010) ont obtenu, pour ~ 14000 galaxies du relevé SDSS, une classification par type de Hubble avec attributs secondaires signalant la présence de barres, anneaux, lentilles, distorsions, queues de marée, bras spiraux, et poussière, ainsi que le niveau d’intensité de certains d’entre eux.

1.2 Liens entre les caractéristiques spectrales et morphologiques des galaxies

La morphologie des galaxies apparaît comme étroitement liée à la formation d’étoile et son évolution. D’une part, les différents types de galaxies identifiés historiquement sur plaques photographiques, et plus récemment dans les grands relevés digitaux ont des distributions en énergie spectrale caractéristiques, indiquant pour chacune une forme spécifique d’évolution de la formation d’étoiles avec le temps (Guidedoni & Rocca-Volmerange 1987; Bruzual & Charlot 1993). En outre, les images profondes du ciel obtenues avec les grands télescopes au sol et le Télescope Spatial de Hubble ont montré que la morphologie des galaxies a évolué de façon marquée depuis $z \sim 2$, les galaxies spirales apparaissant de plus en plus perturbées à grande distance, avec des indices d’interactions et fusions de plus en plus fréquents (Brinchmann et al. 1998).

Si l’évolution spectrale des galaxies a été largement défrichée en utilisant la photométrie et de la spectroscopie intégrée des objets, l’évolution de la morphologie reste à quantifier précisément. La difficulté réside dans l’instabilité des estimateurs de forme disponibles jusqu’à présent, en raison de leur sensibilité à la qualité des images (bruit, échantillonnage, réponse impulsionnelle), et aux effets de sélection (brillance de surface). Or la morphométrie, ou mesure de paramètres de forme, offre des perspectives intéressantes car elle permet d’explicitier la nature des variations spectrales. Lors de sursauts de formation d’étoiles,

on devrait distinguer par morphométrie les modes simples de changement, par exemple l’amplification d’une composante ou la déformation des profils. Pour les mêmes raisons, la morphométrie peut aussi être un outil performant pour poser des contraintes sur les taux de fusions majeures des différents types de galaxie; les fusions majeures seraient, d’après les modèles de formation hiérarchique des galaxies, à l’origine des galaxies les plus massives observées actuellement.

La forme intrinsèque et apparente des galaxies a aussi des conséquences sur les mesures statistiques caractérisant les galaxies et leur évolution. La mesure de la poussière dans les disques a montré que les magnitudes B des disques et bulbes peuvent être atténuées jusqu’à 1-2 magnitudes aux fortes inclinaisons : jusqu’à 35% et 71% des photons émis par les disques et bulbes respectivement peuvent être absorbés dans l’Univers local, ce qui ne peut manquer d’affecter sensiblement les catalogues optiques existants (Driver et al. 2007), et les modélisations spectrales qui en sont déduites. Plus généralement, les propriétés réelles et observées des galaxies dans l’optique dépendent de leur inclinaison (Maller et al. 2009). De grands échantillons recensant les caractéristiques des galaxies en fonction de l’inclinaison sont par conséquent nécessaires pour distinguer parmi les variations spectrales des galaxies, la part liée aux simples effets de projection sur le ciel.

1.3 Statut actuel de la morphométrie des galaxies

Au niveau des algorithmes, il est possible d’ajuster des profils réguliers (Simard et al. 2002), et de mesurer les déviations par rapport à ces profils (Conselice 1997). Les outils disponibles et largement utilisés jusqu’à présent sont GIM2D (Simard 1998) et GALFIT (Peng et al. 2002), qui offrent en mode automatique une décomposition bulbe+disque, mais souffrent notamment d’une modélisation approximative de la réponse impulsionnelle et ne sont pas optimisés pour une application sur des grands échantillons contenant des centaines de milliers de galaxies. En outre, ces outils ne prennent pas en compte l’ensemble des caractéristiques morphologiques des objets (bras spiraux, anneaux, barres, poussière).

Quant aux mesures de concentration, d’asymétrie et de morcellement (Abraham et al. 1994; Conselice et al. 2000; Conselice 2003), les coefficients de Gini mesurant le degré de variation de la distribution de lumière (Abraham et al. 2003), les mesures de “granularité” (Yamauchi et al. 2005), les harmoniques circulaires pour la modélisation des bras spiraux (Odewahn et al. 2002), toutes ces approches sont malheureusement dépendantes de la réponse impulsionnelle, de l’échantillonnage et des caractéristiques de bruit des images, ne permettant pas une comparaison fiable entre différents relevés (Lisker 2008).

L’analyse du catalogue du “Galaxy Zoo” montre que la “bi-modalité” du diagramme couleur-magnitude des galaxies cache des populations importantes de galaxies spirales rouges, et une population moindre mais réelle de galaxies elliptiques bleues. Ce catalogue montre aussi une corrélation marginale (à $2 - 3\sigma$) entre les sens de rotation de galaxies voisines, ce qui pourrait être la preuve d’un couplage gravitationnel entre les halos de matière noire au moment de l’effondrement des grandes structures (Slosar et al. 2009).

Le lien entre la morphologie des galaxies et leur environnement a pu être réexploré récemment grâce aux nouveaux grands relevés, apportant des clarifications et de nouvelles interrogations. Par la mesure de la concentration et de l’indice de Sérsic pour 80 000 galaxies du relevé SDSS, la bi-modalité dans la relation couleur-magnitude des galaxies apparaît comme déterminée par la densité locale de galaxies, le lien morphologie-densité découlant de la relation couleur-densité, qui, elle, serait intrinsèque (Blanton et al. 2005). Cependant, une analyse du catalogue de Shapley-Ames ne confirme pas la dichotomie couleur-magnitude quand les galaxies sont examinées par type morphologique le long de la séquence de Hubble (van den Bergh 2007). En outre, la relation diamètre-magnitude des galaxies semble indépendante de la densité de l’environnement dans l’Univers local (van den Bergh 2008), mais cela doit être confirmé avec de plus grands échantillons.

En parallèle, les simulations de formation des galaxies dans un Univers avec matière noire dominé par une constante cosmologique produisent des prédictions sur la morphologie des galaxies. Par exemple, les deux approches actuelles de simulations semi-analytiques (modèles de Durham et du Max-Planck Inst. Astroph.) suggèrent que, hormis les galaxies elliptiques les plus massives, la majorité des galaxies elliptiques et spirales acquièrent leur masse stellaire par des fusions mineures ou des instabilités de disque (Parry et al. 2009). Par des simulations N-corps+SPH, Debattista et al. (2006) montrent aussi que la

formation des barres est un phénomène majeur dans l'évolution séculaire des disques. En effet, la fréquence observée des barres a diminué d'un facteur 3 pendant la dernière moitié de l'âge de l'Univers, en lien avec l'accroissement de la masse stellaire, le rougissement et la plus grande prééminence du bulbe, ce qui indique une maturation "dynamique" des galaxies massives (Sheth et al. 2008). Les bulbes des galaxies précoces avec barres semblent avoir en outre subi un enrichissement en métaux différent des bulbes sans barres, suggérant que la formation des bulbes et des barres est liée (Pérez & Sánchez-Blázquez 2011).

Au moyen de simulations hydrodynamiques de formation de grandes spirales, Scannapieco et al. (2010) montrent la distinction entre les mesures photométriques et dynamiques du rapport de flux entre le disque et la l'intégralité d'une galaxie, et la difficulté d'une réconciliation avec les observations. Les comparaisons des modèles avec des échantillons observés de quelques milliers de galaxies fournissent en outre des résultats intéressants, et soulignent la nécessité de confrontation avec de grands échantillons statistiques. A titre d'exemple, la fraction des galaxies spirales ayant de très petits disques est bien plus importante dans les données (SDSS) que dans les prédictions des simulations numériques (Barazza et al. 2008); et les galaxies les plus vieilles à $z \sim 2$ étaient extrêmement compactes (Damjanov et al. 2009).

Cet état des lieux montre la nécessité de mettre en place des outils performants de morphométrie permettant de comparer les propriétés des galaxies proches avec celles des galaxies à $z \gtrsim 1$. La seule approche numérique réellement fiable pour effectuer des mesures morphométriques comparatives entre relevés est l'ajustement de modèles convolués par la réponse impulsionnelle. Ces outils doivent être appliqués à des échantillons statistiques basés sur une imagerie CCD multi-couleur et bien échantillonnée. Des catalogues de référence recensant toutes les caractéristiques morphologiques des galaxies, avec une validation visuelle sont de surcroît nécessaires pour le contrôle et la calibration des outils automatiques. Dans ce qui suit, je décris les programmes mis en place à l'IAP afin de suivre ce cheminement.