



---

# PHQ066 Radioastronomie et interférométrie

---

7 janvier 2011

Autiwa

## Table des matières

<b>1 Galaxie</b>	<b>3</b>
1.1 Définition et généralités . . . . .	3
1.2 Classification . . . . .	3
1.3 Source de rayonnement . . . . .	4
1.3.1 Raies . . . . .	4
1.3.2 Continu . . . . .	4
1.4 Population d'étoiles . . . . .	4
1.5 Profil de lumière . . . . .	4
1.6 Dynamique . . . . .	5
1.7 Décalage Doppler . . . . .	6
1.8 Loi de Hubble . . . . .	6

# 1 Galaxie

## 1.1 Définition et généralités

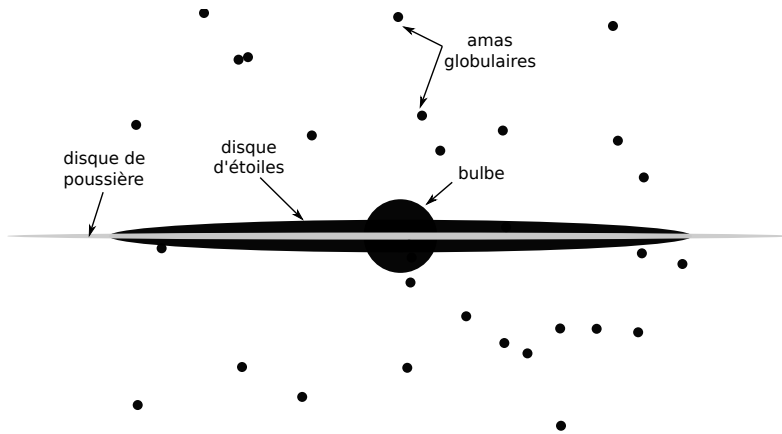


FIGURE 1 – Schéma d'une galaxie vue par la tranche

Une galaxie est composée principalement d'un bulbe, d'un disque fin, et d'amas répartis de manière isotrope tout autour du bulbe sur une région à peu près aussi étendue que le disque. Le disque se compose d'un disque d'étoile d'une part, et d'un disque de poussière d'autre part. Ce dernier est plus fin et plus étendu que le disque d'étoile et contribue à l'extinction de la lumière qui explique, dans notre galaxie qu'on ne voit pas le centre galactique.

Les *amas globulaires* sont des groupes de dizaines de milliers d'étoiles concentrées dans quelques 20 parsecs.

**Remarque :** Il existe des amas beaucoup plus gros et justement, on voit apparaître ici une frontière un peu floue entre un gigantesque amas globulaire et une galaxie naine en orbite autour d'une galaxie plus grosse.

## 1.2 Classification

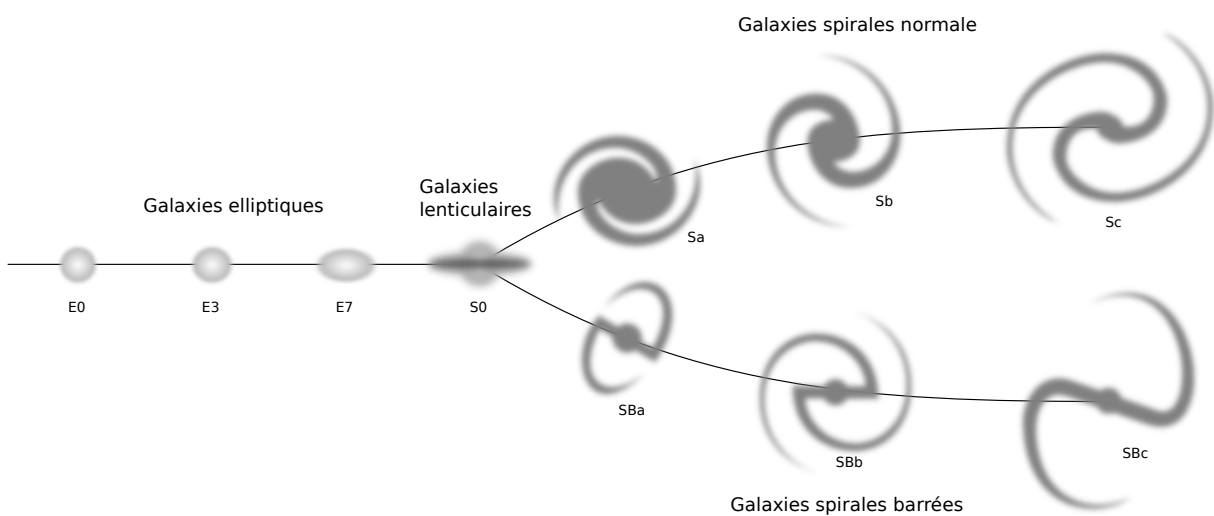


FIGURE 2 – Les principaux types morphologiques sont représentés par le « diapason » classique de Hubble. De gauche à droite, le disque (inexistant dans les elliptiques) prend de l'importance, de même que la proportion d'étoiles jeunes et de gaz. Les lenticulaires (S0) qui possèdent un disque mais très peu de gaz sont à la charnière des systèmes sphéroïdaux, et des galaxies spirales proprement dites. Les deux branches du diapason sont d'un côté les spirales normales et de l'autre les spirales barrées.

Les galaxies irrégulières sont plutôt petites et beaucoup moins massives que les galaxies dites régulières. Elles ont aussi une composition peu évoluée car elles ont peu d'enrichissement dû à une première génération d'étoiles.

Dans les galaxies spirales, il faut bien comprendre que les bras spiraux, tout comme l'éventuelle barre de la galaxie, sont en rotation de manière statistique. C'est à dire que ce n'est pas un objet parfaitement défini, mais qu'en moyenne, la somme de toutes les orbites elliptiques forme une surdensité à certains endroits et qu'au cours du temps, cette surdensité tourne. L'énergie de ces galaxies est essentiellement rotationnelle. Il y a peu de mouvement aléatoires.

À l'inverse, les galaxies elliptiques sont caractérisées par des vitesses plus ou moins aléatoires, ce qui fait qu'on ne voit pas de mouvement d'ensemble. Ces galaxies n'ont pas de gaz neutre, et donc pas de formation d'étoiles.

 La formation et l'évolution des galaxies elliptiques et spirales sont donc très différentes.

### 1.3 Source de rayonnement

Sur les bords d'une galaxie, on remarque qu'elle est un peu plus bleue. Ceci s'explique par le fait que les parties externes d'une galaxie, où le taux de formation d'étoiles est le plus important, ont beaucoup d'étoiles jeunes.

La composante rouge que l'on observe vient de la raie  $H_\alpha$  de l'hydrogène.

#### 1.3.1 Raies

Dans l'UV, elles correspondent aux transitions lyman de l'atome d'hydrogène. Dans l'optique et le proche infra-rouge, on trouve les séries Balmer, Paschen, etc, de l'hydrogène. On trouve plus généralement des transitions électroniques de métaux.

Dans l'infra-rouge lointain, on trouve les raies de structure fine de différents atomes et ions, notamment la raie à 21cm (transition hyperfine de l'hydrogène). Dans le millimétrique et le sub-millimétrique, on trouve les raies rotationnelles des molécules.

Pour les rayons X, ils correspondent aux raies d'atomes fortement ionisés.

#### 1.3.2 Continu

Dans l'UV, ce sont essentiellement les étoiles assez massives et les étoiles sous-metalliques. Dans l'optique et le proche infra-rouge, ce sont plutôt des étoiles un peu plus froides, plus vieilles.

Dans l'infra-rouge moyen, on a le rayonnement des PAH (Poly-Aromatised Hydrocarbur : grosses molécules) et des très petits grains de poussières (VSG : Very Small Grain).

Dans le domaine radio, on a le rayonnement synchrotron (des électrons relativistes qui spiralent dans un champ magnétique)

### 1.4 Population d'étoiles

On distingue essentiellement deux populations, originellement nommées population I et population II.

La population I est là où la formation d'étoile est en cours et se situe essentiellement dans le disque et dans le bulbe galactique.

Par contre, la population II est caractérisée par une faible métallicité, contient peu d'étoiles jeunes, et a généralement peu de rotation. Cette population se retrouve essentiellement dans le halo, les amas globulaires, et aussi dans le bulbe galactique.

### 1.5 Profil de lumière

La luminosité du disque galactique est bien représentée par une exponentielle

$$I(r) = I_0 e^{-r/r_d} \quad (1.1)$$

où  $r_d \sim 3$  kpc.

À partir de la distribution de luminosité, on peut se ramener à la distribution de masse du disque via un coefficient  $M/L$  qui donne le facteur de conversion moyen entre la masse en masse solaire et la luminosité en luminosité solaire.

## 1.6 Dynamique

Pour calculer la vitesse de rotation d'une particule au sein d'une galaxie, on décompose la vitesse en deux composantes :

- Une première composante  $v_{\text{bulbe}}$  due au bulbe que l'on peut calculer très simplement avec les lois de Képler. On approxime alors la masse du bulbe à une masse ponctuelle;
- une deuxième composante  $v_{\text{disque}}$  due au disque, que l'on ne peut cette fois pas calculer par les lois de Képler. Typiquement, on lit la valeur sur un graphique normalisé qui nous donne en fonction du rayon exprimé en unité  $r_d$  la vitesse de rotation due au disque pour une masse du disque donnée. Soit  $\Phi(r)$  le potentiel gravitationnel, la vitesse associée à ce potentiel vaut :

$$v^2 = -r \frac{d\Phi(r)}{dr} \quad (1.2)$$

Les potentiels étant additifs, on voit ici très bien que pour additionner plusieurs composantes de vitesses de rotation, on doit sommer leurs carrés :

$$v_{\text{rot}} = \sqrt{v_{\text{bulbe}}^2 + v_{\text{disque}}^2} \quad (1.3)$$

**Exemple :** Quelle est la vitesse circulaire d'une galaxie fictive, composée d'un bulbe ponctuel de  $2 \times 10^9 M_\odot$  et d'un disque exponentiel où  $I_0 = 200 L_\odot/\text{pc}^2$ , aux rayons  $r_d$ ,  $1,5r_d$ ,  $2r_d$  et  $3r_d$ ? On a  $M/L = 5$  et  $r_d = 3 \text{ kpc}$ .

Pour le bulbe, on peut utiliser la loi de Képler. On a

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

et

$$v = \frac{2\pi a}{T}$$

On obtient alors

$$v = \sqrt{\frac{GM}{a}} \quad (1.4)$$

Pour le disque exponentiel, on a une distribution de luminosité qui vaut

$$I(r) = I_0 e^{-r/r_d}$$

Donc la distribution en masse est simplement

$$\Sigma(r) = \Sigma_0 e^{-r/r_d}$$

où

$$\begin{aligned} \Sigma_0 &= M/L \times I_0 \\ &= 5 \times 200 = 1000 M_\odot \cdot \text{pc}^{-2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{tot}} &= \int_0^\infty 2\pi r \Sigma_0 e^{-r/r_d} dr \\ &= 2\pi r_d^2 \Sigma_0 \end{aligned}$$

La vitesse de normalisation de la courbe tabulée vaut alors :

$$\sqrt{\frac{GM}{r_d}} = 285 \text{ m.s}^{-1}$$

On trouve alors les vitesses

rayon vitesse	3 kpc	4,5 kpc	6 kpc	9 kpc
bulbe	54,4	44,5	38,5	31,4
disque	143	158,2	176,8	168,2
total	153	174	181	171

## 1.7 Décalage Doppler

On appelle décalage doppler ou redshift, la quantité

$$z = \frac{\lambda - \lambda_{\text{repos}}}{\lambda_{\text{repos}}} \quad (1.5)$$

**Remarque** : Par abus de langage, on appelle ça redshift. En effet, les raies sont décalées vers le rouge pour un objet qui s'éloigne. À cause de l'expansion de l'univers, quasiment tous les objets s'éloignent de nous (exceptés les plus proches pour lesquels le mouvement local est non négligeable devant le mouvement global).



Cette formule du redshift est un peu différente de la formule du décalage Doppler rigoureuse. Du moins il me semble, vu qu'à partir de la formule normale, je n'ai pas réussi à avoir celle-là.

## 1.8 Loi de Hubble

Cette loi relie la vitesse d'éloignement des galaxies à leur distance par rapport à nous. Ainsi, on peut connaître leur distance à partir de la mesure de leur redshift.

Pour des décalages petits ( $z \ll 1$ ) on a  $v = cz$  :

$$\begin{aligned} v &= H_0 d \\ cz &= H_0 d \end{aligned} \quad (1.6)$$

où  $H_0$  est la *constante de Hubble* (le 0 étant là pour indiquer que c'est la valeur actuelle).  $d$  est la distance en Mpc et  $z$  le redshift. La valeur actuelle de la constante de Hubble est de l'ordre de

$$H_0 \simeq (72 \pm 8) \text{ km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1} \quad (1.7)$$