RAPPORT DE STAGE
Étude spectrographique de quelques galaxies lenticulaires

Emmanuel LOYER
Sous la direction de François SIMIEN

5 septembre 1996

Table des matières

Chapitre 1

Introduction

Les galaxies lenticulaires constituent une classe intermédiaire entre les galaxies spirales et les galaxies elliptiques. En effet, elles sont constituées d'un bulbe central et d'un disque. Ce dernier les distingue des spirales, car il ne contient ni bras spiraux ni disque de poussière. Ces galaxies sont par ailleurs les moins bien connues. Leur origine, en particulier, reste mystérieuse : se sont-elles formées telles qu'on les observe actuellement ou sont-elles d'anciennes spirales dont le gaz a été souflé? Les nombreux problèmes encore non résolus concernant ces galaxies rendant leur étude particulièrement intéressante.

Il existe plusieurs types de galaxies lenticulaires. Certaines s'apparentent à des elliptiques qui possèdent un disque embryonnaire. Au contraire, d'autres possèdent un disque plus prononcé et sont ainsi morpholgiquement plus proches des spirales. Ce sont ces dernières qui nous intéressent car leur disque ne peut plus être traiter comme une simple perturbation.

Des données photométriques existent sur ces galaxies, et nous permettent de remonter à la distribution de masse. Les données spectrographiques, dont on extrait la cinématique de la galaxie, commencent seulement à s'accumuler. On ne dispose cependant pas encore de modèle dynamique de ces galaxies. Des essais de traitement séparant une lenticulaire en deux composantes (un bulbe central et un disque) ont montré qu'il fallait certainement adopter une démarche plus progressive.

Le modèle développé ici est basé sur la résolution des équations de Jeans (équations obtenues à partir des lois de l'hydrodynamique), dans le cas où les isophotes ont une forme particulière. Les résultats sont ensuite comparés aux données spectrographiques.

Le plan de ce rapport est le suivant : après le chapitre d'introduction (Chapitre I), le Chapitre II est consacré à l'acquisition et au traitement des données. Le Chapitre III présente les modèles utilisées à l'occasion de ce stage. Le Chapitre IV expose les résultas obtenus. Le Chapitre V constitue la conclusion de ce rapport.

Chapitre 2

Acquisition et traitement des données

Les données qui ont été utilisées au cours de ce stage ont été acquises à l'Observatoire de Haute Provence (OHP). Cet observatoire est situé dans les Alpes de Haute Provence.

Dans le cadre de ce stage, j'ai d'ailleurs pu passer plusieurs nuits à l'OHP et ainsi assister à l'acquisition des données. Précisons que ce ne sont pas ces données qui ont servi pour le stage mais des données de même nature concernant d'autres galaxies.

Les données photométriques sont acquises sur le télescope de 193 cm de diamètre ; les données spectrographiques sont acquises sur le même télescope grâce au spectromètre CARELEC. Ensuite les données sont traitées de façon à obtenir d'une part les profils photométriques et d'eutre part les spectres à partir desquels on obtient les courbes de rotations et de dispersion des vitesses de la galaxie.

2.1 Le télescope

Le télescope de 193 cm de diamètre a été mis en service en 1958. Bien que relativement ancien, il reste l'un des plus performants de l'hémisphère nord.

Il est doté d'une monture anglaise. Le miroir principal parabolique a un diamètre de 1906 mm. Utilisé en Cassegrain, il est muni d'un miroir secondaire hyperbolique de 524 mm de diamètre. Sa distance focale est alors de 2860 cm ce qui donne une ouverture de $f/15.0$.

Au foyer, on obtient alors $150\,\mu$m/".

2.2 Les données photométriques

Un CCD Tektronik de 512×512 pixels est installé en sortie du télescope. Ce CCD possède la particulirité d'avoir un très faible courant d'obscurité.

Les mesures se font dans la bande I, aux allentours de 9000 øA.

Les données obtenues doivent ensuite être traitées. Ainsi il faut par exemple soustraire le fond du ciel (obtenu en moyennant l'intensité lumineuse mesurée loin de la galaxie).

On peut ainsi obtenir le profil photométrique de la galaxie.

2.3 Le spectromètre CARELEC

Le spectromètre CARELEC est un spectromètre à fente longue. La fente, longue de $50\,mm$, est de largeur réglable (50 à $2000\,\mu$m). Cette fente est orientable par rotation du spectromètre. Le réseau du spectromètre comporte 600 traits/mm.

La calibration du spectromètre se fait à l'aide de diverses sources (lampe à helium, argon néon...). On étalonne de cette façon en longueur d'onde.

Le spectromètre est équipé d'une caméra visant la fente. Ceci permet un guidage automatique après pointage d'un objet à l'aide d'un reticule sur un écran de visualisation.

On adapte un CCD en sortie du spectromètre. Dans notre cas, il s'agissait d'un CCD Tektronic de 512×512 pixels, chaque pixel ayant une dimension de $27\mu m$. Ce CCD est caractérisé par un très faible courant d'obscurité.

Notons enfin que le télescope, de même le spectromètre, est totalement controlé depuis la salle de controle. Le guidage est réglé au niveau du pupitre de commande du telescope. L'acquisition des données est commandée grace â un ordinateur sur lequel fonctionne un logiciel interactif.

2.4 Obtention des spectres et des courbes de rotation

Les données du CCD sont traitées une première fois pour obtenir les spectres de la galaxie.

Ensuite on determine les vitesses et les dispersions de vitesse dans la galaxie. Ceci se fait par comparaison avec le spectre d'une étoile témoin. Voici le pricipe de ces opérations : la comparaison des décalages vers le rouge permet de calculer les vitesses relatives, les élargissement des raies par effet Doppler permettent de calculer la dispersion des vitesses.

Chapitre 3

Modélisation

Nous allons maintenant exposer les modèles utilisés au cours de de ce stage pour étudier la dynamique des galaxies lenticulaires.

3.1 Les équations de Jeans

3.1.1 Équation de Boltzmann sans collision

On pourra se reporter au livre de Binney [1] et en particulier au chapitre 4 où sont détaillés les calculs dont nous ne présentons ici que les principaux résultats.

Chaque étoile peut etre représentée par un point de l'espace des phases $(\vec{x}, \vec{v})$. On peut donc définir une fonction de distribution f telle que $f(\vec{x}, \vec{v}, t) d^3\vec{x} d^3\vec{v}$ soit le nombre d'étoiles situées en $\vec{x}$ à $d^3\vec{x}$ près et ayant une vitesse $\vec{v}$ à $d^3\vec{v}$ près.

En posant $\vec{w} = (\vec{x}, \vec{v}) = (w_1 ... w_6)$, on a $\dot{\vec{w}} = (\dot{\vec{x}}, \dot{\vec{v}}) = (\vec{v}, -\vec{\nabla}\Phi)$, où Φ représente le potentiel total.

La fonction de distribution f satisfait une équation de continuité qui s'écrit :

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \sum_{i=1}^{6} \frac{\partial f \dot{w}_i}{\partial w_i} = 0.$$

Écrite sous forme vectorielle, on obtient l'équation de Boltzmann sans collision :

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \vec{v}.\vec{\nabla} f - \vec{\nabla}\Phi.\frac{\partial f}{\partial \vec{v}} = 0.$$

3.1.2 Les équations de Jeans

Remarquons d'abord que $\rho(\vec{x}, t) = \int f(\vec{x}, \vec{v}, t)\ \mathrm{d}^3\vec{v}$. Posons $\overline{a} = \frac{1}{f} \int af\ \mathrm{d}^3\vec{v}$, où a est une quantité quelconque, et $\sigma_{i,j}^2 = \overline{(v_i - \overline{v}_i)(v_j - \overline{v}_j)} = \overline{v_i v_j} - \overline{v}_i \overline{v}_j$. L'intégration des équations de Boltzmann par rapport à $\vec{v}$ conduit à :

$$\rho \frac{\partial \overline{v}_j}{\partial t} + \rho \overline{v}_i \frac{\partial \overline{v}_j}{\partial x_i} + \rho \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} + \frac{\partial \left(\rho \sigma_{i,j}^2\right)}{\partial x_i} = 0.$$

On se place maintenant en coordonnées cylindriques. On suppose par ailleurs que notre système est stationnaire, possède la symétrie de révolution, et qu'il est symétrique par rapport au plan $z = 0$, ce qui est raisonnable pour une galaxie. On fait en plus l'hypothèse suivante : $\overline{v}_r = \overline{v}_\theta = 0$, ce qui revient à considérer que le mouvement moyen est une rotation autour de l'axe de révolution.

Ceci conduit aux équations de Jeans, sous la forme où nous les utiliserons :

$$\frac{\partial \left(\rho \sigma_r^2\right)}{\partial r} + \rho . \left[\frac{\sigma_r^2 - \left(\sigma_\theta^2 + \overline{\Theta}^2\right)}{r} + \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right] = 0$$

et

$$\frac{\partial \left(\rho \sigma_z^2\right)}{\partial z} + \rho \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0.$$

3.1.3 Applications

Comme nous allons le voir plus loin, la photométrie permet de determiner la distribution de masse dans la galaxie. On peut donc en déduire numériquement le potentiel Φ. L'intégration numérique des équations de Jeans permet donc de calculer les grandeurs cinématiques moyennant certaines hypothèses sur l'ellipsoïde des vitesses. Il ne reste plus qu'à comparer ces résultats aux données spectrographiques.

Ce genre de travail a déja été réalisé avec un certain succès pour des galaxies elliptiques. En ce qui concerne les galaxies lenticulaires, une approche consistant à considerer la galaxie comme un bulbe elliptique en $R^{\frac{1}{4}}$ et un disque exponentiel a été menée, avec un succès plus limité.

3.2 La méthode MGE

3.2.1 Traitement des données photométriques

Comme nous l'avons dit précédement, les données photométriques permettent de déterminer la distribution de masse dans la galaxie. En effet, soit I_{sp} la densité spatiale de lumière. La photométrie nous donne la luminosité projetée I_{pr}, qui est reliée à la densité spatiale par :

$$I_{pr} = \int_{ligne\ de\ vue} I_{sp} \ \mathrm{d}l$$

où l représente l'abscisse suivant la ligne de vue.

Les intégrales d'Abel nous permettent d'inverser cette intégration c'est à dire de déterminer I_{sp} à partir de I_{pr}, qui est la quantitée à laquelle on accède expérimentalement. La densité de masse est supposée proportionnelle à la densité (spatiale) de lumière et se calcule donc sans problème ; le coefficient de proportionnalite, appelé rapport masse-luminosité est souvent supposé constant pour une population d'ètoiles donnée.

Ces calculs sont cependant assez lourds et on préfère recourrir à des modèles de distribution de lumière projetée qui se déprojettent bien. C'est le principe de la méthode MGE développée par G.Monnet *et al* [2].

3.2.2 Projection d'une distribution gaussienne

Considérons une galaxie vue par la tranche, c'est à dire que le plan de projection est parallèle à son axe (voir figure 3.1).

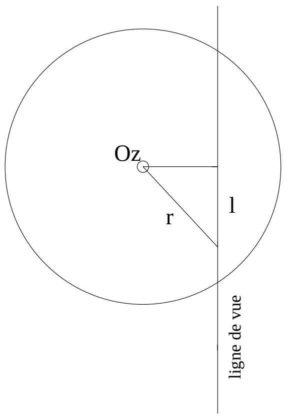

FIG. 3.1 - *intégration suivant la ligne de vue*

On a, avec les notations du schéma :

$$I_{pr} = \int_{-\infty}^{+\infty} I_{sp}(R, l, z)\, \mathrm{d}l.$$

Considérons maintenant une distribution spatiale de lumière à symétrie cylindrique de la forme :

$$I_{sp}(r, z) = I_0\, e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(r^2+z^2/q^2)} = I_0\, e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(R^2+l^2+z^2/q^2)}.$$

La projection est alors immédiate :

$$I_{pr}(R, z) = \sqrt{2\pi}\sigma I_0 e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(R^2+z^2/q^2)}.$$

Un profil photométrique de la forme

$$I_{pr}(R, z) = \sum_i I_{0,i} e^{-\frac{1}{2\sigma_i^2}(R^2+z^2/q_i^2)}$$

se déprojette donc en

$$I_{sp}(r,z) = \sum_i \frac{I_{0,i}}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-\frac{1}{2\sigma_i^2}(r^2+z^2/q_i^2)}.$$

Pour une galaxie donnée, nous allons donc commencer par approcher son profil photométrique par une somme de gaussienne en effectuant un ajustement des quantités $I_{0,i}, \sigma_i$ et q_i.

3.2.3 Détermination des grandeurs cinématiques

Nous reprenons ici les formules établies par E. Emsellem *et al* [3]. On appelle ρ_i la densité de masse associée à la composante i, Γ_i son rapport masse-luminosité, et I_i l'intensité spatiale.

Ainsi

$$\rho(r,z) = \sum_i \Gamma_i I_i e^{-\frac{1}{2\sigma_i^2}(r^2+z^2/q_i^2)}.$$

et

$$\Phi(r,z) = -4\pi G \sum_j q_j \sigma_j^2 \Gamma_j I_j \int_0^1 H_j(T)\ \mathrm{d}T,$$

où

$$H_j(T) = \frac{e^{-\frac{T^2}{2\sigma_j^2}(r^2+z^2/(1-e_j^2T^2))}}{\sqrt{1-e_j^2T^2}} \text{ avec } e_i^2 = 1-q_i^2.$$

On obtient finalement

$$\sigma_{z,i}^2 = 4\pi G \sum_j q_j q_i^2 \sigma_i^2 \Gamma_j I_j \int_0^1 \frac{T^2 H_j(T)}{1-B_{i,j}T^2}\ \mathrm{d}T, \text{ avec } B_{i,j} = e_j^2 - \frac{\sigma_i^2 q_i^2}{\sigma_j^2},$$

et

$$\left(\sigma_\theta^2 + \overline{\Theta}^2\right)_i = 4\pi G \sum_j q_j \Gamma_j I_j \int_0^1 \left[q_i^2\sigma_i^2 + R^2(e_i^2 - e_j^2T^2)\right] \frac{T^2 H_j(T)}{1-B_{i,j}T^2}\ \mathrm{d}T,$$

pour chacune des composantes i.

Pour l'ensemble, on a :

$$\rho\sigma_z^2 = \sum_i \rho_i \sigma_{z,i}^2 \text{ et } \rho\left(\sigma_\theta^2 + \overline{\Theta}^2\right) = \sum_i \rho_i \left(\sigma_\theta^2 + \overline{\Theta}^2\right)_i.$$

Chapitre 4

Décomposition photométrique

Avant de présenter les résultats obtenus, nous exposons ici la méthode de traitement des données photométriques.

4.1 Approximation de la photométrie par des gaussiennes

Il nous faut approcher la photométrie de nos galaxies par une somme de fonction gaussiennes. Ce travail est réalisé informatiquement par un programme utilisant un algorithme de minimisation du χ^2.

Nous avons constaté qu'il suffit en général de 4 gaussiennes pour obtenir une très bonne approximation de la photométrie d'une galaxie. L'ajout de gaussiennes supplémentaires augmente le temps de traitement mais ne change pas de façon significative les résultats.

Nous présentons le résultat de cette décomposition pour la galaxie NGC 2732 sur la figure 4.1. Y sont tracés le profil photométrique du grand axe de la galaxie en pointillé ainsi que celui du modèle en trait plein. Le profil photométrique a été approché par une somme de 4 gaussiennes. On remarque que la différence entre le profil réel et notre modélisation est très faible. Ceci justifie que l'on se contente de 4 gaussiennes.

On note cependant la présence d'une étoile dans le champ qui occasionne un pic de luminosité vers -50 secondes d'arc.

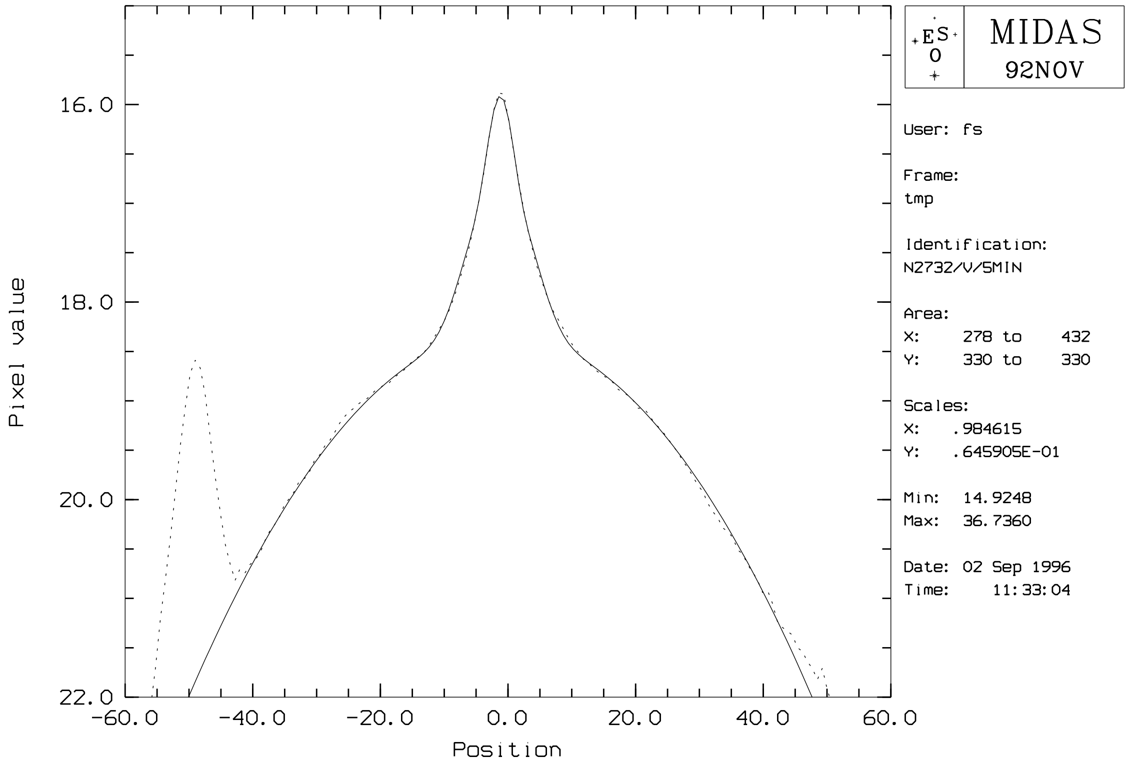

FIG. 4.1 - *Décomposition photométrique de NGC 2732. En ordonnée figure la magnitude, en abscisses la distance au centre en secondes d'arc.*

4.2 Déconvolution de la photométrie de la PSF

La photométrie que nous obtenons est convoluée par la PSF. On suppose cette PSF gaussienne. La convolution d'une gaussienne de la décomposition photométrique par la PSF est toujours gaussienne. En indiçant par $_{conv}$ les quantités convoluées, on a les relations suivantes entre quantités réelles et quantités convoluées :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{conv}^2 = \sigma^2 + \sigma_{PSF}^2 \\ q_{conv}^2 \sigma_{conv}^2 = q^2\sigma^2 + \sigma_{PSF}^2 \\ q_{conv}\sigma_{conv}^2 I_{conv} = q\sigma^2 I. \end{array} \right.$$

Cette convolution est immédiate, il en est de même pour la déconvolution.

Il reste encore à évaluer les caractéristiques de la PSF. Ceci peut être fait si on dispose d'une étoile brillante dans le champ du CCD. Le programme utilisé pour approcher le profil photométrique de la galaxie est utilisé pour déterminer les caractéristiques de la PSF supposée gaussienne. Si on ne dispose pas d'étoile brillante dans le champ, il nous faut estimer cette PSF de façon réaliste.

Remarquons que l'on pourrait aller au-dela de la PSF gaussienne : pour plus de précision, on pourrait modéliser la PSF par une somme de plusieurs gaussiennes. La convolution de la PSF par une gaussienne serait toujours aussi simple, mais la déconvolution ne serait plus immédiate. Il faudrait chercher des gausiennes qui, convoluées par la PSF, approchent le profil photométrique.

Chapitre 5

Résultats

5.1 NGC 2732

5.1.1 Les données du modèle

Les résultats de la décomposition en 4 gaussiennes de la photométrie de la galaxie NGC 2732 sont présentés dans le tableau 5.1.

TAB. 5.1 - *Décomposition photométrique de NGC 2732*

composante	σ ["]	μ	q
1	1.51	17.6	0.889
2	3.91	18.2	0.715
3	18.5	20.0	0.311
4	19.6	20.6	0.166

La présence d'une étoile brillante dans le champ a permis de déterminer de façon relativement précise la PSF. Celle-ci est modélisée par une gaussienne de demi largeur $\sigma = 1.15$".

La distance nous séparant de la galaxie que nous avons utilisée dans nos modèles est de 28.7 Mpc.

Dans un premier temps, nous avons supposé que les différentes composantes avaient le même rapport masse luminosité, égal à 5. Ensuite, nous avons affecté au bulbe (c'est à dire aux deux premières composantes) un rapport masse luminosité égal à 6, alors que ce même rapport était fixé à 3 pour le dique. Les résultats sont présentés respectivement en figure 5.1 et 5.2.

Pour être plus précis et pouvoir comparer les données du modèle à celle des spectres, il faut tenir compte de la convolution du au ciel et à la largeur de la fente. Ainsi, les données du modèle ont été convoluées par une gaussienne de demi largeur de 1.5". Les résultats sont présentés sur la figure 5.3.

5.1.2 Interprétations

Rappelons les hypothèse sur lesquelles repose notre modèle : la galaxie est supposée axisymétrique, vue par la tranche, la fonction de distribution dépend de deux intégrales premières du mouvement, et l'ellipsoïde des vitesses est isotrope.

L'étude des courbes 5.1, 5.2 et 5.3 montre que le modèle conduit à un comportement général de la galaxie qui correspond relativement bien à son comportment réel, au moins qualitativement. Ceci nous permet de penser que nos hypothèse, même si elles ne sont pas rigoureusement vérifiées, ne sont pas totalemnt absurde.

Ainsi, l'axisymétrie peut être légèrement contestée comme le montre la photométrie : il se pourrait que le bulbe de la galaxie soit triaxial. De même une faible anisotropie pourrait expliquer que l'on sous-estime la dispersion des vitesse. Cependant notre modèle ne peut considérer que des anistropie tangentilles car $\sigma_r = \sigma_z$, car on suppose que l'on n'a que 2 intégrales premières du mouvement. Il faudrait donc abandonner ctte hypothèse. De plus, les anisotropies observées sont plutôt radiales, et nécessite de travailler en coordonnées sphériques où les équations de Jeans sont beaucoup plus complexes.

Par ailleurs, on remarque que notre modèle ne rend pas bien compte du comportement réel de la galaxie au voisinage de son centre. Ceci a été corrigé en partie en introduisant une convolution des spectres pour tenir compte du ciel et de la largeur de la fente du spectrographe. Il reste cependant encore un léger désaccord que l'on peut expliquer par la qualité moyenne des données spctrographiques. En effet, la résolution esr limitée par la taille des pixels du CCD. Ceci est d'autant plus génant au centre où les gradients de luminosité sont importants.

Notons que pour que les données expérimentales et théoriques sont plus proches, nous avons été obligés d'affecter un rapport masse/luminosité différent au bulbe et au disque. Ceci n'est pas a priori asbsurde, mais une justification de cette différentce de rapport M/L nécessiterait une étude approfondie de la couleurs de la galaxie, ce qui dépasse largement les objectifs de ce stage.

Ajoutons enfin que la concordance entre le modèle et les donnèes expérimentasles en ce qui concerne la vitesse de rotation de la galaxie loin de son centre nous laisse penser qu'elle ne renferme pas de matière noire.

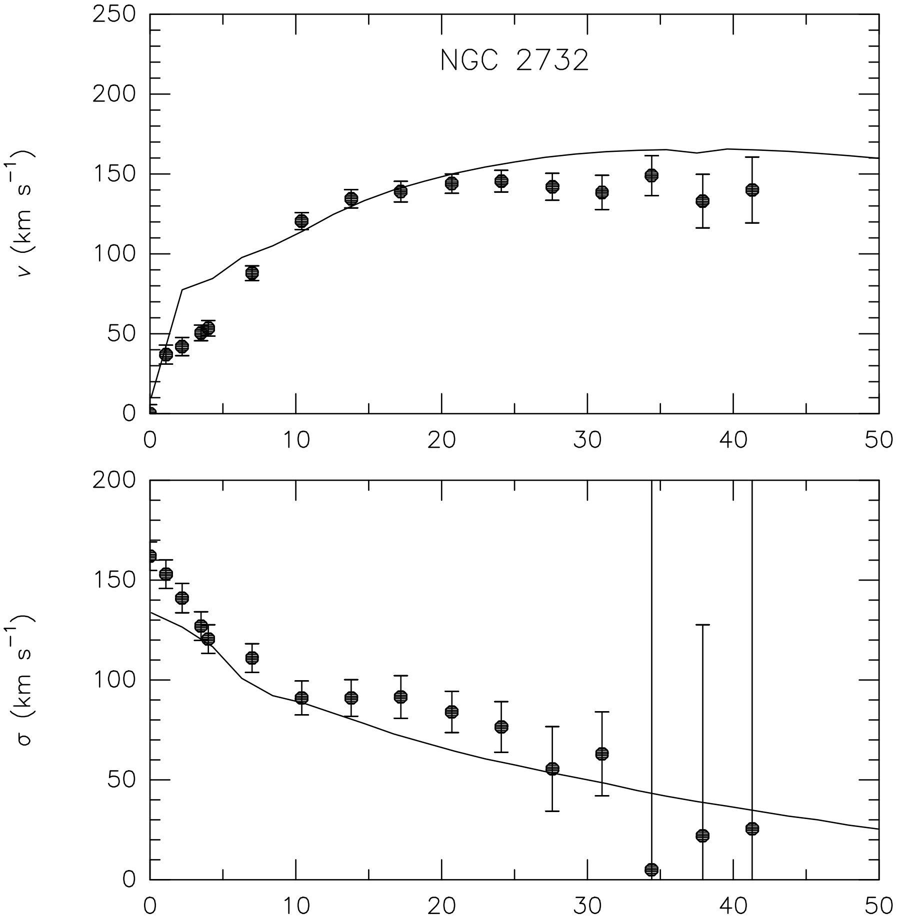

FIG. 5.1 - *Courbe de rotation et de dispersion de NGC 2732.* $\Gamma = 5$. *En abscisses figure la distance au centre en secondes d'arc.*

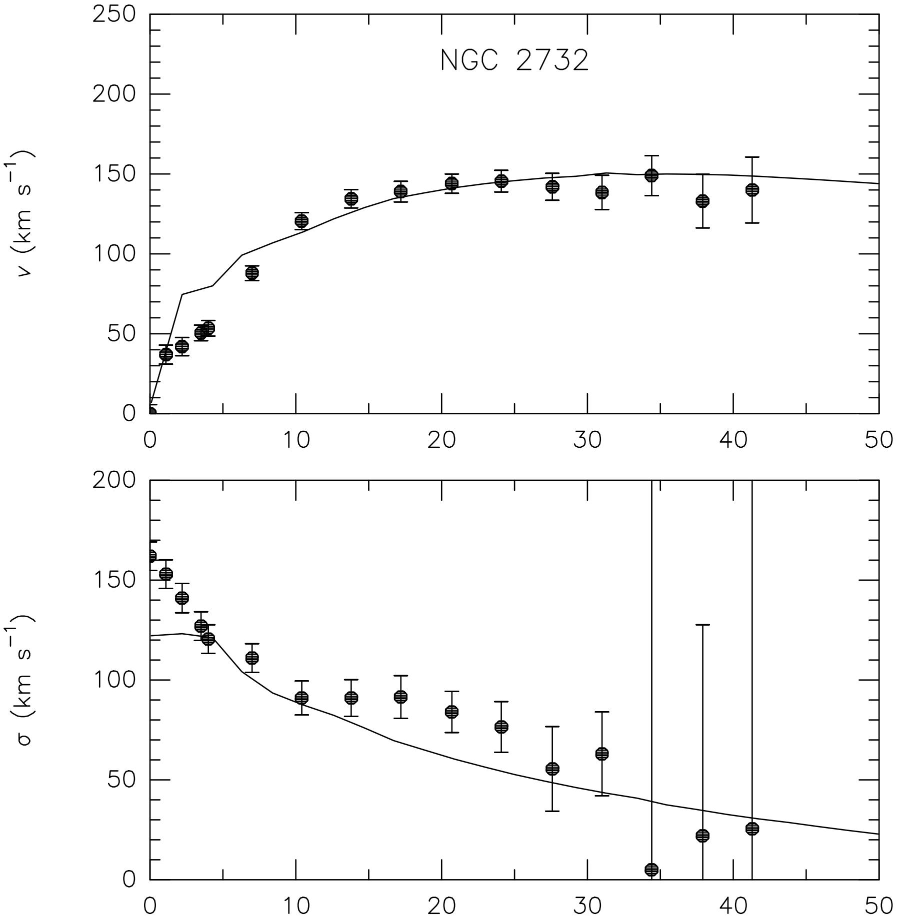

FIG. 5.2 - *Courbe de rotation et de dispersion de NGC 2732.* $\Gamma = 6$ *pour le bulbe, et* $\Gamma = 3$ *pour le disque. EN abscisse figure la distance au centre en secondes d'arc.*

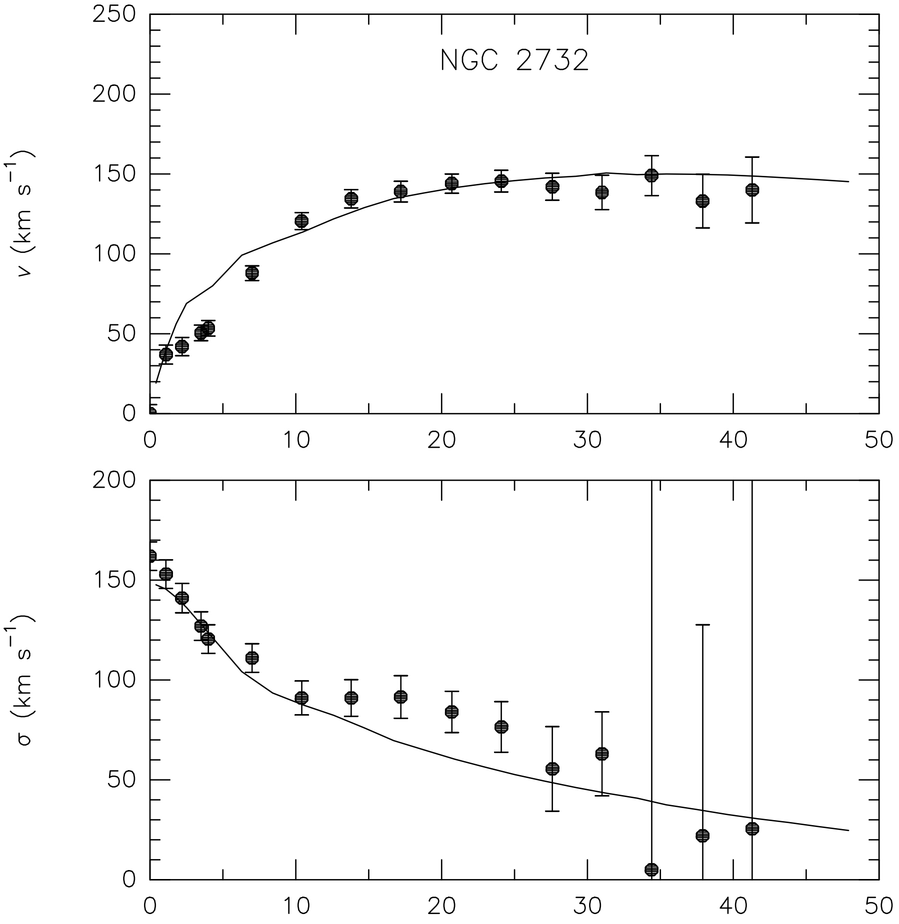

FIG. 5.3 - *Courbe de rotation et de dispersion de NGC 2732.* $\Gamma = 6$ *pour le bulbe, et* $\Gamma = 3$ *pour le disque. Les spectres ont été convolués. En abscisses figure la distance au centre en secondes d'arc.*

5.2 NGC 4111

5.2.1 les données du modèle

La photométrie de NGC 4111 a été grâcieusement fournie par M.Michard de l'observatoire de Nice.

L'étude de la photométrie de NGC 4111 nous a conduit à utiliser une décomposition en 6 gaussiennes. Les résultats de cette décomposition sont présentés dans le tableau 5.2.

TAB. 5.2 - *Décomposition photométrique de NGC 4111*

composante	σ ["]	μ	q
1	1.59	17.00	0.682
2	3.59	17.31	0.355
3	3.73	17.33	0.668
4	11.5	18.70	0.466
5	20.6	19.74	0.132
6	43.6	20.43	0.166

La distance nous séparant de la galaxie que nous avons utilisée dans nos m odèles est de 13.0 Mpc.

L'absence d'étoile brillante dans le champ du CCD ne nous a pas permis de déterminer avec précision la PSF. Celle-ci a été évaluée à 0.9".

Le rapport masse/luminosité a été fixé a 5 puis 5.5. Les spectres ont été convolués. Les résultats apparaissent respectivement sur les figures 5.4 et 5.5.

Les données spectrographiques sont tirées de Seifert *et al.* [4].

5.2.2 Interprétations

Nous remarquons tout d'abord que le modèle reproduit très bien l'allure de la courbe. Ceci est d'autant plus intéressant que la courbe de rotation de NGC 4111 n'est pas monotone et présente un pic vers 5", avant de diminuer puis de remonter. Ceci nous permet de considérer le modèle comme relativement fiable.

Il reste cependant quelques differnces entre le modèle et la réalité. Celles-ci peuvent s'expliquer par une résolution moyenne et un seeing élevé que nous n'avons pas pu évaluer avec précision.

Notons encore que la dispersion au centre est plus faible pour notre modèle que dans la réalité. En plus des problèmes évoqués dans le paragraphe précédent, on peut aussi penser qu'il existe peut-être une légère anisotropie au centre. Mais avant de se lancer dans de telles investigations, il faudrait commencer par faire tourner le modèle sur des données de meilleures qualité.

Précisons aussi que nous avons essayé de tenir compte d'une éventuelle inclinaison de la galaxie. Cela n'a pas apporté de résultat meilleur, au contraire. Il semble donc que cette galaxie soit réellement vue par la tranche.

Enfin, la courbe de rotation du modèle correspondant bien à la réalité quand on s'éloigne du centre de la galaxie, il semblerait qu'elle ne renferme pas de matière sombre.

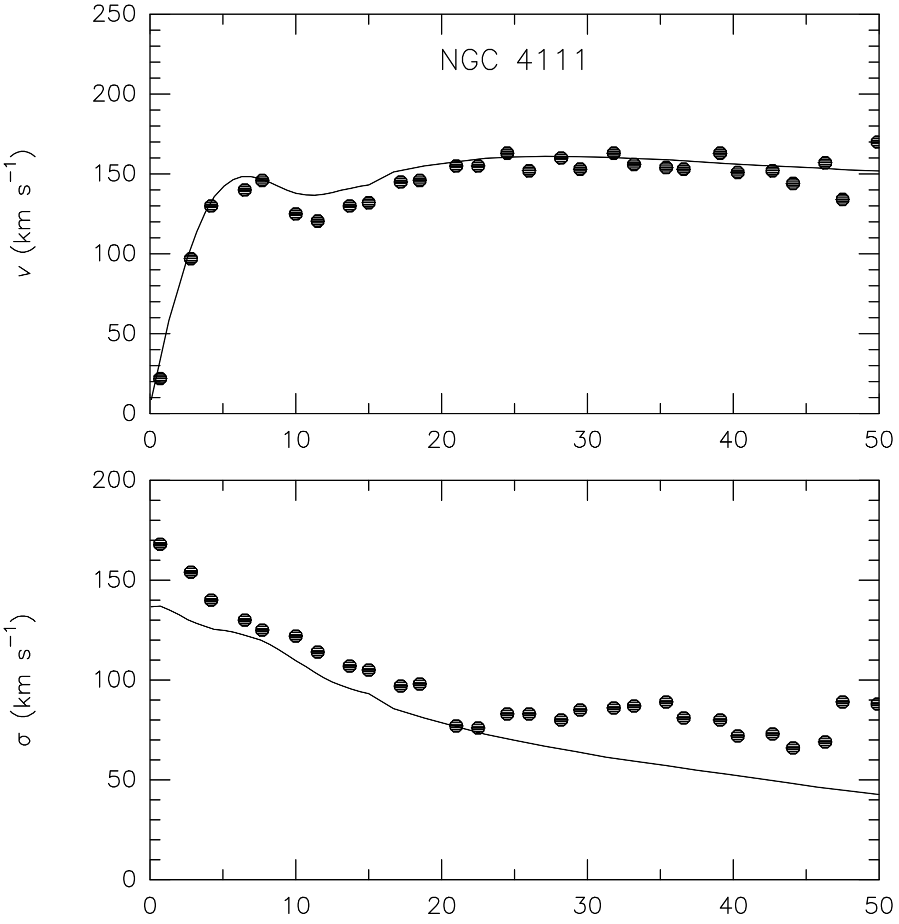

Fig. 5.4 - *Courbe de rotation et de dispersion de NGC 4111.* Γ = 5.0. *En abscisses figure la distance au centre en secondes d'arc.*

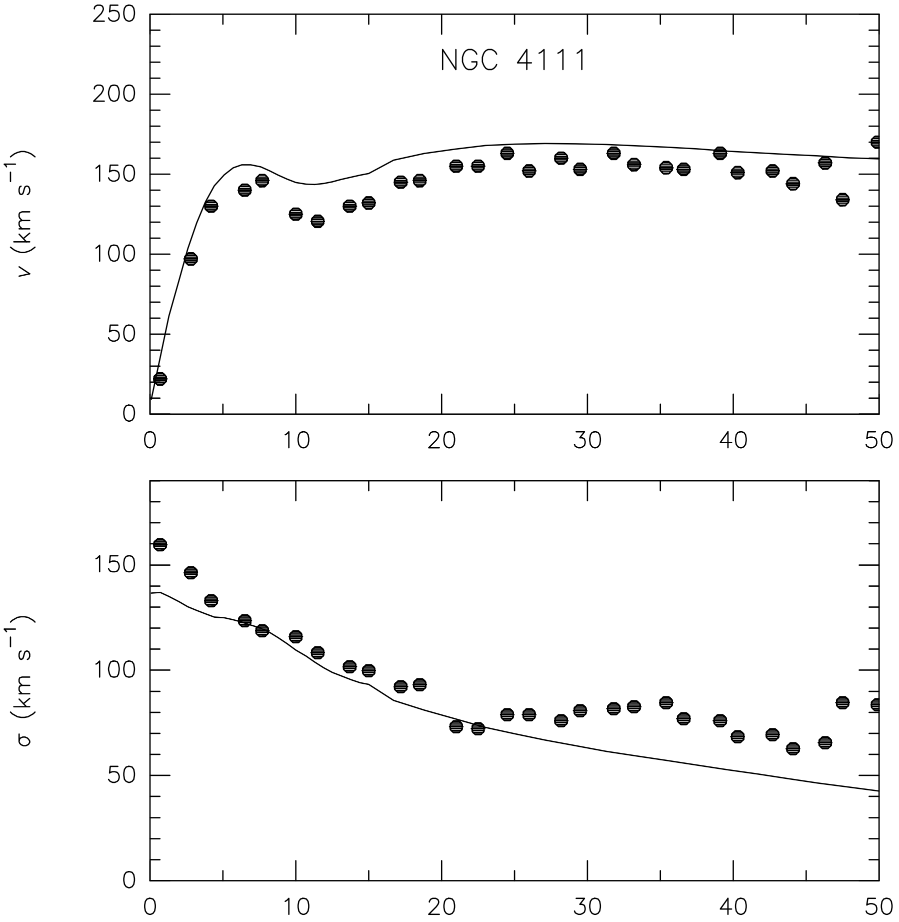

FIG. 5.5 - *Courbe de rotation et de dispersion de NGC 4111.* $\Gamma = 5.5$. *En abs cisses figure la distance au centre en secondes d'arc.*

5.3 NGC 4350

5.3.1 les données du modèle

La photométrie de NGC 4350 a été grâcieusement fournie par M.Michard de l'observatoire de Nice.

Les résultats de la décomposition photométrique de ctte galaxie cette décomposition sont présentés dans le tableau 5.3.

TAB. 5.3 - *Décomposition photométrique de NGC 4350*

composante	σ ["]	μ	q
1	1.69	17.14	0.891
2	3.84	17.98	0.874
3	14.0	19.04	0.245
4	25.9	19.93	0.330

La distance nous séparant de la galaxie que nous avons utilisée dans nos m odèles est de 17.3 Mpc.

L'absence d'étoile brillante dans le champ du CCD ne nous a pas permis de d 'eterminer avec précision la PSF. Celle-ci a été évaluée à 1.0".

Le rapport masse/luminosité a été fixé à 8.

Les données spectrographiques sont tirées de Seifert *et al.* [4].

Les résultats sont présentés en figure 5.6.

5.3.2 Interprétations

Là encore, les résultats du modèle sont cohérents avec les données expérimentales. La rotation comme la dispersion donnée par le modèle rendent bien compte du comportement général de la galaxie.

On remarquear que, plus encore que pour les autres galaxies, le modèle ne rends pas bien compte de la dispersion au centre de la galaxie qui est sous-évaluée. Ceci peut avoir deux explications. D'une part on a mal déterminé la PSF ; sa détermination approximative peut être à l'origine d'une divergence entre le modèle et la réalité, notament en ce qui concerne les endroits où les gradients de luminosité sont importants, c'est à dire au centre. D'autre part, il nous faut envisager l'existence d'une légère anisotropie radiale au centre, ce qui va dans le même sens que ce que l'on observe dans certaines galaxies elliptiques.

Notons par ailleurs que le fait d'introduire une inclinaison de la galaxie n'arrange pas les choses.

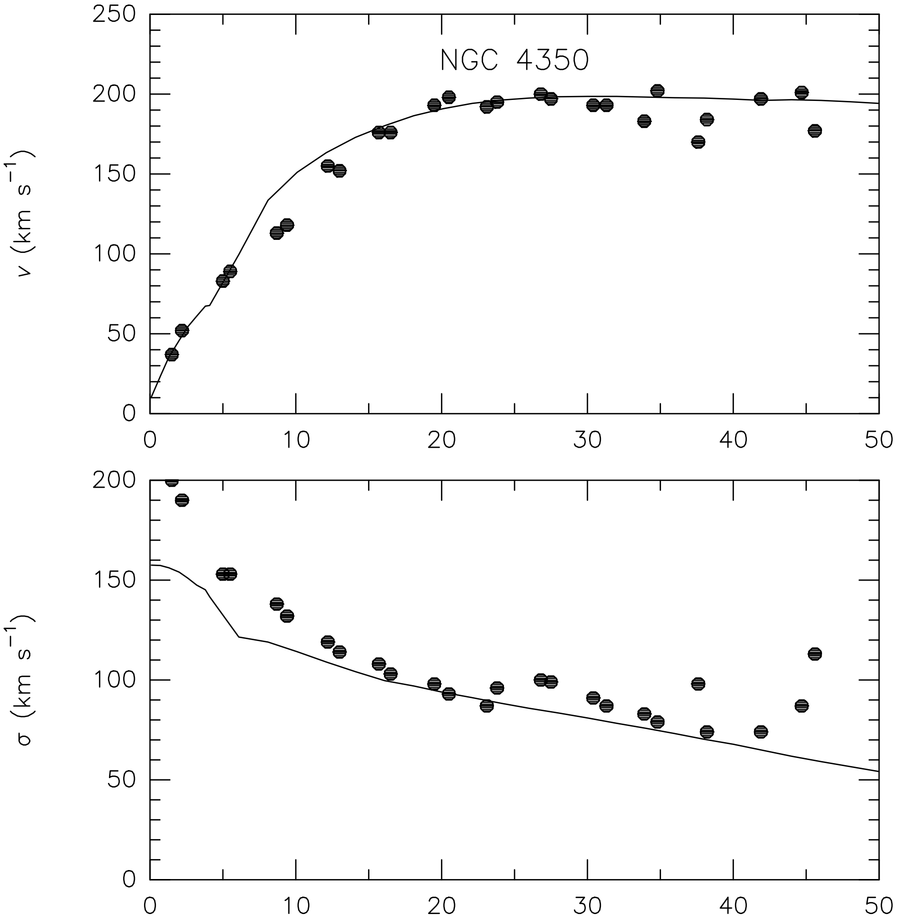

FIG. 5.6 - *Courbe de rotation et de dispersion de NGC 4350.* $\Gamma = 8.0$. *En abs cisses figure la distance au centre en secondes d'arc.*

Chapitre 6

Conclusion

D'une manière générale, on peut dire que la modélisation mise en oeuvre au cours de ce stage a permis de retrouver les principales caractéristiques cinématiques de galaxies étudiées. Le modèle est basé sur les hypothèse suivantes : axisymétrie de la galaxie, fonction de distribution dépendant de 2 intégrales premières, isotropie de l'ellipsoïde des vitesses. Au vu des résultats obtenus, ces hypothèses peuvent être considérés comme plutôt réalistes. Cependant, une étude plus fine nécessiterait de revenir sur certains de ces points.

La première chose à faire serait de reprendre cette étude avec des données photométriques plus fine. En effet, dans les régions des galaxies où le gradient de luminosité est grand (c'est à dire essentiellement au centre), la trop faible résolution du CCD et surtout le seeing élevé ne nous permet pas d'accéder à une modélisation fine de la photométrie. Ceci peut expliquer les différences entre le modèle et la réalité au voisinage du centre des galaxies. On pourrait ainsi accéder aussi plus précisément à la PSF. Même si une variation du σ de la PSF ne change pas radicalement l'allure des courbes, cela influe de façon non négligeable sur les données au centre de la galaxie.

Le fait que nos modèles donnent des dispersions un peu plus faibles que celles attendues peut aussi être lié à une légère anisotropie de l'ellipsoïde des vitesses. Notre modèle permet de d'introduire une anisotropie tangentielle, mais le fait que la fonction de distribution ne dépend que de 2 intégrales premières imposent $\sigma_z = \sigma_r$. Actuellement, il semblerait que les anisotropies considérés soient plutôt radiales, ce qui nécessite un traitement en coordonnées sphériques. La résolution des équations de Jeans devient alors beaucoup plus complexe.

Notre étude permet aussi d'obtenir des renseigements sur les rapports masse-luminosité. À part pour NGC 2732, il n'apparait pas nécessaire d'introduire des rapports M/L différents pour les différentes composantes de la galxie. Ceci va dans le même sens que les études de couleurs qui laissent penser que ces galaxies sont constituées d'une population d'etoiles homogène. Cependant, ces problèmes sont d'une grande difficulté et depassent le cadre de ce stage.

Notons enfin que la fait que les courbes de rotations du modèle correspondent aux courbes réelles nous permet de dire qu'il n'y a pas de matière noire dans les galaxies que nous avions étudiées.

Bibliographie

[1] J.Binney et S.Tremaine. – *Galactic Dynamics.* – Princeton University Press, 1987.

[2] G.Monnet, R.Bacon et E.Emsellem. – Modelling the stellar intensity and radial velocity fields in triaxial galaxies by sums of Gaussian functions. *Astronomy and Astrophysics*, vol. 253, 1994.

[3] E.Emsellem, G.Monnet et R.Bacon. – The multi-gaussian expansion method : a tool for bulding realistic photometric and kinematical models of stellar systems. *Astronomy and Astrophysics*, vol. 285, 1994.

[4] W.Seifert et C.Scorza. – Disk structure and kinematics of s0 galaxies. *Atronomy and Astrophysics*, vol. 310, 1996.