

# LA SEQUENCE DE HUBBLE

G. Iafrate<sup>(a)</sup>, M. Ramella<sup>(a)</sup> & V. Bologna<sup>(b)</sup>

<sup>(a)</sup> INAF – Observatoire Astronomique de Trieste

<sup>(b)</sup> Istituto Comprensivo S. Giovanni – Sc. Sec. di primo grado “M. Codermatz”-  
Trieste

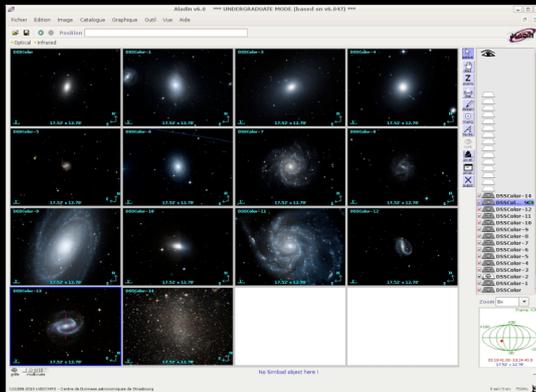
Traduction Française: A. Siebert – CDS Strasbourg

Ce cas pratique explore la morphologie des galaxies et leur classification suivant la séquence de Hubble.

Les galaxies sont les éléments fondamentaux de l'Univers. Les galaxies telles qu'on les voit sur les images ont des formes différentes, tantôt simple tantôt compliquée. Elles peuvent être elliptiques, spirales, spirales barrées, lenticulaires ou encore irrégulières.

Aladin permet de visualiser les images de galaxies observées par les plus grand télescopes du monde. Aladin permet également la visualisation de plusieurs galaxies au même moment, facilitant leur comparaison.

A partir de la comparaison des 14 galaxies proposée dans cette série d'exercices, il est possible de construire la séquence de Hubble. Ce principe morphologique de classification des galaxies a été proposé par Edwin Hubble en 1936 et est aujourd'hui le principe le plus utilisé pour classer ces objets à la fois par les astronomes professionnels et les amateurs.



# 1 Introduction

Les galaxies sont les constituants principaux de l'Univers. Elles nous permettent d'étudier la distribution de la matière aux plus grandes échelles. L'apparence des galaxies telle qu'on les observe est très variée, allant des formes les plus simples aux plus compliquées. Cette forme est liée à la façon dont une galaxie s'est formée et a évolué au cours du temps.

La séquence de Hubble est un schéma de classification des galaxies basé sur la morphologie introduit par Edwin Hubble en 1936. Ce schéma divise les galaxies normales en trois grandes catégories : les elliptiques, lenticulaires et spirales, ceci basé sur leur apparence visuelle (à l'origine cette apparence visuelle est obtenue à partir de plaques photographiques). Une quatrième catégorie contient les galaxies ayant une apparence irrégulière.

Aujourd'hui la séquence de Hubble est le système de classification le plus répandu pour la classification des galaxies.

Nous avons également appris que la séquence de Hubble ne présente pas une séquence évolutive des différentes phases de la vie d'une galaxie. Cependant, cette classification reste très importante.

Dans cette série d'exercice, nous allons décrire la séquence de Hubble et apprendre à classer les galaxies. Pour cela nous utiliserons une liste de galaxies dont la classification sur la séquence de Hubble est aisée.

## 2 Galaxies

La très grande majorité des objets que nous pouvons voir à l'oeil nu sur le ciel (les étoiles, nébuleuses, amas d'étoiles) font parti de notre galaxie. En dehors de notre galaxie, nous ne voyons que d'autres

galaxies et de façon exceptionnelle des supernovae et d'autres explosions violentes.

Nous savons qu'il y a plus de 100 milliards de galaxies dans l'univers, certaines grandes, d'autres petites mais aussi de taille similaire à la Voie Lactée. Les galaxies sont des objets très brillants, brillants comme environ  $10^{11}$  étoiles, mais à cause de la grande distance qui nous sépare d'elles nous ne pouvons en observer que trois à l'oeil nu : les deux nuages de Magellan (le grand et le petit) et la galaxie d'Andromède (M31).

Les nuages de Magellan sont des galaxies irrégulières qui ont été décrites pour la première fois par Magellan en 1519. Elles sont visibles depuis l'hémisphère sud et récemment, en 1987, une supernova a été observée dans le grand nuage. Cette supernova est très importante car les supernovae dans les galaxies proches ou dans la Voie Lactée sont des événements rares qui ne se produisent qu'une fois tous les 400 ans.

M31 quant à elle est une galaxie spirale géante, semblable à la Voie Lactée, située à 2,3 millions d'années lumière de nous. Les nuages de Magellan, M31, la Voie Lactée et d'autres galaxies plus petites appartiennent à un ensemble physique de galaxies plus grand, lié par la gravité. C'est le groupe local.

Les galaxies ont des formes variées : certaines sont elliptiques, d'autres sont spirales, spirales barrées, lenticulaires ou encore irrégulières.

Les galaxies elliptiques ont une forme sphérique ou ovale, avec un aplatissement variable. Elles ont peu ou pas de structure et leur luminosité décroît uniformément du centre au bord.

Les galaxies spirales sont similaires à la Voie Lactée : elles montrent un noyau central brillant, le bulbe, auquel des bras spiraux se connectent.

Les spirales barrées sont différentes des galaxies spirales. Leurs bras spiraux ne se connectent pas directement au bulbe mais à

une structure en forme de barre. Les observations récentes montrent que la Voie Lactée est également une galaxies spirale barrée.

Les galaxies lenticulaires possèdent un bulbe et disque comme les spirales, mais le bulbe domine la luminosité et donc la forme de la galaxie. Leur disque ne contient pas de bras spiraux et d'étoiles jeunes, juste des poussières.

Finalement, les galaxies irrégulières n'ont pas de forme précise. Elles ont généralement une faible masse et donc une faible luminosité.

### 3 La séquence de Hubble

La figure 1 représente la séquence de Hubble, un schéma de classification morphologique des galaxies.

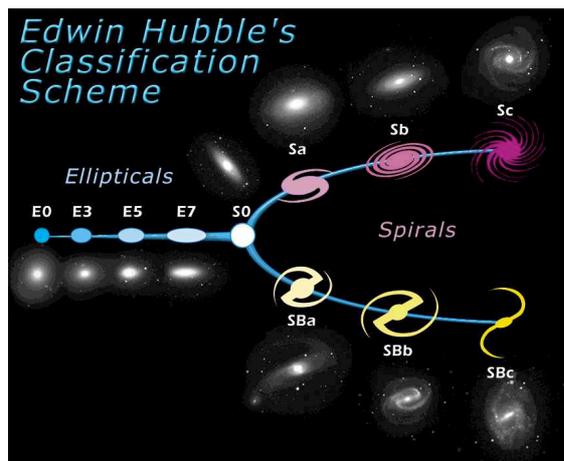
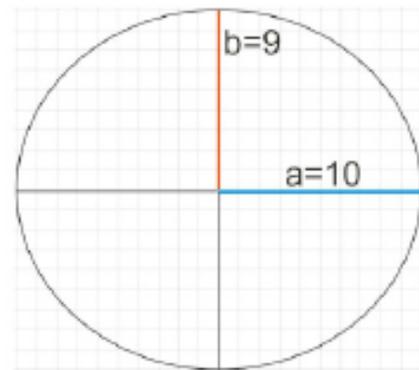


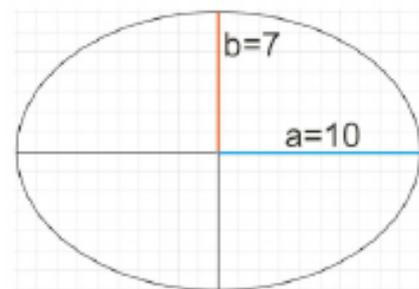
Fig. 1. La séquence de Hubble : un schéma de classification morphologique des galaxies

Sur la gauche se trouvent les galaxies elliptiques (voir aussi fig. 3). Ces galaxies sont lisses, sans structure visible et apparaissent comme des ellipses sur les images photographiques. Leur type est indiqué par la lettre E suivie d'un nombre entier  $n$  qui indique le degré d'ellipticité sur la voûte céleste.

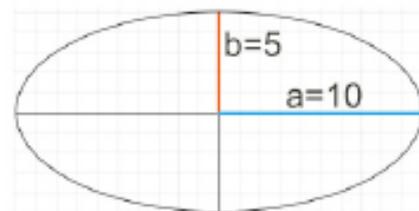
L'ellipticité est définie par  $e=1-b/a$  pour une ellipse dont les demi axes majeurs et mineurs ont respectivement des longueurs  $a$  et  $b$ .  $n$  est ensuite défini par (voir fig. 2)  $n=10 \times e=10 \times (1-b/a)$ .



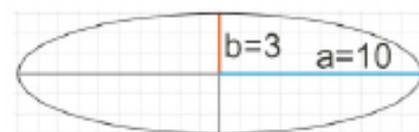
(a)  $e=0.1, n=1$



(b)  $e=0.3, n=3$



(c)  $e=0.5, n=5$



(d)  $e=0.7, n=7$

Fig. 2. Exemples d'ellipses avec différent degrés d'ellipticité.

Le degré d'ellipticité croît de la gauche vers la droite sur la séquence de Hubble et les galaxies presque circulaires (E0) sont à l'extrême gauche du diagramme. Il faut noter que l'ellipticité mesurée sur le ciel n'est que indirectement liée à la structure en trois dimension dans l'espace. Par exemple une galaxie spirales très plate peut apparaître ronde sur le ciel si elle est vue de face ou elliptique si vue avec un angle quelconque. L'aplatissement maximum

observé pour les galaxies elliptiques est  $e=0,7$  (donc type E7).



Fig. 3. Exemples de galaxies elliptiques : M32 (E2 en haut) et M110 (E6 en bas).

La partie droite de la séquence de Hubble est composée de deux branches parallèles pour les galaxies spirales (voir fig. 4). Une galaxie spirale est composée d'un disque plat avec des bras spiraux (en général 2), et une concentration centrale d'étoiles qui est le bulbe.

A peu près la moitié des galaxies spirales ont une structure en forme de barre au centre et qui s'étend vers le disque. Les bras spiraux sont alors reliés à la fin de la barre. Dans le diagramme de Hubble, les galaxies spirales normales occupent la branche supérieure, notées par la lettre S, et les galaxies spirales barrées la branche inférieure qui est notée SB. Les divisions à l'intérieur de ces branches est fonction de l'apparence des bras spiraux.

Cette sub-division est indiquée par une lettre minuscule après la classe principale (S ou SB). La signification de cette lettre est la suivante :

- Sa (SBa) – bras lisses à enroulement serré ; bulbe central large et brillant
- Sb (SBb) – bras spiraux moins serrés que Sa ; bulbe plus faible
- Sc (SBc) – bras spiraux à enroulement peu serré, résolu visuellement en amas d'étoiles et nébuleuses ; bulbe petit avec une faible luminosité.

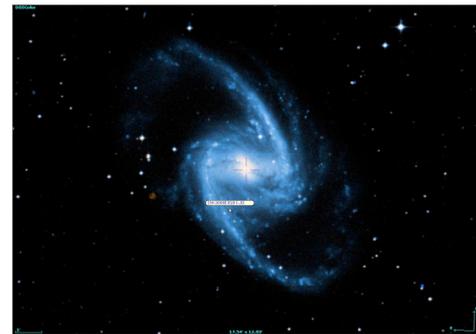


Fig. 4. Exemples de galaxies spirales : NGC 2997 (Sc, en haut) et NGC 1365 (SBb, en bas).

Au centre de la séquence de Hubble ; où les spirales rencontrent les elliptiques, se trouve une classe de galaxies intermédiaires qui sont les lenticulaires (voir fig. 5) et sont notées S0. Ces galaxies se composent d'un bulbe brillant, très similaire à une galaxie elliptique, entouré par une structure étendue qui a la forme d'un disque. A l'inverse des galaxies spirales, les disques des lenticulaires ne contiennent pas de bras spiraux ni d'étoiles très brillantes. Le bulbe est le plus souvent la partie visible dominante d'une galaxie lenticulaire. Vue de face ; les lenticulaires sont difficiles à distinguer des galaxies elliptiques de type E0 ce qui rend la classification de ces galaxies incertaine.

Quand elles sont vues par la tranche, des zones d'absorption très marquées dues à la poussière (les « dust-lanes ») sont visibles au-dessus de la lumière émise par les étoiles.



Fig. 5. La galaxie lenticulaire (S0) NGC 5866



Fig. 6. La galaxie irrégulière NGC 1427A

Les galaxies qui ne s'alignent pas dans la séquence de Hubble, car elles n'ont pas de structure régulière similaire à un disque ou une ellipsoïde, sont appelées galaxies irrégulières (fig. 6).

## 4 Aladin

Aladin est un atlas numérique du ciel qui permet la visualisation d'images numérisées pour n'importe quelle partie du ciel. Ce logiciel permet la superposition de catalogues astronomiques ou du contenu d'autres bases de données sur les images et l'accès à l'information et aux données de ces catalogues de façon interactive.

Aladin est développé et maintenu par le Centre de Données Astronomique de Strasbourg (CDS). Il peut-être téléchargé à partir du lien <http://aladin.u-strasbg.fr>.

Dans la suite de cet exercice nous utiliserons la version « outreach » du logiciel (mode grand public). Cette extension de Aladin a été développée dans le cadre du projet Européen EuroVO-AIDA.

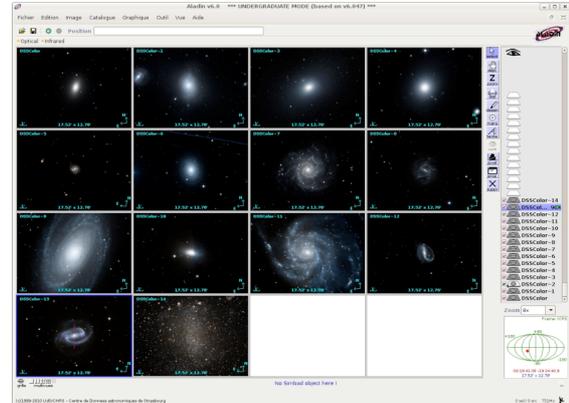


Fig. 7. Les 14 galaxies chargées dans la fenêtre Aladin.

## 5 VirGO

VirGO est un navigateur développé par le VO System Department qui permet d'accéder à l'ESO Science Archive Facility, l'archive des données de l'observatoire Européen Austral (ESO). Ce navigateur est une extension du logiciel open source Stellarium qui permet un accès aux bases de données professionnelles. VirGO ouvre la possibilité aux astronomes de sélectionner aisément leur données parmi les millions d'observations disponibles de façon intuitive et visuelle. La fonctionnalité principale de ce logiciel est d'accéder et d'afficher en temps réel un grand nombre d'observations en montrant les footprints instrumentaux et les prévisualisations des observations et ensuite de permettre leur filtrage et sélection pour un usage futur.

VirGo superpose des images de fond provenant du DSS (Digital Sky Survey) et permet une vue du ciel identique à celle vue par les astronomes.

VirGO peut-être téléchargé à partir du lien suivant : <http://archive.eso.org/cms/tools-documentation/visual-archive-browser>.



Fig. 8. Fenêtre d'options d'affichage du ciel du logiciel VirGO.

## 6 Classification

Dans la suite nous proposons une liste de 14 galaxies que vous devrez classer en vous basant sur la séquence de Hubble. Ces galaxies sont : M59, M85, M86, M87, NGC0175, NGC0488, NGC0628, NGC1073, NGC1300, NGC3031, NGC4125, NGC5457, NGC7479, NGC6822.

Lancez Aladin et cliquez sur la fenêtre de présentation, une page blanche va apparaître où vous allez pouvoir charger vos images astronomiques. Pour visualiser toutes les galaxies, passez en mode multi-vues. Pour ce faire, cliquez sur le bouton de droite sous la fenêtre de visualisation. La fenêtre principale se divise alors en 16 parties et nous allons charger une galaxie par sous-fenêtre.

Cliquez sur le bouton  pour ouvrir la fenêtre du « Sélecteur de serveurs ». Cliquez sur la première fenêtre et placez le curseur sur le champ « position » du sélecteur de serveurs. Entrez le nom de la première galaxie. Après quelques secondes, l'image de la Galaxie va apparaître. Cliquez ensuite sur la deuxième fenêtre et entrez le nom de la deuxième galaxie dans le champ Position. Procédez de même pour les 12 galaxies restantes (fig. 7).



Fig. 9. Fenêtre d'accès aux données de VirGO.

Maintenant que les galaxies sont chargées dans Aladin, nous allons pouvoir commencer à les classer.

Pour zoomer sur une galaxie, cliquez sur la fenêtre où vous souhaitez zoomer, puis utilisez le bouton « zoom » qui se trouve à droite de la fenêtre. Vous pouvez également utiliser les touches F7/F8. Le bouton « déplacer » permet de repositionner l'image si elle est plus grande que la fenêtre.

## 7 Localiser les galaxies dans le ciel à l'aide de VirGO

Ouvrez VirGO, vous verrez apparaître la même interface que pour le logiciel Stellarium avec des fenêtres permettant l'accès aux données astronomiques. Dans la « fenêtre de configuration du ciel et de la vision » (fig. 8), vous pouvez spécifier la grille des coordonnées, l'équateur et les lignes méridiennes ainsi que l'affichage des constellations et plus encore.

Dans la « fenêtre de recherche » (fig. 9) sélectionnez le champ « recherche d'objet » et entrez le nom de la première galaxie. Regardez la constellation se trouvant au centre de Stellarium : la galaxie se trouve dans cette région. Vous pouvez zoomer sur la région en utilisant soit la molette de la souris soit les touches « page up/down » du clavier, attendez que les images se chargent.

Cliquez sur la galaxie, dans le coin gauche en haut de Stellarium les informations sur son nom, sa position, sa taille et ses magnitudes sont affichées.

Cherchez les autres galaxies et prenez du plaisir à regarder leur position sur le ciel.

### L'opinion de l'astronome

La séquence de Hubble ne correspond pas à la séquence évolutive d'une galaxie au cours de sa vie : les galaxies ne naissent pas elliptiques et deviennent ensuite spirales ou irrégulières.

Théoriquement, nous pensons que les galaxies se forment dans des larges halos de matière dont la nature reste mystérieuse (la matière noire).

Le gaz présent dans ces halos perd de l'énergie et tombe vers le centre de ces objets. La conservation du moment angulaire crée une structure en forme de disque similaire à ce qui est observé pour les galaxies spirales (par exemple la Voie Lactée).

Nous pensons que les galaxies elliptiques, et en général les structures sphéroïdales observées au centre des galaxies spirales, ont pour origine les interactions ou la fusion entre les galaxies.

Des phénomènes de ce type sont fréquents et sont couramment observés. Ils se produisent quand les galaxies sont suffisamment proches pour ressentir les effets du champ gravitationnel de l'autre galaxie. Le champ de force va courber et éventuellement détruire une ou les galaxies. Cela peut s'achever, en fonction de la vitesse et de l'orbite réciproque des galaxies, par un véritable processus de fusion qui redistribue les étoiles des galaxies dans une structure sphérique. La compression du gaz lors de ce processus peut engendrer un nouvel épisode de formation stellaire.

**Gabriella De Lucia**

*INAF-Astronomical Observatory of Trieste*

# Exercices

## Niveau d'apprentissage 1

- Visualisez les galaxies en utilisant les deux outils : Aladin et VirGO
- Séparez les galaxies sur la base de leurs morphologies (elliptiques, spirales, autre)
- Remplissez la table des classifications grossières.

Activité : divisez les 14 galaxies entre elliptiques, spirales, spirales barrées, lenticulaires et irrégulières. Pour chaque galaxie, marquez d'une croix la colonne correspondante.

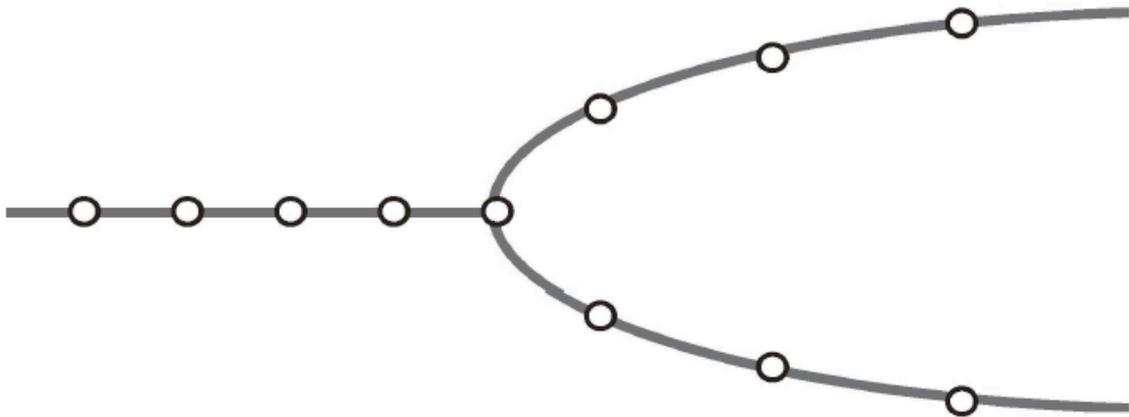
Galaxie	Elliptique	Spirale	Spirale barrée	Autre
M 59				
M 85				
M 86				
M 87				
NGC 175				
NGC 488				
NGC 628				
NGC 1073				
NGC 1300				
NGC 3031				
NGC 4125				
NGC 5457				
NGC 7479				
NGC 6822				



### Niveau d'apprentissage 3

- Utilisez un diagramme type Hubble pour classer les galaxies

Activité : remplissez le diagramme suivant (séquence de Hubble) avec le nom des 14 galaxies étudiées. Notez que une des galaxies ne peut pas se positionner sur ce diagramme.



# Solutions

## Niveau d'apprentissage 1

Galaxie	Elliptique	Spirale	Spirale barrée	Autre
M 59	X			
M 85				X
M 86	X			
M 87	X			
NGC 175			X	
NGC 488		X		
NGC 628		X		
NGC 1073			X	
NGC 1300			X	
NGC 3031		X		
NGC 4125	X			
NGC 5457		X		
NGC 7479			X	
NGC 6822				X

## Niveau d'apprentissage 2

Elliptiques	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
M 59					X		
M 86			X				
M 87		X					
NGC 4125						X	

Spirales	Sa	Sb	Sc
NGC 488	X		
NGC 628			X
NGC 3031		X	
NGC 5457			X

Spirales barrées	SBa	SBb	SBc
NGC 175	X		
NGC 1073			X
NGC 1300		X	
NGC 7479			X

Autres	Lenticulaires	Irrégulières
M 85	X	
NGC 6822		X

Niveau d'apprentissage 3

