

# Disques et Barres dans les Galaxies Elliptiques

## Historique

Depuis le jour où les galaxies elliptiques furent consacrées parmi les nébuleuses extragalactiques, elles ont vécu une bonne cinquantaine d'années sans donner beaucoup de soucis aux astronomes. Faute de structure bien évidente, faute de données pertinentes, ces galaxies ont longtemps été perçues suivant l'impression dégagée par leur morphologie: objets "morts" (d'où le nom de galaxies précoces, "early", ayant donc fini leur évolution), sans gaz, ni formation stellaire, et vraisemblablement aplatis par rotation.

Ce petit paradis soporifique cessa avec le milieu des années 70, quand les premières mesures de rotation, difficiles puisqu'elles s'appliquent aux raies d'absorption, purent enfin être effectuées: elles révélèrent que ces systèmes ne peuvent être aplatis par rotation, mais plutôt par une forte anisotropie de leur dispersion des vitesses, laissant augurer une structure et une cinématique complexes. C'est alors que ressurgit une propriété connue depuis longtemps, mais quelque peu enterrée parce que gênante: certaines galaxies elliptiques présentent des rotations ("twists") d'isophotes, c'est-à-dire des changements d'orientation de leurs contours isophotaux. Cette cinématique complexe et ces rotations d'isophotes menaient à la même conclusion: les galaxies elliptiques qui présentent ces propriétés ne peuvent être des systèmes axisymétriques, mais doivent avoir la forme la plus générale possible, et donc être des systèmes triaxiaux.

A cette même époque, ces galaxies, considérées depuis Hubble comme des objets dénués de structure, révélèrent souvent des zones de poussières aux configurations variées (et pas nécessairement le long d'un disque situé le long du grand axe apparent), ainsi que différentes "structures fines", et notamment ces fameuses coquilles ("shells") qui, vues en projection sur le ciel, tracent autour des galaxies des arcs lumineux, vaguement concentriques.

Parallèlement à ces découvertes successives qui bouleversaient les idées reçues, une hypothèse faisait son chemin avec cependant, quelques difficultés: le phénomène de collisions inélastiques entre galaxies spirales provoque leur fusion ou coalescence ("merging") en une galaxie unique, de forme elliptique<sup>1</sup>. Les prédictions des premières simulations numériques à l'appui de cette hypothèse allaient être magnifiquement confirmées par des observations<sup>2</sup> de la galaxie appelée "Atom for Peace", dont la structure et le champ de vitesses laissent entrevoir la phase finale d'une fusion de deux galaxies spirales en une galaxie elliptique dont elle suit déjà le profil de lumière caractéristique en  $r^{1/4}$ . Cependant, la présence de poussières dans un nombre croissant de galaxies elliptiques et surtout les simu-

lations numériques qui reproduisent les coquilles à partir de codes N-corps laissent à penser que la coalescence, si coalescence il y a à la base de la formation d'une galaxie elliptique, doit impliquer beaucoup plus fréquemment une galaxie massive et une galaxie de faible masse (et probablement riche en gaz) plutôt que deux galaxies spirales.

## Les rebondissements récents

Deux séries de découvertes vont cependant marquer ces dernières années, sur lesquelles il convient de s'attarder.

### a) L'analyse géométrique des contours isophotaux

Le principe consiste à ajuster chaque isophote  $i$  par une ellipse, et à développer les différences dans une direction donnée sous forme d'une série de Fourier:

$$\Delta r_i(t) = \sum_j a_j \cos(jt) + b_j \sin(jt)$$

où  $t$  est le paramètre d'ellipse, et  $j = 3, 4, 5, \dots$

Dans ce développement, le premier coefficient axisymétrique, le terme  $a_0$ , est représentatif des deux types de déviations trouvées dans les galaxies elliptiques (cf. Figure 2): négatif, il représente des isophotes "pointées" (le long du grand axe si  $b_4$  est nul, comme c'est souvent le cas), positif, il représente des isophotes de forme rectangulaires ("boxy"). Le résultat qui ressort de l'analyse d'un grand échantillon de galaxies elliptiques<sup>3</sup> où un de ces deux types de déviation est prédominant (75% environ) est d'une importance considérable: les galaxies aux isophotes pointées sont aplaties par rotation, émettent faiblement aux longueurs d'onde radio et X, alors que les rectangulaires sont anisotropes, et très fortement émissives en X et en radio.

Tout concourt à une explication simple pour les galaxies aux isophotes pointées: leurs propriétés physiques, mentionnées ci-dessus, et morphologiques les décrivent comme des galaxies de type S0 (lenticulaires), les isophotes pointées étant la signature d'un disque très faible (quelques pourcents à peine de la luminosité totale), situé le long du grand axe, à peine détectable et seulement quand la galaxie est presque vue de profil: elles seraient ainsi à l'extrémité de la distribution des rapports disque/bulbe décrite par la séquence de Hubble. L'interprétation des isophotes rectangulaires est plus délicate, mais divers arguments tendent à relier cette forme

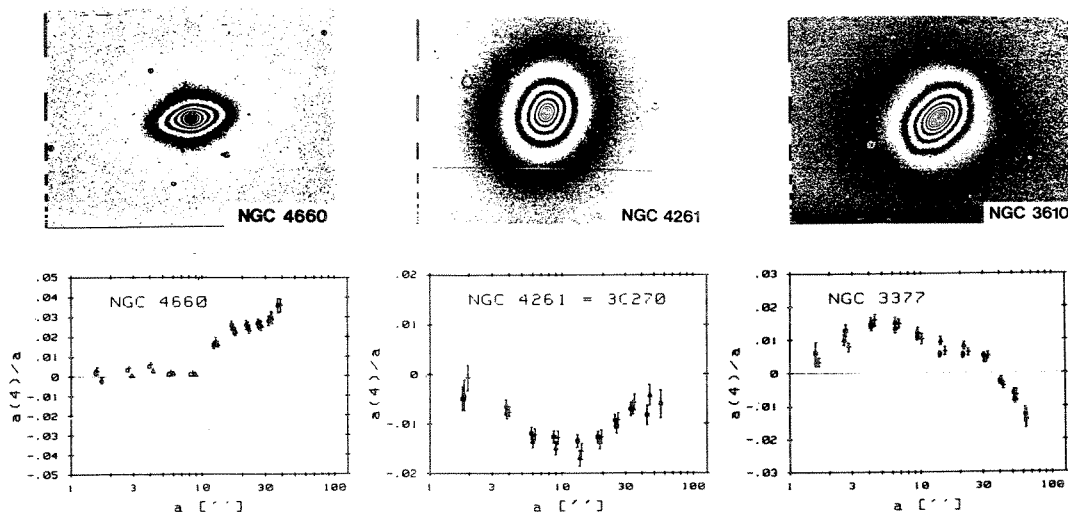


Figure 2: Formes des isophotes à grande échelle de différents types isophotaux de galaxies elliptiques: NGC 4660, aux isophotes pointées et un  $a_4/a$  caractéristique de  $\sim 0.03$ , NGC 4261, aux isophotes rectangulaires et  $a_4/a \sim 0.01$ , et NGC 3610 et NGC 3377, contenant des isophotes des deux types ( $a$  est le demi grand axe de l'ellipse de meilleur ajustement).

d'isophote à une coalescence récente<sup>4</sup>. Ces deux grandes structures isophotales reflèteraient ainsi en quelque sorte deux processus d'évolution différents dans les elliptiques, qui pourraient se caractériser par la façon dont ces galaxies ont été affectées par des rencontres (et coalescences) successives avec des galaxies de leur voisinage. De ce point de vue, les disques des galaxies elliptiques seraient des composantes originelles, formées à un stade très reculé dans l'histoire de ces galaxies, et peut-être affectées, mais non détruites, par des rencontres ultérieures. (On ne peut cependant exclure l'hypothèse que ces disques à grande échelle soient plus récents: ils résulteraient alors de coalescences dissipatives, c'est à dire impliquant une galaxie riche en gaz; ce dernier se serait alors stabilisé dans le plan équatorial, puis aurait formé des étoiles. Cependant, la continuité physique et morphologique le long de la séquence de Hubble est un argument très fort en faveur de la prédominance de l'autre hypothèse).

Une analyse plus fine révèle des phénomènes encore plus compliqués: certaines galaxies (généralement vues de profil) possèdent les deux types d'isophotes et parfois même, sur un même contour, coexistent les deux types de déviations. Ce résultat est

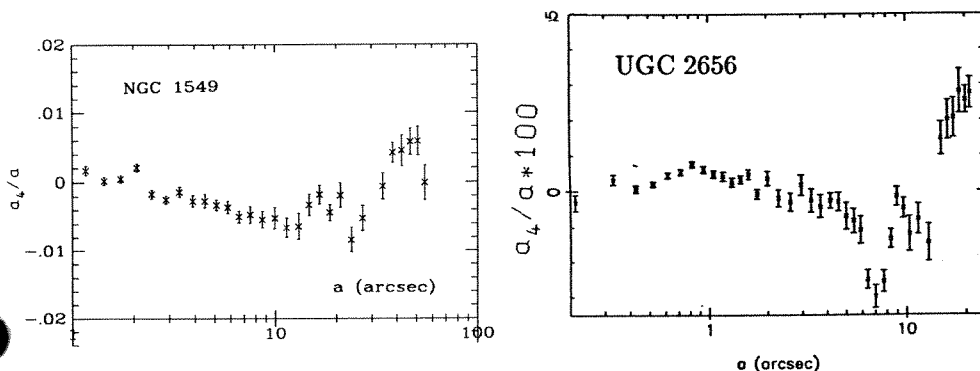


Figure 3: Profils du coefficient  $a_4$  de la galaxie australe NGC 1549 (observée au télescope de 2.2m de l'ESO) et présentant des rotations d'isophotes de plus de 70 degrés, et de la galaxie de l'amas de Persée UGC 2656 (observée au CFHT avec une résolution de 0.60"). Les différentes composantes de cette dernière sont à peine résolues, notamment une barre qui provoque un changement d'orientation des isophotes à environ 8" du centre (où  $a_4$  est négatif). La similitude de ces profils est frappante, ceux de NGC 1549, où le changement d'orientation pour  $a < 40''$  est corrélé à un  $a_4$  négatif, apparaissant comme une version lissée de ceux de UGC 2656.

logique: puisque les E à disques sont physiquement semblables aux S0's, et qu'un grand pourcentage de S0's ont des bulbes de forme rectangulaire, il est normal de trouver des elliptiques possédant les deux types de déviations, résultat de la superposition d'un disque et d'un bulbe rectangulaire<sup>4</sup> (voir Figure 2).

### b) Le découplage cinématique

L'origine extérieure de certaines structures fines trouvées dans les galaxies elliptiques fut confirmée par la découverte que, dans certains cas, le gaz lié aux poussières est cinématiquement découplé du reste de la galaxie et paraît même parfois en contre-rotation par rapport aux étoiles. L'explication la plus vraisemblable est que ce gaz (et les poussières qui l'accompagnent), accréte avec un moment angulaire a priori quelconque, s'est stabilisé dans un des plans préférentiels du système, et parfois avec un moment angulaire opposé à celui des étoiles. Ces premières observations n'étaient que les prémices d'une découverte au grand retentissement<sup>3</sup>: il existe au centre d'un petit nombre de galaxies elliptiques des "cœurs cinématiquement découplés" du reste de la galaxie, et parfois même en contre-rotation par rapport à celle-ci. Evidemment, et des simulations numériques à l'aide de codes à N-corps le confirment,

ces cœurs cinématiquement découplés sont la signature d'une coalescence d'une galaxie préexistante avec une autre galaxie de petite taille au moment angulaire orbital rétrograde<sup>5</sup>.

## Les résultats obtenus au CFH

Il va de soi que, dans ce type d'études, la haute résolution spatiale à un rôle crucial à jouer. Les premiers résultats obtenus en grande partie grâce à des observations obtenues au CFH, essentiellement au cours de deux nuits d'imagerie directe au foyer Cassegrain (décembre 1989), illustrent tout à fait

### a) Les rotations d'isophotes

Une première étude<sup>6</sup> a porté sur le problème quasi ancestral des rotations d'isophotes qui a abouti dans le passé à la conclusion que certaines galaxies elliptiques seraient des ellipsoïdes triaxiaux. Les résultats décrits ci-dessus ont pourtant montré deux faits essentiels: (i) les galaxies elliptiques peuvent contenir plusieurs composantes, (ii) il existe une continuité morphologique et physique entre certaines elliptiques et les S0's. Il convient donc de tester l'hypothèse la plus simple pour expliquer les rotations d'isophotes, qui consiste à invoquer une barre bien cachée. Pour se faire, l'idéal

est de prendre comme source de comparaison des S0's barrées à peine résolues avec des déviations à l'ellipticité faibles, mais bien comprises, de sorte que leur morphologie s'apparente le plus possible à celle des elliptiques problématiques. Or, l'imagerie systématique effectuée avec une bonne résolution spatiale (FWHM = 0.6" - 1.4") au CFH et au Pic du Midi de 90 galaxies E et S0 dans l'amas de Persée, modérément lointain (vitesse de récession ~5000 km/s), révèle que de nombreuses galaxies classées auparavant E ou S0 s'avèrent être de type beaucoup plus tardif, et révèlent clairement de nouvelles composantes, notamment des...barres. Les différentes déviations à l'ellipticité qui accompagnent les rotations d'isophotes dans ces galaxies indiquent que, dans les galaxies elliptiques, ces

rotations d'isophotes doivent être comprises comme provoquées par la présence d'une barre (Figure 3). Les conséquences de ce résultat sont nombreuses. Entre autres, (i) il existe une explication simple à certains problèmes "classiques" posés par les galaxies elliptiques: rotations d'isophotes et structure cinématique complexe s'expliquent dans un certain nombre de cas par la juxtaposition d'au moins deux sous-systèmes imbriqués, (ii) la forte continuité entre elliptiques et S0 est confirmée et étendue aux systèmes barrés: ainsi, toutes les corrélations liant le long de la séquence de Hubble, les types morphologiques à des quantités physiques, comme le rapport D/B (disque/bulbe), concernent aussi une grande proportion d'elliptiques où barres et disques ont été mis en évidence, (iii) enfin, la présence de systèmes barrés au sein d'elliptiques confirme l'idée que toutes les structures fines découvertes dans les elliptiques, ne proviennent pas de coalescences récentes: notamment les disques liés aux barres (et probablement aussi une grande partie des autres) se sont probablement formés à une époque reculée de l'histoire des galaxies.

Il convient aussi de faire remarquer que ces barres ont été mises en évidence grâce aux rotations d'isophotes dans des systèmes à peu près vus de face, et ne seraient pas détectables directement

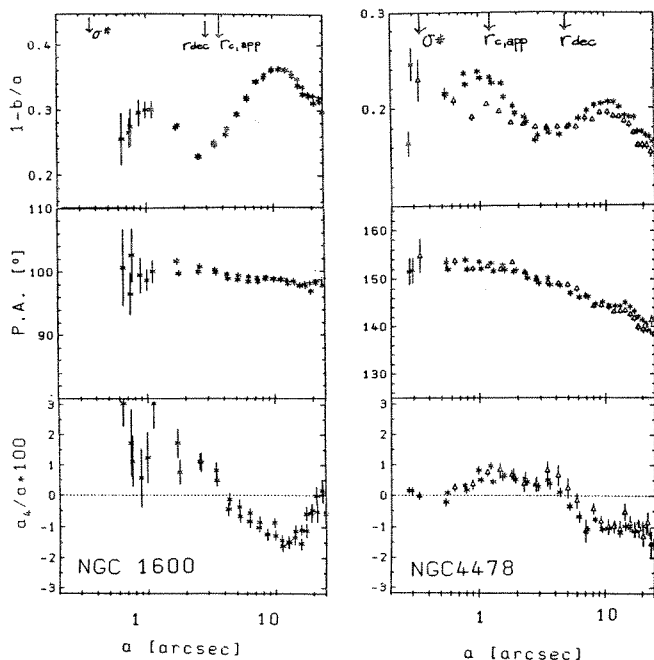


Figure 4: Profils des paramètres géométriques des régions centrales des galaxies NGC 1600 et NGC 4478 (FWHM = 0.75" pour les images en R, représentées par des croix, et 0.9" pour les images B triangles). Pour une galaxie donnée, à la même distance du centre, les profils d'ellipticité marquent une bosse caractéristique, ceux de  $a_4$  changent de signe et, dans certains cas, les isophotes changent d'orientation: ceci s'interprète par la présence d'une composante centrale allongée, ayant la forme d'un disque.

dans des systèmes vus de profil. C'est évidemment le contraire pour la détection des disques, possible seulement quand le système est vu de profil.

### b) Des disques dans les régions centrales

Une deuxième application de la technique d'analyse morphologique aux régions centrales d'un échantillon de 75 galaxies E et S0, observées au CFHT et au télescope de 2.2m de l'ESO, a donné lieu à une série de résultats extrêmement intéressants<sup>7</sup>. D'une part, dans un tiers des galaxies étudiées, les profils d'ellipticité d'orientation et du coefficient  $a_4$  des isophotes présentent des particularités qui indiquent clairement un "découplage géométrique", dû à la présence d'une entité stellaire centrale allongée, de faible luminosité de petite taille (2" à 5" pour la plupart), et aux isophotes pointées dans 60 % des cas (Figure 4). La correction statistique des effets d'orientation révèle que cette entité doit être dans *tous* les cas un disque mince, environ dix fois plus petit que les disques discutés ci-dessus. En outre, toutes les galaxies présentant un "cœur découplé" s'avèrent présenter aussi ce découplage géométrique: il s'agit sans aucun doute de la manifestation d'un même phénomène. Ces premiers résultats, obtenus avec une résolution modeste (1" en moyenne), suggèrent que la majorité des galaxies elliptiques devrait révéler des disques centraux avec une résolution spatiale suffisante, et que la plupart de ceux-ci se sont formés par coalescence *dissipative* au cours de l'accrétion d'une galaxie de faible masse et riche en gaz, de sorte qu'il ne subsiste plus qu'un disque stellaire.

Des observations plus récentes avec cette fois-ci HRCam en octobre 1990 et avril 1991 ont apporté un gain substantiel en résolution qui doit notamment permettre d'augmenter le taux de détectabilité de ces disques, et une étude précise de leur structure et caractéristiques photométriques (Figure 5).

J.-L. Nieto

### Références

- (1) Toomre, A., Toomre, J.: 1972 *Astrophys. J.*, **178**, 623
- (2) Schweizer, F.: 1982 *Astrophys. J.*, **252**, 455
- (3) Bender, R.: 1990, in "Dynamics and Interactions of Galaxies," Ed. R. Wielen, Springer Verlag Heidelberg, p. 232
- (4) Nieto, J.-L., Bender, R.: 1989, *Astron. Astrophys.*, **215**, 266
- (5) Balcells, M., Quinn, P.J.: 1990, *Astrophys. J.*, **361**, 381
- (6) Nieto, J.-L., Bender, R., Poulain, P., Surma, P.: 1991, *Astron. in press*
- (7) Nieto, J.-L., Bender, R., Arnaud, J., Surma, P.: 1991, *Astron. Astrophys.*, **244**, L37

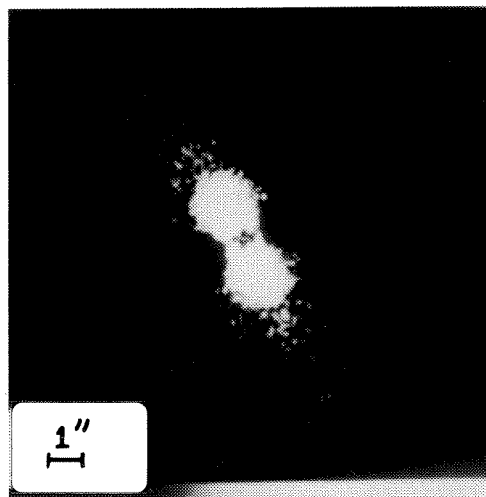


Figure 5: Disque central dans la galaxie NGC 1270, après soustraction du bulbe sous-jacent supposé elliptique. La difficulté de l'extraction d'un tel disque se caractérise par: (a) le disque représente une déviation maximale à l'ellipticité  $a_4/a = 0.01$  à  $1.0$ " du centre. (Noter que ceci signifie une déviation de  $0.01$ ", soit  $1/10$  de pixel avec HRCam et le CCD RCA4, offrant le pixel de plus petite taille!), b) le rapport moyen entre l'intensité du disque et celui du bulbe est typiquement de 3-5%. Une zone centrale de  $0.2$ " de rayon et deux secteurs perpendiculaires au grand axe ont été exclus pour faciliter l'extraction du disque.

The Canada-France-Hawaii Telescope Corporation (CFHT) is a joint organization of the National Research Council of Canada (NRC), the Centre National de la Recherche Scientifique of France (CNRS), and the University of Hawaii (UH). The CFHT Information Bulletin is published twice a year in January and July. It is distributed free to Canadian, French and Hawaiian astronomical institutions and to others interested in astronomy. Text and illustrations may be reprinted if credit is given to: CANADA-FRANCE-HAWAII TELESCOPE CORPORATION, P.O. Box 1597, Kamuela, Hawaii 96743 USA. Telephone: (808) 885-7944; Telex: 633147; Fax: Waimea (808) 885-7288 and Summit (808) 935-4511.

Questions and comments about the Bulletin should be sent to the attention of Dr. Robin Arsenault at CFHT.

La Société du Télescope Canada-France-Hawaii est une organisation conjointe du Conseil National de Recherches du Canada (CNRC), du Centre National de la Recherche Scientifique de France (CNRS) et de l'Université d'Hawaii (UH). Le Bulletin d'Information du TCFH, publié 2 fois par an en janvier et juillet, est distribué gratuitement aux instituts de recherche astronomique Canadiens, Français et Hawaïens et sur demande à toute personne intéressée par l'astronomie. Les textes et illustrations peuvent être reproduits à condition d'en mentionner la provenance: SOCIETE DU TELESCOPE CANADA-FRANCE-HAWAII, P.O. Box 1597, Kamuela, Hawaii 96743 USA. Téléphone: (808) 885-7944; Téléc: 633147 CFHT; Fax: Waimea (808) 885-7288 et Sommet (808) 935-4511.

Questions et commentaires à propos du Bulletin sont à envoyer à l'attention de Robin Arsenault au TCFH.