

# Enoncé 2018-2019

## Introduction à l'astrophysique

Le 2 juillet 2019 – Durée: 3h (8h15 - 11h15)

### 1 Matière sombre et lumineuse dans les galaxies spirales (12 pts)

On se propose ici de comparer la masse totale d'une galaxie spirale à sa masse lumineuse. Pour cela, on utilise tout d'abord la courbe de rotation de la galaxie, qui donne la vitesse de rotation en fonction de la distance au centre de la galaxie.

1- Décrire brièvement ce qu'est une *galaxie spirale* et la *classification de Hubble* (1pt)

2- Comment en pratique mesurer une *courbe de rotation* ? En quoi l'inclinaison de la galaxie par rapport au plan du ciel affecte-t-elle la mesure (1pt) ?

3- Comment prédire théoriquement cette courbe de rotation depuis le centre des galaxies spirales jusqu'en leurs parties les plus externes ? Donner une expression pour le profil de vitesse,  $v(r)$ , en supposant que la densité volumique de la galaxie est constante, donc que  $\rho(r) = \rho$  (1pt).

4- On constate que contrairement aux prédictions faites ci-dessus, la vitesse de rotation est environ constante pour  $r > 20$  kpc. Calculer alors le profil de densité,  $\rho(r)$ , de la galaxie en utilisant l'équation de conservation de la masse (1pt)

$$\frac{dM}{dr} = 4\pi r^2 \rho(r) \quad (1)$$

5- Quelle est la masse totale de la galaxie *en masses Solaires* dans un rayon de  $r = 20$  kpc sachant qu'alors  $V = 150$  km/s ? On donne  $M_{\odot} = 2 \times 10^{30}$  kg et  $G = 6.67 \times 10^{-11}$  m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> s<sup>-2</sup> (1pt)

6- Pour estimer la masse lumineuse de la galaxie, il nous faut mesurer sa distance à la Terre. On utilise la méthode des chandelles standards, qui se fonde sur le module de distance. Ce dernier est la différence entre la magnitude apparente,  $m$ , d'un astre et sa magnitude absolue,  $M$ . Montrer que  $m - M = 5 \log(d) - 5$ , où  $d$  est la distance à l'astre exprimée en parsecs. On rappelle la définition des magnitudes:  $m = -2.5 \log(F)$ , où  $F$  est le flux lumineux reçu de l'astre à une distance  $d$ . (1pt)

7- On a la chance d'observer une supernova de type Ia dans cette galaxie. La magnitude au pic de luminosité de la supernova est  $M = -19.4$ . Au même moment, la magnitude observée est  $m = +11.6$ . En déduire la distance à la galaxie. Comment cette mesure serait affectée par la présence de poussière sur sa ligne de visée ? Pourquoi une supernova de type II ne peut-elle pas servir de chandelle standard (1pt) ?

8- On mesure pour cette même galaxie une brillance de surface *apparente* moyenne de  $\Sigma = 17 \text{ mag.kpc}^{-2}$  et la galaxie est vue sous forme d'une ellipse dont le grand axe est  $a = 20 \text{ kpc}$  et  $b = 15 \text{ kpc}$ . Montrer que la magnitude totale apparente de la galaxie est  $m = 9.6$ , puis déterminer sa magnitude totale absolue. Pour estimer la masse lumineuse de la galaxie, on suppose que toutes ses étoiles sont des étoiles de type Solaire dont la magnitude absolue est  $M(\text{Soleil}) = +5$ . En déduire la masse lumineuse de la galaxie en masses Solaires et donner le rapport entre la masse totale et la masse lumineuse. (2pt)

9- Pour mesurer la masse totale de la galaxie, on aurait pu aussi utiliser la vitesse de ses amas globulaires. Ceux-ci se meuvent autour de la galaxie sur des orbites planes distribuées de manière aléatoire et ont une distribution des vitesses dont la dispersion est  $\sigma$ . Utiliser le théorème du Viriel ( $\langle K \rangle = -1/2 \langle U \rangle$ ) pour établir que la masse totale dans un rayon  $R$  est (2pt):

$$M(< R) = \frac{5R}{3G} \sigma^2 \quad (2)$$

On supposera que tous les amas globulaires ont une masse  $m$  identique et on donne l'énergie potentielle d'une sphère:

$$U = -\frac{3}{5} \frac{GM^2}{R} \quad (3)$$

10- En pratique, on ne mesure par effet Doppler que la composante radiale,  $\sigma_r$ , de la dispersion des vitesses. En considérant que les vitesses des amas globulaires ont une distribution isotrope, récrire l'expression (1) en fonction de  $\sigma_r$ . (1pt)

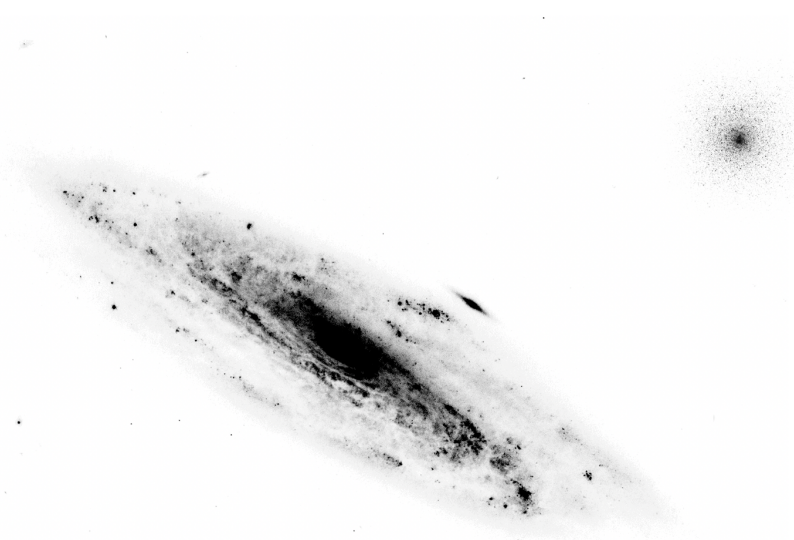
## 2 Questions en images (8 pts)

A - (2 pt) Ceci est l'image de la zone autour du trou noir central dans la galaxie Messier 87. A quoi correspond la zone noire au centre ? Dérivée de façon simple une expression pour son rayon. Expliquer brièvement comment a été obtenue cette image.

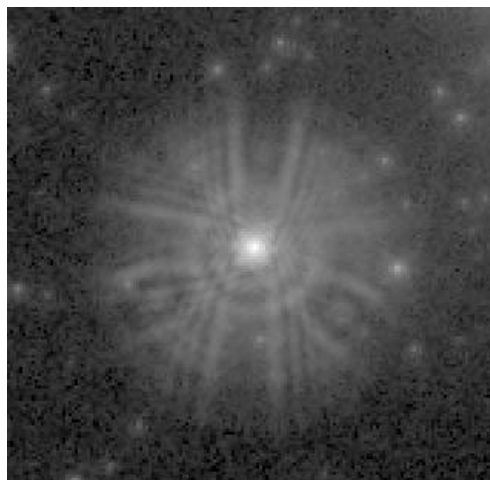


**B - (2 pt)** On considère une galaxie spirale de masse  $M$  ainsi qu'un amas globulaire en orbite autour de celle-ci, à une distance  $d$  du centre de la galaxie. L'amas, de rayon  $R$ , est montré ici agrandi par rapport à sa taille originale.

1. Dessiner les forces de marée qu'exerce la galaxie sur l'amas globulaire. Pourquoi ces forces de marée sont aussi appelées "forces différentielle" ?
2. Dériver l'expression pour le module de la force de marée en négligeant le mouvement de révolution de l'amas autour de la galaxie. On pourra aussi supposer que  $R \ll d$
3. Quelle est l'effet des forces de marée sur les étoiles de l'amas lorsque celui-ci orbite la galaxie ? Dessiner sur la figure. On pensera à la troisième loi de Kepler.

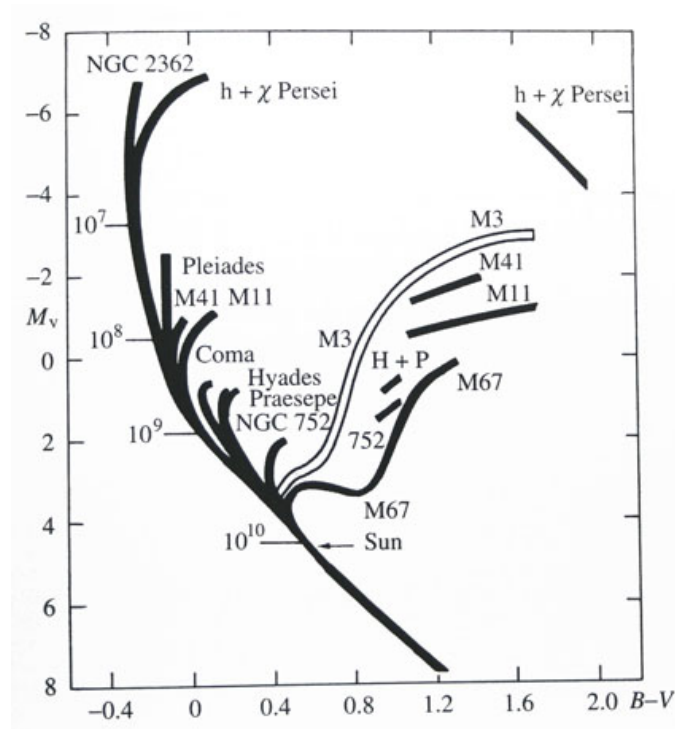


**C - (1 pt)** Ceci est l'image d'une étoile prise par le télescope spatial Hubble, donc hors de l'atmosphère Terrestre. Pourquoi l'image de l'étoile n'est-elle pas une fonction de Dirac, c'est-à-dire parfaitement ponctuelle ? Si l'étoile était observée avec un télescope de plus grand diamètre, la tache observée serait elle plus grande ou plus petite ? Pourquoi ?



**D - (3 pt)** Le diagramme ci-dessous est dit "couleur-magnitude".

1. Décrire ce que représentent les axes et les grandeurs physiques qu'il représentent.
2. Les séquences montrées ici correspondent des amas d'étoiles dans notre Galaxie. On note le long de la séquence correspondant à NGC2362, les chiffres  $10^7$ ,  $10^8$ ,...  $10^{10}$ . De quoi s'agit t'il ? Justifier.
3. Décrire ce qui se passe au sein des étoiles qui se trouvent sur une séquence comme celle de NGC2362 ? sur celle de M3 ?
4. On montre la position du Soleil dans le diagramme. Comment sa position serait affectée par de la poussière sur la ligne de visée? On pourra dessiner un vecteur sur la figure (ne pas chercher à calculer sa norme).



3 Question bonus — 5-10 lignes max (1 pt)

Pourquoi le ciel est-il bleu le jour ? Pourquoi le coucher de Soleil est-il rouge ?