

**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft  
**Band:** 58 (2000)  
**Heft:** 298

**Artikel:** L'univers, dis-moi ce que c'est? : Épisode 20 : les galaxies, cinquième partie  
**Autor:** Barblan, Fabio  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-898579>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 08.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

lich nahe. Die SNe Ia liefern als wahrscheinlichsten Zusammenhang zwischen  $\Omega_M$  und  $\Omega_\lambda$  ihrerseits die Bedingung  $4\Omega_M - 3\Omega_\lambda = -1$  (Fig. 6). Der Umstand, dass sich die beiden genannten formalen Bedingungen, die Phänome des Makro- wie des Mikrokosmos repräsentieren, im  $\Omega_M$ - $\Omega_\lambda$ -Diagramm ziemlich genau rechtwinklig schneiden und dadurch ein Schnittgebiet als hochwahrscheinlich auszeichnen, wird manchmal als Kosmische Komplementarität bezeichnet. Die wahrscheinlichste Lösung liegt bei  $(\Omega_M, \Omega_\lambda) \approx (0.3, 0.7)$ . Die Übereinstimmung des derart bestimmten Werts von  $\Omega_M$  mit dem unabhängig beobachte-

ten Wert von  $\Omega_M \approx 0.2-0.3$  liefert noch das Tüpfelchen auf dem i. Wir scheinen also in einem sich beschleunigt expandierenden Universum zu leben, dessen Energiegehalt zu etwa 70% bestimmt ist durch Quantenvakuumsenergie und/oder Quintessenz und zu etwa 30% durch vor allem Dunkle Materie.

Dies alles ist etwas mysteriös. Deshalb der langen Rede kurzer Sinn: Wie letztlich nicht nur die Arbeit mit den SNe Ia zeigt, ist die heutige Kosmologie eine empirische Wissenschaft. Ontologisch betrachtet, leben wir in einer wundervollen Zeit; wir dürfen auf weitere

Revolutionen in der Evolution kosmischer Weltwahrnehmung gespannt sein.

BERNHARD PARODI

Astron. Institut der Univ. Basel  
Venusstr. 7, CH-4102 Binningen  
E-mail: parodi@astro.unibas.ch

## Bibliographie

- [1] K.-H. LOTZE, *Hubble-Effekt versus Doppler Effekt*, Praxis der Naturwissenschaften: Physik, Köln 1999; J.A. PEACOCK, *Cosmological Physics*, Cambridge 1999  
[2] P. DE BERNARDIS ET AL., *Nature* 404, 955 (2000)

# L'Univers, dis-moi ce que c'est?

## Episode 20: Les galaxies, cinquième partie

FABIO BARBLAN

### 8.2 Les galaxies barrées

Préambule: Un rapide coup d'œil à la bibliographie montre que nous sommes, avec le sujet de cet épisode, au cœur de la recherche actuelle. Il est difficile, lorsque le recul manque, d'exprimer clairement et de façon simple, des concepts complexes qui sont en voie de clarification au niveau de la recherche. L'auteur sollicite l'indulgence du lecteur pour les passages qui seraient particulièrement «obscur».

Un bon tiers des galaxies à disque possède une barre, c'est-à-dire une structure centrale allongée, souvent triaxiale et pratiquement en rotation solide (figures 1 et 2 a-f). Cela signifie que l'ensemble de la matière constituant la barre se comporte, du point de vue de la rotation, comme un corps rigide. La structure triaxiale est fortement accentuée dans le plan de la galaxie, le rapport

des axes est en moyenne de 2.5 à 5. Par contre, dans la direction perpendiculaire au plan, le système reste très aplati, les deux petits axes ayant approximativement les mêmes dimensions. Dans un autre tiers de galaxies à disque, il existe une barre d'extension plus réduite. Mais la mise en évidence dans l'infrarouge de barres dans des galaxies ne montrant, dans le visible, aucune trace d'une telle structure, fait surgir la question: existe-t-il vraiment des galaxies à disque n'ayant pas de barre? La pertinence de cette interrogation est confirmée par la découverte de galaxies à disque dont le bulbe est triaxial.

La compréhension des galaxies barrées n'est pas simple. Il s'agit de systèmes complexes dont tous les mystères ne sont pas encore élucidés. La dynamique stellaire y joue un grand rôle et les simulations numériques sont un outil indispensable à une plus large maîtrise du phénomène<sup>1</sup>.

Il est pratiquement certain, maintenant, que la grande majorité des galaxies barrées est le siège d'ondes de

densité. Comme expliqué dans l'épisode précédent, l'onde de densité possède une vitesse angulaire constante de l'ordre de trente kilomètres par seconde en moyenne. La vitesse angulaire des étoiles est variable; elle croît, linéairement, du centre vers l'extérieur jusqu'à une valeur maximale et reste ensuite pratiquement constante sur de grandes distances (voir épisode N° 18, **ORION** 292, «La courbe de rotation d'une galaxie»). On peut donc facilement imaginer qu'à une certaine distance  $Rc$  du centre de la galaxie, la vitesse angulaire de la perturbation et celle des étoiles de cette région soient identiques. Ces étoiles ont donc la particularité d'accompagner l'onde de densité dans son mouvement de rotation. Le rayon  $Rc$  est dit rayon de corotation. Concernant le mouvement des étoiles, il existe d'autres zones particulières dans la galaxie. Nous avons vu, dans l'épisode 19, que le mouvement réel des étoiles est un mouvement épicyclique. Les zones où les trajectoires épicycliques se referment sur elles-mêmes, c'est-à-dire celles qui contiennent un nombre entier d'épicycles, sont dites «zones de résonance de Lindblad». Il en existe une, voire deux, à l'intérieur du rayon de corotation et une à l'extérieur de ce rayon. La zone de corotation et les zones de résonance de Lindblad, si elles existent, jouent un rôle important dans la dynamique du système.

Le calcul des orbites stellaires dans le cadre d'un potentiel bisymétrique, effectué pour la première fois par Contopoulos et Papayannopoulos en 1980, met en évidence l'existence de classes de trajectoire:

<sup>1</sup> A l'Observatoire de Genève a été réalisé, pour les besoins des simulations numériques, le quatrième plus puissant ordinateur au monde, GRAVITATOR, constitué d'un couplage de 64 micro-ordinateurs qui exécutent simultanément en parallèle des calculs de dynamique galactique au rythme de 80 milliard d'opérations à la seconde.

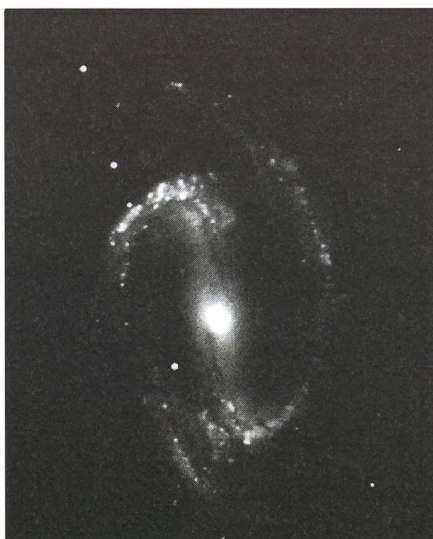


Figure 1: La galaxie barrée NGC 1300 de type SBb(s) (source [4])

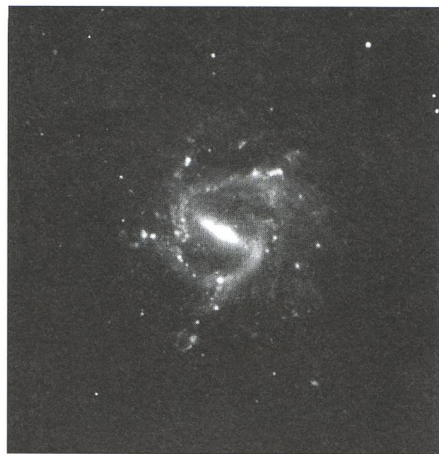


Figure 2: Différents types de galaxies barrées (source [4]):

- près du centre, la famille d'orbites dite X1, de forme allongée dans le sens de la barre;
- entre les deux résonances internes de Lindblad, on trouve la famille X2, d'orbites allongées perpendiculairement à la barre (figure 3);
- on retrouve la famille X1 entre la deuxième résonance interne et la corotation. Ces orbites présentent des déformations aux extrémités d'autant plus grandes que l'on se rapproche de la corotation;
- loin de la corotation les trajectoires sont presque circulaires.

La plupart des étoiles évoluent au voisinage d'orbites fermées et stables. Si le potentiel présente des asymétries prononcées, il existe des trajectoires irrégulières distribuées d'une façon aléatoire, concernant surtout les régions externes à la corotation. Les trajectoires de la famille X2, perpendiculaires à la direction de la barre, ont une influence néfaste sur cette dernière. En effet, selon l'importance de la région touchée par les orbites de la famille X2, la barre peut être complètement détruite. A l'extérieur de la corotation, les orbites stables sont elles aussi perpendiculaires à la barre. C'est pour cette raison que la barre ne peut pas s'étendre au-delà de sa propre corotation.

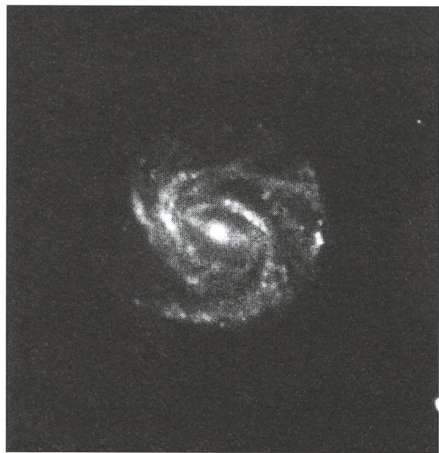
Selon les modifications que peut subir le potentiel gravitationnel d'une galaxie à disque, en fonction du changement de la répartition des étoiles sous l'effet de leur propre rotation et de celle



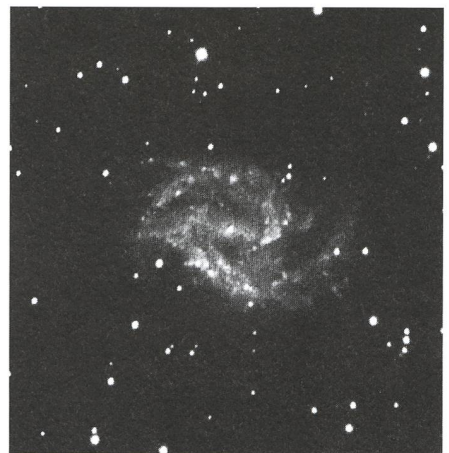
a) NGC 1073, SBc(sr)



b) NGC 3359, SBc(rs)



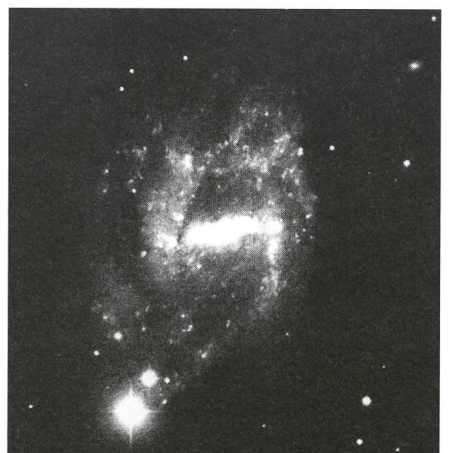
c) NGC 3367, SBc(sr)



d) NGC 2525, SBc(s)

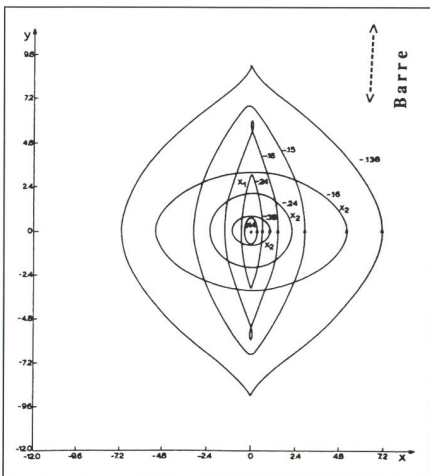


e) NGC 7640, SBc(s)



f) NGC 7741, SBc(s)

Figure 3: Famille d'orbites X1 et X2 dans une barre. Les orbites de la famille X1 sont alignées dans le sens de la barre, par contre celles de la famille X2 sont perpendiculaires à la barre. La barre est parallèle à la direction y. (source [1])



de l'onde de densité, il peut y avoir amplification des zones d'instabilité avec un remodelage complet de la configuration du système. Donc la persistance à long terme d'une barre est une question de stabilité de tout le complexe. C'est Toomre, en 1964, qui le premier, a introduit un critère de stabilité. Il montre que la rotation est un facteur de stabilisation à grande échelle. Par contre, une dispersion minimale des vitesses est nécessaire pour obtenir une stabilité à toute échelle. Si la dispersion des vitesses est

trop faible, le système devient instable. Il existe donc une valeur critique de la dispersion des vitesses au-dessous de laquelle il ne faut pas descendre autrement le système devient instable. Le critère de stabilité de Toomre exprime le fait que le quotient de la dispersion réelle à la dispersion critique doit être plus grand que un.

Une des premières simulations d'un système à N corps, à deux dimensions, fut faite par Hohl en 1971 avec un disque plat contenant  $10^5$  particules (figure 4).



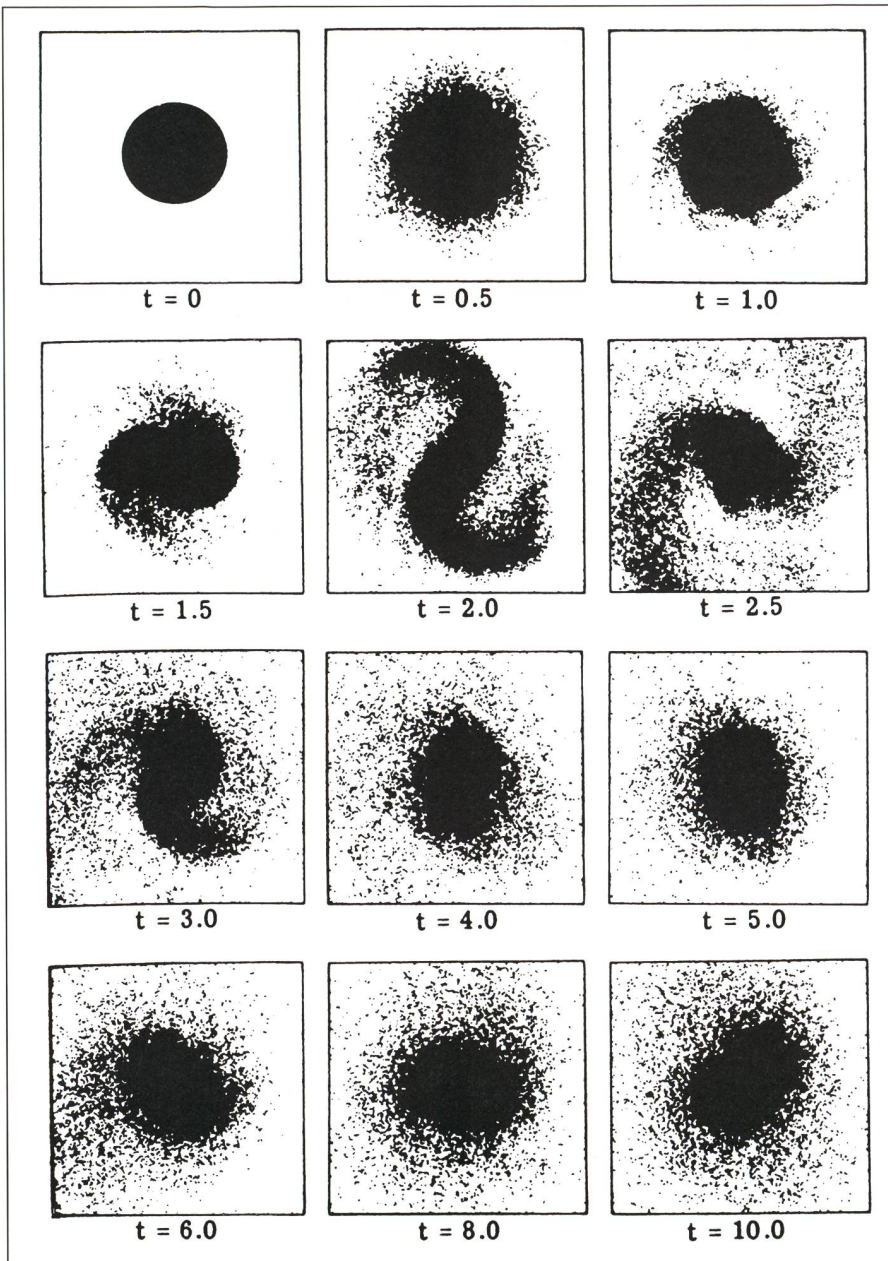


Figure 4: Simulation numérique d'un système à N-corps (Hohl 1971). Evolution d'un disque où on prend en considération l'existence de forces tangentielles. Le nombre de particules est de 100000 et le temps est mesuré en nombre de rotations du disque. On voit apparaître une structure spirale transitoire et une barre qui persiste encore après dix rotations complètes du disque. (source [1])

Un résultat important de cette simulation est le fait que le critère de Toomre n'est pas suffisant pour assurer la stabilité du système de départ. On voit, en effet, se développer d'abord une structure en spirale et ensuite une barre. La spirale est transitoire, elle disparaît au bout d'une rotation galactique, par contre la barre subsiste plus longtemps. La barre semble être une structure plus robuste face aux perturbations. OSTRIKER et PEEBLES (1973) introduisent l'idée qu'une galaxie devient instable si la part d'énergie cinétique due au mouvement de rotation ordonnée devient trop grande. Par simulation numérique, ils déterminent que les systèmes stables par rapport à la formation d'une barre sont ceux où la part d'énergie cinétique des mouvements ordonnés ne dépasse pas les 14/100 de l'énergie totale du système.

À l'Observatoire de Genève l'équipe de dynamiciens (MM, D. FRIEDLI, L. MARTINET, D. PFENNIGER et AL) ont mis au point un code de simulation numérique à trois dimensions basé sur la résolution des équations de l'hydrodynamique (figure 6). Les enseignements tirés de ces simulations, qui portent sur des systèmes contenant plus de 200 000 particules (figure 7), peuvent se résumer ainsi:

- a) Les disques autogravitants sont des objets instables; ils sont donc capables de former une barre. L'évolution d'une galaxie de type S vers une galaxie de type SB est donc possible.
- b) L'accumulation de matière gazeuse au centre de la galaxie, sous l'influence d'un potentiel asymétrique, peut détruire la barre. En tenant

compte du point précédent, on peut alors avoir la chaîne évolutive suivante:

S → SB → S.

- c) La mise en évidence de l'existence de résonances verticales qui peuvent donner naissance à des larges zones de trajectoires chaotiques et amener une quantité importante de matière à quitter la plan galactique. Avec comme conséquence directe la formation d'un bulbe important souvent en forme de cacahuète (figure 5). Ceci implique l'évolution d'une galaxie de type SBc vers une galaxie de type SBb. Si on tient compte des points a) et b) la séquence suivante est envisageable:

Sc → SBc → SBb → Sb.

Cette séquence est compatible avec la formation stellaire qui appauvrit la galaxie en gaz.

- d) L'interaction entre galaxies (voir plus loin) peut apporter des modifications profondes dans leur morphologie et produire une évolution vers une galaxie de type E.
- e) La compréhension du rôle du halo massif, existant en principe dans toutes les galaxies, comme facteur de modifications morphologiques n'est pas encore très clair.

Ces travaux mettent en évidence qu'une galaxie peut changer de type au cours de son existence. La séquence évolutive

Sc → SBc → SBb → E

peut exister, et on constate qu'elle reproduit la classification que Hubble a établie dans les années vingt, mais elle est simplement parcourue en sens inverse.

Les galaxies étant regroupées en amas et dans les amas par petits groupes, il arrive assez souvent que deux galaxies soient suffisamment proches pour que l'interaction gravitationnelle réciproque produise des effets de marées géantes qui peuvent substantiellement changer la morphologie des galaxies en interaction. Dans les cas extrêmes, le freinage induit par ces marées est si violent, que les deux composantes finissent par fusionner en un seul objet, généralement une galaxie elliptique.



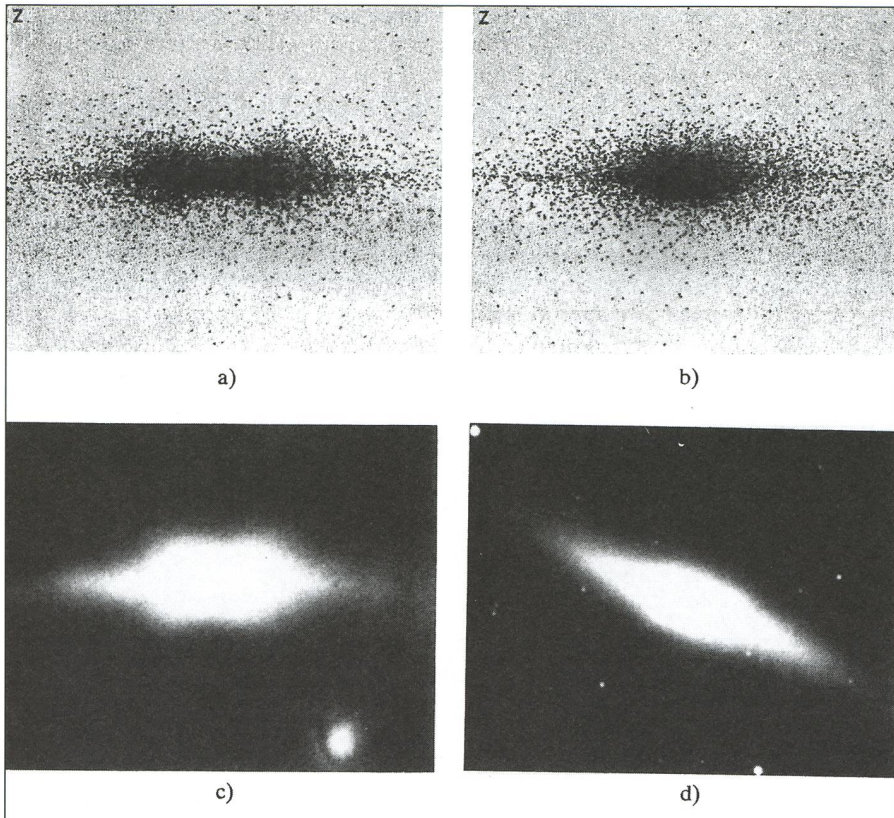


Figure 5: Des régions de trajectoires cahotiques peuvent produire des structures perpendiculaires au plan galactique. Un épaississement de la barre sous forme de cacahuète (a) lorsqu'on regarde dans la direction perpendiculaire à la barre, ou sous forme de boîte (b) lorsqu'on regarde dans l'axe de la barre. Ces deux configurations sont effectivement observées dans la nature ((c) et (d)). (source [1]).

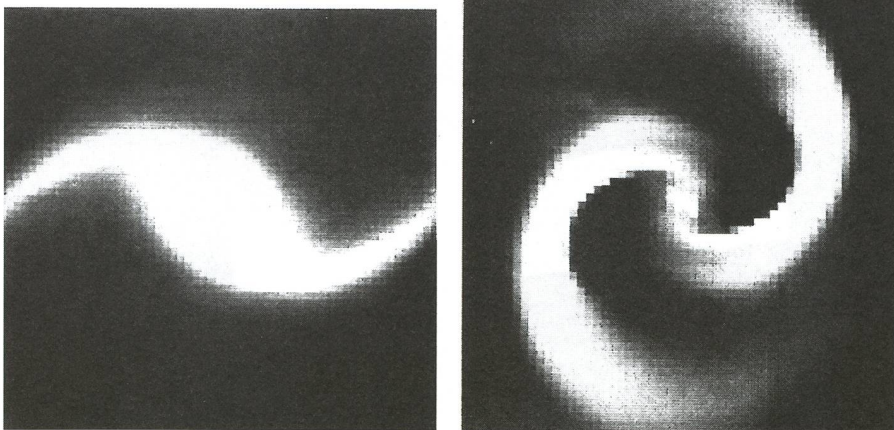


Figure 6: Cette image montre une simulation hydrodynamique de l'écoulement du gaz dans un potentiel correspondant à une barre tournante. Les deux figures correspondent à des vitesses angulaires différentes de la barre. En a) la vitesse angulaire est faible, la spirale est très ouverte; il n'existe que les résonances de corotation et externe de Lindblad. Par contre, dans la figure b) la vitesse angulaire est plus grande et il existe des résonances internes, d'où un flux gazeux perpendiculaire à la barre. (source [1]).

L'idée que certains faits observés, comme les longs «filaments» constitués d'étoiles reliant deux galaxies ou les bras spiraux eux-mêmes et d'autres déformations, pouvaient provenir de ces effets de marée se trouve dans le travail de pionnier de HOLMBERG (1940), mais il ne fut, malheureusement, jamais pris au sérieux<sup>2</sup> et il a fallu attendre la publica-

tion des frères TOOMRE en 1972 pour que la communauté des astrophysiciens accepte finalement ce point de vue. C'est à l'aide de simulations numériques reproduisant les structures observées qu'ils ont pu convaincre que ces phénomènes étaient essentiellement imputables à l'interaction gravitationnelle entre deux galaxies (figures 8a, b et 9 a, b).

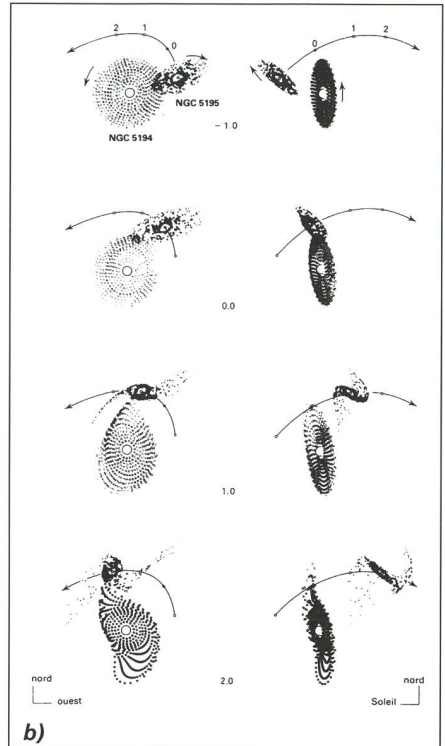


Figure 8:  
a) La galaxie Messier 51 en interaction avec son compagnon.  
b) Simulation numérique de cette situation réalisée par TOOMRE et AL. A partir de deux disques homogènes, l'interaction gravitationnelle développe progressivement des bras spiraux dans les deux systèmes. L'unité de temps est  $10^8$  ans. (source [3])

En 1990 GERIN et AL. ont fait un travail très complet de simulations 2-D et 3-D de la rencontre de deux galaxies. Des travaux semblables ont aussi été entrepris par PFENNIGER et FRIEDLI en 1991. Actuellement, ils se poursuivent avec des moyens de calculs encore plus puissants comme le système Gravitator. Ces simulations nous apprennent que:

<sup>2</sup> On était convaincu par exemple que les structures en filaments étaient produites par des effets magnétiques ou par des explosions géantes au sein du noyau galactique.



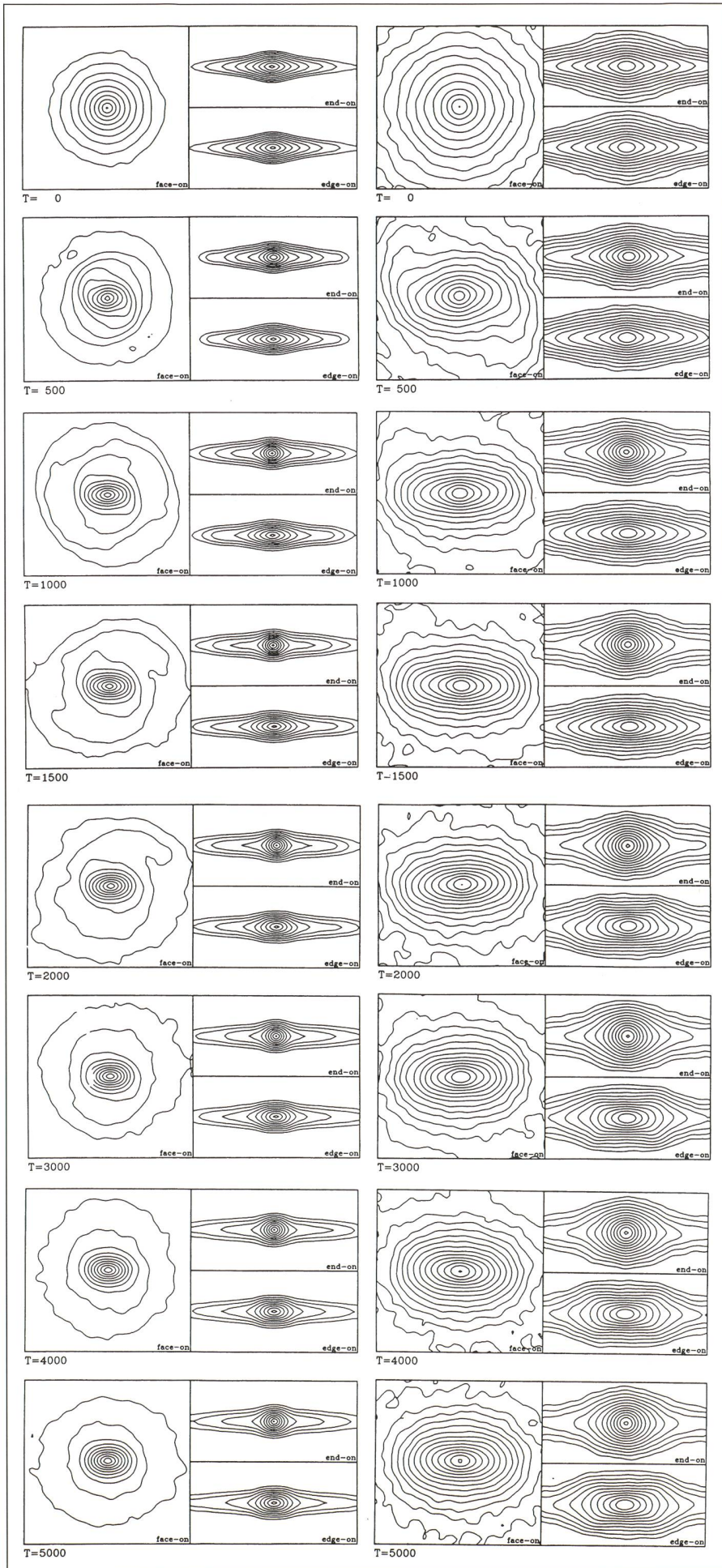


Figure 7: Evolution d'un disque de 200 000 particules correspondant à une masse de  $2 \times 10^{11}$  masses solaires. Dans la colonne de gauche, le champ de vision correspond à 60 kpc; dans la colonne de droite, il est réduit à 20 kpc. L'unité de temps est de 1,05 million d'années. On observe la formation d'une barre et de bras spiraux. Ces derniers disparaissent progressivement et la barre développe une structure en cacahuète. (source [3])

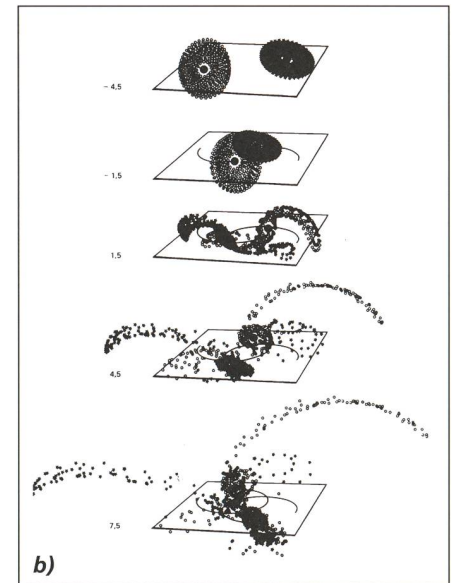
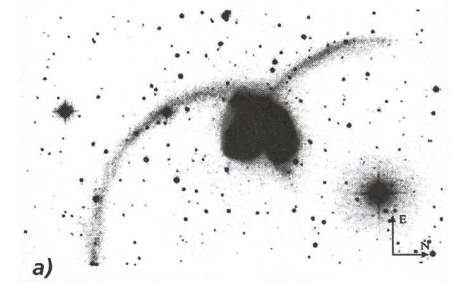


Figure 9:  
a) Photographie (selon l'atlas Arp) du système en interaction constitué des deux galaxies NGC 4039 et NGC 4039.  
b) Simulation numérique de cette situation réalisée par TOOMRE ET AL. (source [3])

- l'interaction de marée déstabilise un disque galactique et réduit le temps de formation d'une barre;
- l'interaction de marée induit la formation d'une onde de densité dans la partie extérieure du disque; cette onde se propage vers le centre du disque et renforce le processus de formation d'une barre;



- dans une galaxie, initialement déjà barrée, l'interaction de marée renforce la barre et change la distribution des vitesses à l'intérieur de celle-ci;
- la fusion avec un compagnon accroît la masse centrale du disque et produit la destruction de la barre; un accroissement de seulement 1 à 2% de la masse totale du disque est suffisant pour produire cet effet.

Des simulations (PFENNIGER 1991) ont aussi montré l'effet contraire. L'effet gravitationnel d'un satellite compact

ayant une masse correspondante à 10% de la masse totale du disque, induit sur ce dernier d'abord l'apparition d'une barre et d'une structure spirale dans un temps d'environ cent millions d'années et ensuite la destruction de la barre en environ la moitié du temps précédent pour aboutir à une structure finale de noyau sphéroïdal.

FABIO BARBLAN  
Route de l'Etraz 6a  
CH-1239 Collex/GE

## Bibliographie

- [1] FRANÇOISE COMBE et AL, *Astrophysique, Galaxies et cosmologie*; InterEditions 1991
- [2] LOUIS MARTINET, *Evidences of secular dynamical evolution in disk galaxies*, Fundamentals of Cosmic Physics. Vol 15 N° 4, 1995
- [3] DANIEL FRIEDLI, *Evolution dynamique des galaxies barrées par simulation numérique 3D*, Thèse Genève, 1992  
*Barred Galaxies*, IUA Colloquium 157, Astronomical Society of Pacific, 1996
- [4] *The Hubble Atlas of Galaxies*, ALLAN SANDAGE, Publication 618 Carnegie Institution of Washington, 1961

# Astrophotographie

DANIEL CEVEY

## 7. La photographie en projectif

### 7.1. Matériel

Comme son nom l'indique, la photographie en projectif consiste à projeter sur le film l'image donnée par un oculaire placé sur le télescope ou la lunette. Pour cela on utilise un tube, le télé-convertisseur, se fixant sur le porte oculaire du télescope. L'effet du dispositif est d'allonger la focale résultante (cf. § 3.6.) donc de diminuer le champ et la luminosité.

Tous les oculaires ne conviennent pas nécessairement au montage en projectif. Il est donc prudent de s'assurer que les oculaires dont vous disposez sont adaptés à ce montage. D'autre part, certains télé-convertisseurs que l'on trouve dans le commerce sont mal conçus, car, en cas de mauvaise manipulation, l'oculaire peut tomber sur le miroir de l'appareil photo et l'endommager. Il faut donc vérifier que le tube convertisseur possède un petit arrêt qui stoppera l'oculaire. Si ce n'est pas le cas, il suffit de percer le tube en son milieu et d'insérer une vis qui ressorte légèrement à l'intérieur, empêchant ainsi que l'oculaire ne tombe sur l'appareil photo.

Donnons un exemple de calcul de la focale résultante en système projectif:

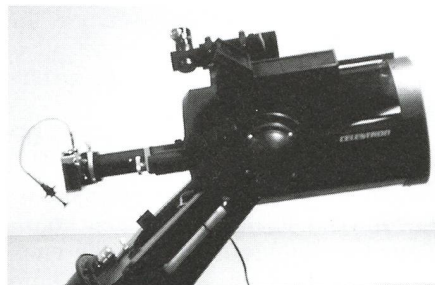
- On utilise un télé-convertisseur de tirage  $T = 125$  mm. et un oculaire de focale 25 mm. sur un télescope de focale principale égale à 2 m ouvert à F/10:

Avec la relation:  $T = f_{oc}(G + 1)$  on obtient un grandissement:

$$G = \frac{T}{f_{oc}} = \frac{125 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} = 5$$

La focale résultante  $f_{résultante} = G \times f_{principale} = 5 \times 2 \text{ m.} = 10 \text{ m}$  pour une ouverture à **F/40**. L'image sur le film correspond à celle obtenue au foyer d'un télescope de 10m de focale ouvert à F/40.

Pour la même configuration, mais en utilisant un oculaire de focale **12mm**, le grandissement sera égal à **9.5**, la focale résultante de **19m** et l'ouverture **F/95**. L'image sur le film correspond à celle obtenue au foyer d'un télescope de 19m de focale ouvert à F/95.



Télescope C8 muni d'un système projectif. Le boîtier est muni d'un déclencheur souple. Devant le télé-convertisseur on distingue le compteur digital de focalisation. Sur le télescope, le système de visée Telrad et derrière la lunette de visée 8x50.

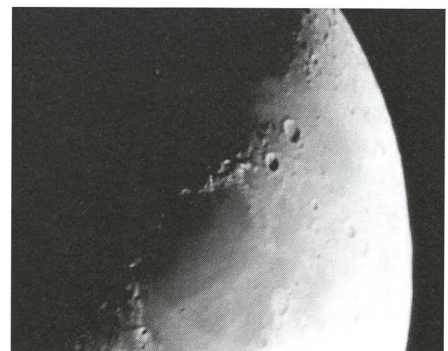
Ce dispositif ne permet pas de placer un oculaire hors axe. Les poses seront obligatoirement courtes, le suivi étant

assuré par le seul moteur en A.D. La mise au point sera faite sur une étoile à l'aide de la loupe.

### 7.2. Prises de vue

Le système en projectif permet de photographier les taches solaires, les cratères lunaires, les planètes, ou encore les systèmes doubles.

Mais il faut savoir que cette méthode est délicate, et nécessitera de nombreuses tentatives. Si l'on désire des clichés de qualité, outre une mise au point irréprochable, on s'assurera de bonnes conditions de turbulences, et on veillera à minimiser les risques de vibrations. Pour cela, il faut impérativement utiliser un déclencheur souple. Si le résultat n'est malgré tout pas satisfaisant, on peut, après la mise au point, relever le miroir manuellement, et procéder à une obturation manuelle à l'aide de la palette noire.



La Lune est à son 6<sup>e</sup> jour.

On distingue dans ce quadrant Nord-Est, la mer de la Sérénité, avec, au N-E, les cratères Eudoxus (diamètre de 67km; hauteur de 3700m) et Aristoteles (diamètre de 87km; hauteur de 3700m).

Photographie en projectif avec un oculaire de 25mm. Focale résultante de 8m. Ouverture F/40. Pose de 1/15s. sur film Ektar 1000. Arzier (VD) le 29 mars 1993 à 23h.