

**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft  
**Band:** 57 (1999)  
**Heft:** 295

**Artikel:** L'univers, dis-moi ce que c'est? : Épisode 19 : les galaxies, quatrième partie  
**Autor:** Barblan, Fabio  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-898293>

### **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:** 15.03.2025

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

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

## Episode 19: Les galaxies, quatrième partie

FABIO BARBLAN

### 8. Les galaxies à disque

Les deux problèmes fondamentaux posés par l'existence des galaxies à disque sont les bras spiraux (figure 1) et, dans environ les  $\frac{2}{3}$  des cas, la présence d'une barre. La barre est une structure rectiligne, composée d'étoiles et de matière interstellaire, aux extrémités de laquelle partent les bras spiraux. Quelle est l'origine des bras et de la barre? Y a-t-il une relation de cause à effet entre les deux? Quelle est la durée de vie moyenne de l'une et de l'autre de ces deux structures? Voici quelques questions, parmi beaucoup d'autres, soulevées par ce type de galaxie.

#### 8.1 La structure en bras spiraux, la théorie des ondes de densité

Dans les années vingt l'astronome suédois Lindblad avait déjà prévu, que la structure en spirale n'avait rien de matériel mais représentait simplement une «figure» superposée à la masse des étoiles constituant la galaxie. Mais c'est seulement dans les années 60, qu'une théorie mathématique a pu être développée, en rapport avec l'idée de LINDBLAD, par les deux astronomes américains LIN et SHU.

Pour comprendre le phénomène des ondes de densité, on évoque généralement l'exemple d'un flux de voitures sur une autoroute. Dans des conditions nor-

males de circulation, les voitures roulent, disons, à une moyenne de 100 km/h. Cela détermine une certaine densité moyenne de voitures par mètre carré d'autoroute. Si, à un endroit déterminé de la voie de circulation, des travaux demandent un ralentissement, cette perturbation a pour effet de produire une augmentation de la densité de voitures par mètre carré de l'autoroute. Les voitures passent à travers cette zone de perturbation avec une vitesse réduite. Après la zone des travaux la vitesse augmente à nouveau et la distribution des voitures reprend la configuration normale. Un observateur situé dans un hélicoptère voit une «onde de densité» parcourir la colonne de voitures.

Appliqué à une galaxie, ce schéma implique qu'il existe des «zones de perturbation»: les étoiles qui passent dans ces zones sont «comprimées» les une par rapport aux autres ce qui augmente leur densité par unité de volume. Si on admet ce scénario, surgit immédiatement la question de l'origine de ces zones de perturbation. Avant de nous attaquer à ce problème, montrons que la théorie des ondes de densité (ou toute autre théorie) est nécessaire à l'explication de ce phénomène. En effet, si on attribue aux bras spiraux une réalité physique, si on admet que ces bras seraient toujours constitués des mêmes étoiles et de la même matière interstellaire, on comprendrait mal la morphologie des bras observée dans les milliers de galaxies étudiées. Une révolution complète d'une étoile autour du centre de sa galaxie dure, en moyenne, deux cents à trois cents millions d'années. L'âge de n'importe quelle galaxie est de l'ordre de quelques milliards d'années. Dans chaque galaxie, les bras spiraux devraient donc montrer plusieurs enroulements, voir des dizaines d'enroulements autour du centre de la galaxie. Et pour les plus vieilles d'entre elles, la densité d'enroulement serait tellement grande qu'il y aurait eu effacement complet de la structure en spirale. Or, ceci n'est observé sur aucune galaxie. Donc l'hypothèse que les bras spiraux sont une structure «fixe» réellement existante composée en permanence des mêmes objets ne tient pas la route. Il y avait nécessité de trouver une autre origine à l'existence des bras spiraux.

La théorie des ondes de densité semble donner satisfaction dans nombre de situations observées. Mais où est donc

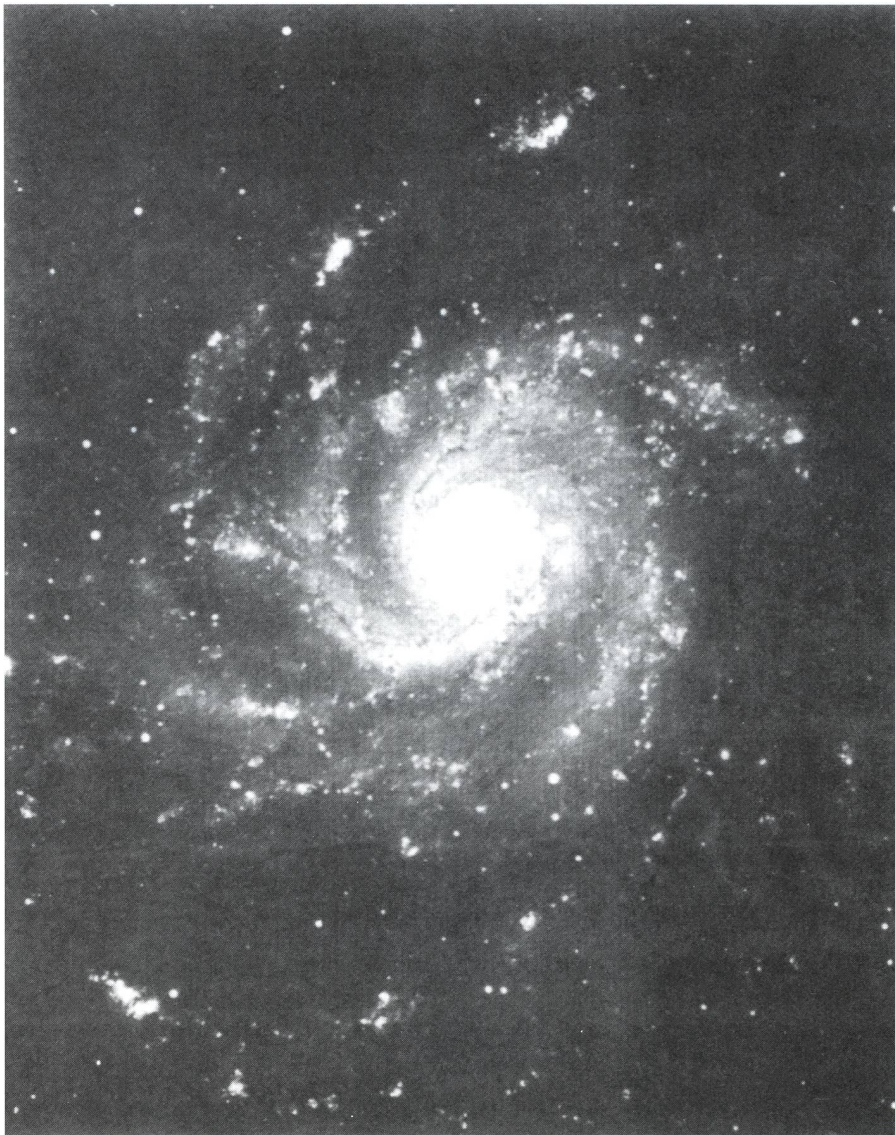
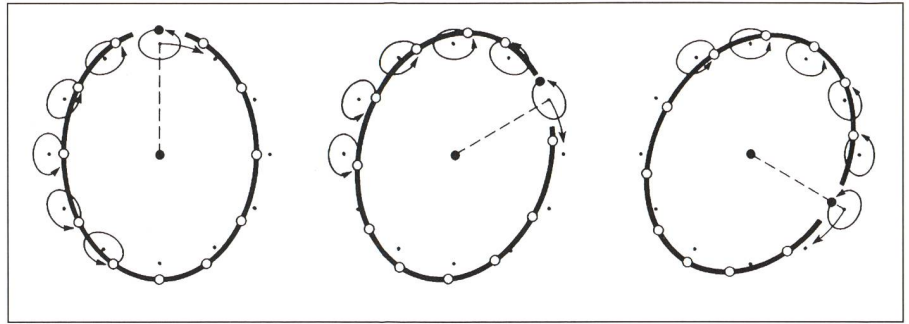


Fig. 1. La galaxie M101 (ou NGC 5457) dans la constellation de la Grande Ourse est une magnifique galaxie spirale avec de larges bras ouverts et une multitude de régions H II.

Fig. 2. Cette image montre la trajectoire de forme elliptique imprimée à une étoile dans son mouvement autour du centre de la galaxie par l'ensemble des forces gravitationnelles à longue distance qu'elle subit. La trajectoire réelle de l'étoile est une succession d'épicycles centrés sur l'orbite elliptique, produit par les perturbations gravitationnelles des objets de son environnement immédiat.



l'origine de ces ondes de densité? Ce sont les travaux de KALNAJS (1973) qui ont permis de réaliser d'importants progrès à ce sujet. La clé du mystère se trouve dans la façon dont les étoiles individuellement se déplacent dans une galaxie. La compréhension de la cinématique stellaire, donc de la forme des trajectoires individuelles et collectives des étoiles dans leur mouvement autour du centre de la galaxie, est un élément essentiel de la théorie des ondes de densité. Une étoile subit, l'affirmation est triviale, l'attraction gravitationnelle de l'ensemble des autres objets de la galaxie. Sa trajectoire est donc modelée par l'ensemble de ces interactions. Paradoxalement, on montre que l'effet gravitationnel des objets lointains est beaucoup plus important et déterminant que celui des objets proches de l'étoile. Sa trajectoire, dans la course autour du centre de la galaxie, est conditionnée par la configuration à grande échelle de cette dernière qui oblige l'étoile à se déplacer sur une orbite de forme elliptique (figure 2). En fait, l'étoile ne se déplace jamais sur la trajectoire elliptique elle-même. En effet, l'influence gravitationnelle du proche environnement de l'étoile induit des perturbations qui obligent l'astre à effectuer une succession d'épicycles «centrés» sur sa trajectoire elliptique (figure 2). Les calculs de cinématique stellaire montrent aussi que la trajectoire globalement elliptique est munie d'un mouvement de précession des absides<sup>1</sup>. Une répartition aléatoire des grands axes de chaque trajectoire individuelle aurait comme effet une distribution chaotique des étoiles dans le plan galactique. Si, par contre, on admet

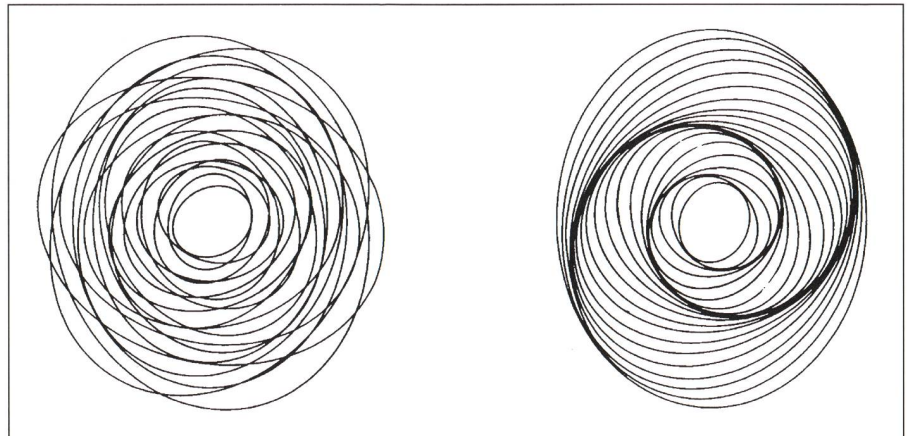
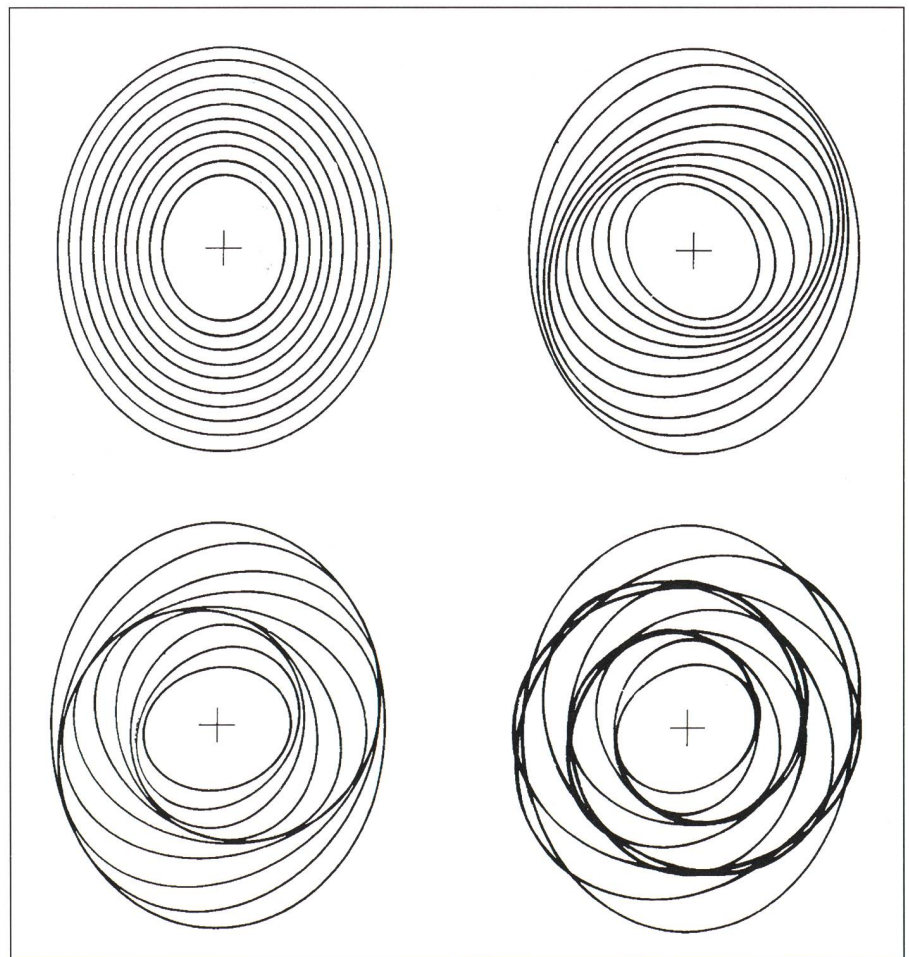


Fig. 3. Les deux dessins contiennent exactement le même nombre d'ellipses. Dans celui de gauche l'orientation des grands axes est aléatoire; par contre, dans celui de droite, chaque grand axe est légèrement pivoté par rapport au précédent. La zone des bras spiraux apparaît très clairement.



<sup>1</sup> On indique par précession des absides un mouvement de rotation du grand axe de l'ellipse avec pour centre de rotation l'un des foyers de l'ellipse (qui représente le centre de la galaxie).

Fig. 4. Simulations de différentes configurations de bras spiraux en fonction du nombre d'orbites elliptiques et du degré de pivotement de chaque grand axe par rapport au précédent.

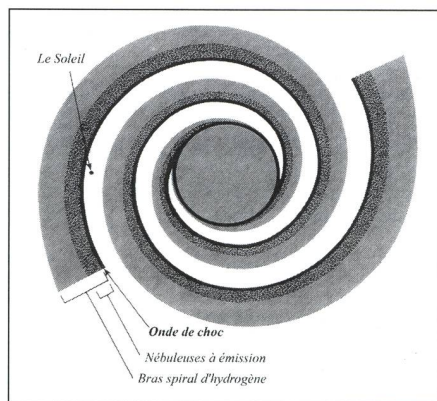
que les trajectoires de deux objets «voisins» sont couplées et que les grands axes sont chaque fois légèrement pivotés les uns par rapport aux autres, on constate la formation automatique de régions à densité stellaire plus élevée ayant la forme de bras spiraux (figure 3 et 4). C'est donc la particularité des trajectoires individuelles et de leur couplage collectif qui est à l'origine des ondes de densité.

Puisque chaque trajectoire individuelle est munie d'un mouvement de précession, toute la structure créée par l'ensemble des trajectoires individuelles précède. Ce mouvement de «voyage» de l'onde de densité à travers la galaxie se fait typiquement à une vitesse de l'ordre de trente kilomètres par seconde. Or, la vitesse du son dans le gaz interstellaire est environ trois fois plus petite. L'onde de densité se déplace donc à une vitesse supersonique. À cause de la plus grande densité existant dans les bras spiraux, ces régions exercent sur leur environnement un effet gravitationnel plus grand; les gaz et les poussières interstellaires sont attirées et s'accumulent dans les bras spiraux. Le déplacement supersonique de l'onde de densité va créer à l'avant de celle-ci une onde de choc (figure 5 et 6). Le gaz et les poussières interstellaires sont violemment comprimés. C'est dans ces régions que les conditions sont réunies pour la naissance de nouvelles étoiles. L'onde de densité recycle le milieu interstellaire: les vieux gaz et les poussières éjectés par les anciennes étoiles sont les matériaux de base pour les nouvelles générations d'étoiles.

De nombreux points restent malgré tout encore à expliquer. En particulier, celui de la persistance des ondes de densité. Quel est le moteur qui maintient en «vie» cette structure? D'énormes quantités d'énergie sont nécessaires pour comprimer les gaz et poussières interstellaires. Où l'onde de densité puise-t-elle cette énergie, comment est-elle renouvelée? Pour quelle raison l'onde de densité ne s'amortit-elle pas naturellement? Voilà encore quelques points qui restent à élucider pour que la théorie des ondes de densité soit vraiment une théorie complète et totalement satisfaisante.

Dans le prochain épisode il sera question des galaxies spirales barrées.

Fig. 5. Ce schéma indique la localisation des zones d'onde de choc dans les bras spiraux d'une galaxie. Derrière la zone de compression, on trouve généralement les nébuleuses à émission (H II) et derrière elles les nuages d'hydrogène neutre.



## Bibliographie

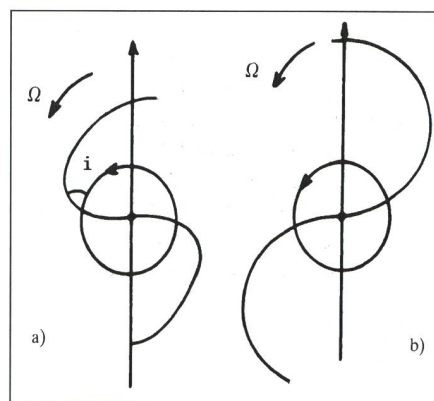
F. COMBES et al. *Astrophysique: Galaxies et Cosmologie*, Inter Editions 1991  
W. J. KAUFMANN III, *Galaxies and Quasars*, W. H. Freeman and Company 1979  
G. BERTIN, C. C. LIN, *Spiral Structure in Galaxies*, The MIT Press, 1996

FABIO BARBLAN

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

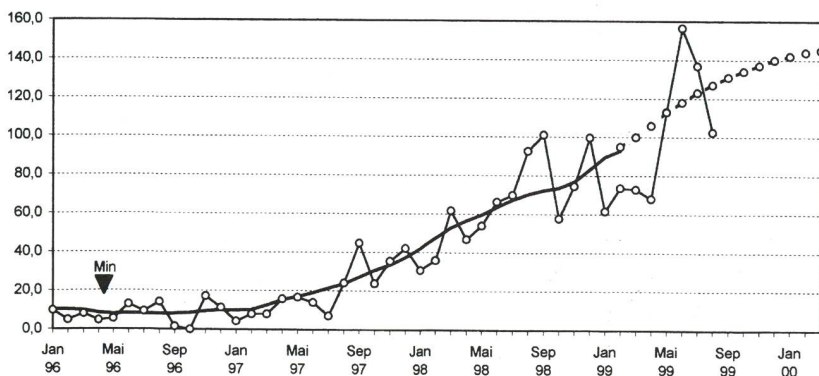
Fig. 6. Ce schéma montre les deux cas possibles «d'entrée» de la matière dans l'onde de densité. Si on considère, en première approximation, l'onde de densité comme sinusoidale, alors le nombre d'onde<sup>2</sup>  $k$  peut être soit positif, soit négatif. S'il est négatif les étoiles et la matière interstellaire rentrent dans la partie concave du bras. La structure spirale est dite «traînante» (en anglais: trailing). Dans l'autre cas la matière entre par la partie convexe du bras et la structure est dite «précédante» (leading).

<sup>2</sup> Le nombre d'onde angulaire est défini comme étant deux fois  $\pi$  divisé par la longueur d'onde.



## Swiss Wolf Numbers 1999

MARCEL BISSEGER, Gasse 52, CH-2553 Safnern



Juli Mittel: 137,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
154	188	163	166	162	151	143	117	135	134	
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
147	162	123	94	105	93	99	110	88	96	
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
112	138	98	127	118	111	146	194	299	197	173

August Mittel: 108,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
185	185	158	123	129	88	99	101	85	63	
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
63	57	63	64	58	55	34	46	53	65	
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
67	86	83	111	152	158	120	185	155	157	133