

PHYS 131

Initiation à l'Astrophysique

H. Dole, E. Habart, E. Ducrot

Séances S4

Evaluation de la note finale :

30% CC (notes rendues la semaine prochaine)+ 30% Partiel + 40% Examen

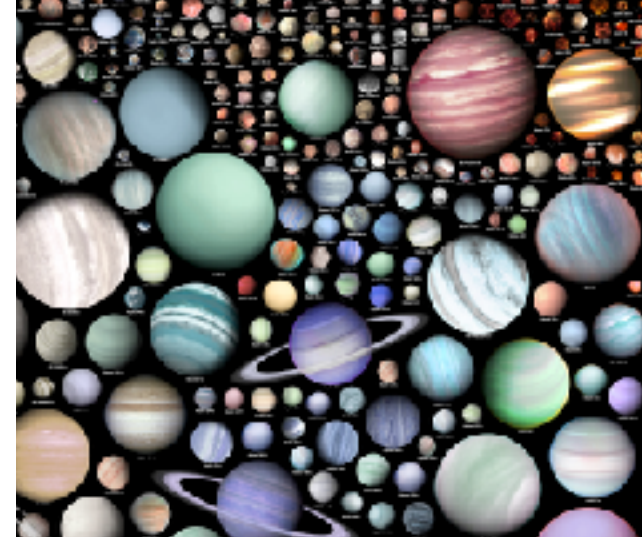
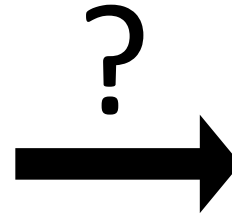
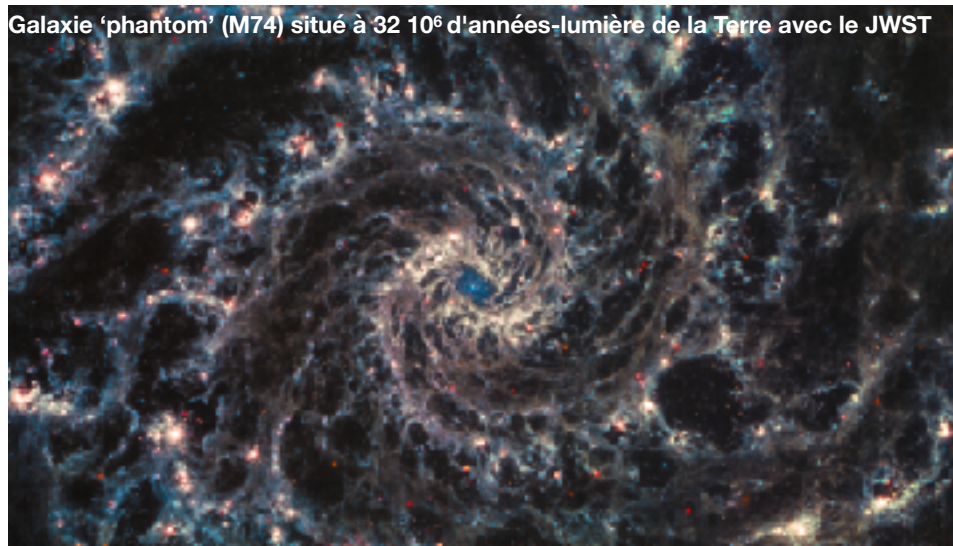
Partiel : 26/10 à 13H45-14H45 Salle d'examen 337-salle2

4 cours :

**Notre Galaxie,
le milieu interstellaire,
et la naissance des étoiles
et des planètes**

Comment en sommes-nous arrivés là ?

« Décrypter la naissance des étoiles et des planètes » (NASA)

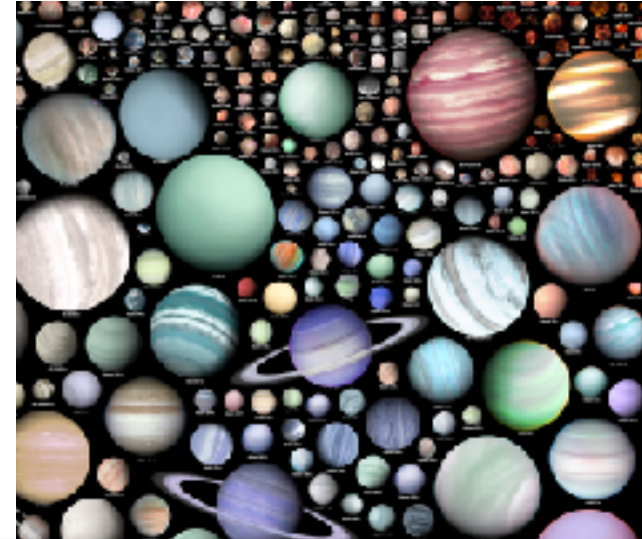
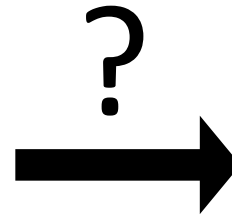
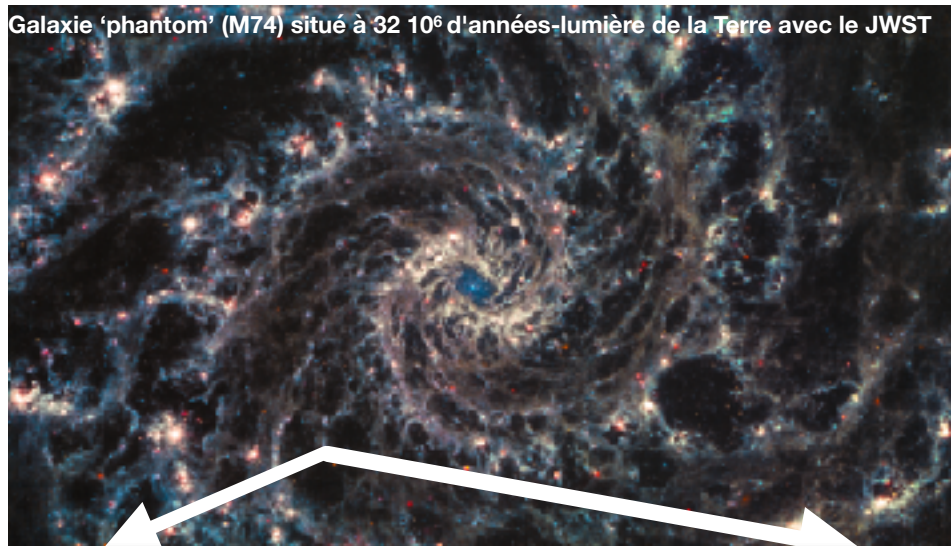


Quelles sont les étapes intermédiaires ?

Comment passer des grandes structures (à l'échelle des galaxies) aux étoiles et planètes ?

Comment en sommes-nous arrivés là ?

« Décrypter la naissance des étoiles et des planètes » (NASA)



Grandes questions actuelles de l'astrophysique moderne:

- ◇ Comment, dans les immenses espaces interstellaires quasi-vides de notre Galaxie, les étoiles se forment-elles ?
- ◇ Quelles sont les conditions favorables à la formation des étoiles dans notre Galaxie et les galaxies plus lointaines?
- ◇ Comment, autour des jeunes étoiles, les planètes se forment-elles ? En combien de temps ?
- ◇ Comment expliquer la diversité des exo-planètes ?

Notre Galaxie, naissance des étoiles et des planètes

- ① **Voyage dans notre Galaxie**
sa morphologie, dynamique, composition
- ② **Formation des étoiles dans le milieu interstellaire**
les conditions initiales de l'effondrement gravitationnel
- ③ **Histoire d'un système planétaire**
le passage d'une proto-étoile à notre système solaire

Déroulement de la séance:

✓ Cours

[ecampus](#)

✓ TD1

[ecampus](#)

→ à finir pour la prochaine séance

✓ Questionnaire

www.wooclap.com

→ début de la prochaine séance

- 1) Nombre d'étoiles dans notre Galaxie ?
- 2) Forme de notre Galaxie ? Masse de notre Galaxie ?
- 3) Taille de notre Galaxie par rapport à la taille de notre Système Solaire ?
- 4) Toutes les étoiles sont elles en mouvement dans notre Galaxie ?
- 5) Vitesse du Soleil par rapport au centre de notre Galaxie ?
- 6) Supposons un observateur très éloigné de nous au centre de la Galaxie. A quel stade observerait-il la race humaine ?
- 7) Distance du système planétaire le + proche de nous ?
- 8) Temps pour lui envoyer et recevoir un signal radio en sa provenance ?
- 9) Temps pour que la sonde voyager atteigne ce système planétaire?

Voyage en partant de la Terre pour arriver à la Voie lactée...



Credit: Ettore, Nilson, Heiler (NASA/GSFC/NOAA/JRGS)

Vue de la *Voie Lactée* depuis Mangaia (Iles Cook, Océan Pacifique)



Credit & Copyright: Ture Tozel (TWAN)

Notre planète: la Terre

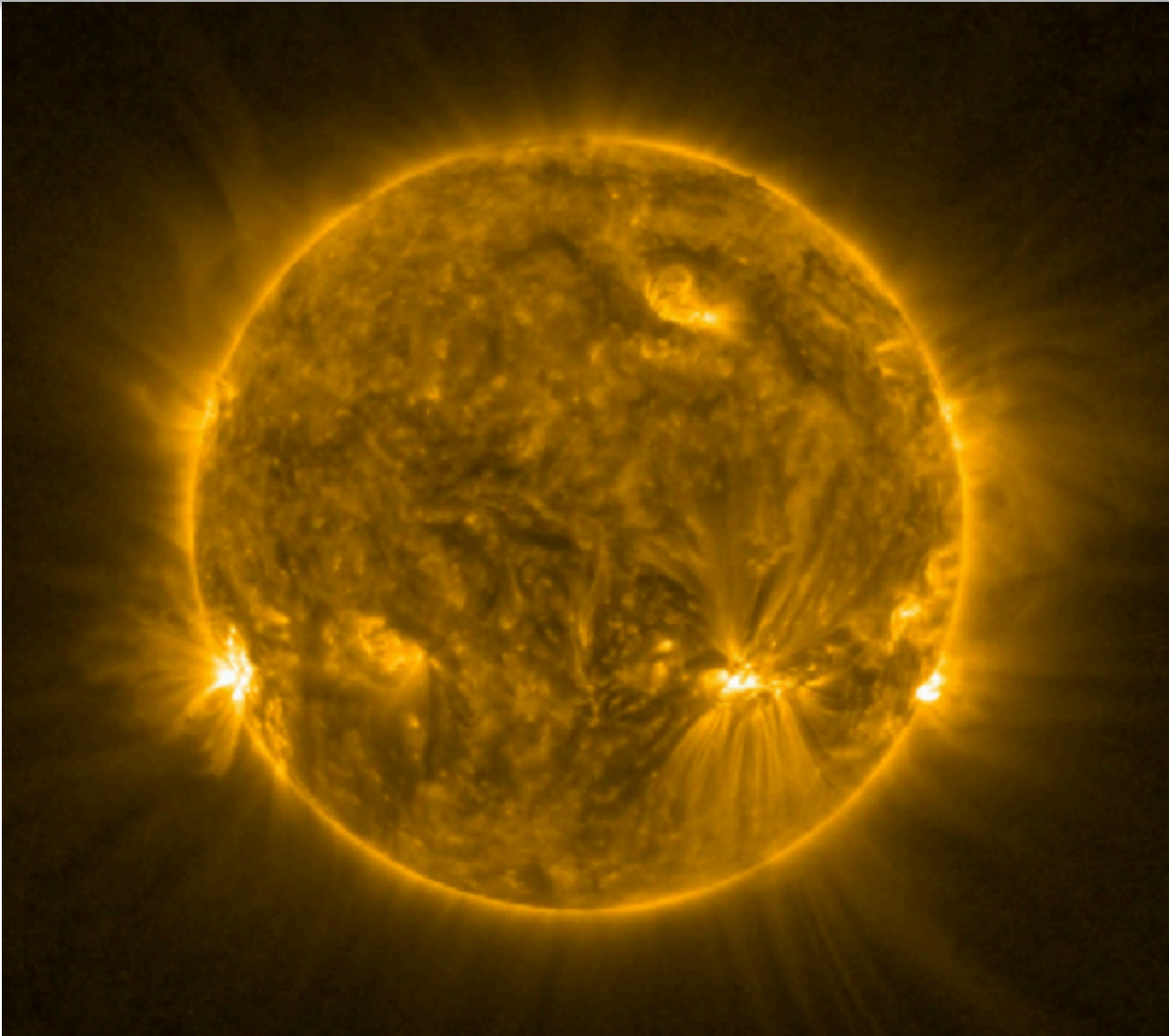


Diamètre de la Terre
 $\approx 13\,000\text{ km}$

Vitesse de la Terre
autour du soleil
 $\approx 30\text{ km s}^{-1}$
($100\,000\text{ km h}^{-1}$)

Credit: Stockli, Nelson, Hasler (NASA/GSFC/NOAA/USGS)

Notre étoile: le Soleil



Terre



Diamètre de la Terre
 $\approx 13\,000\text{ km}$

Diamètre du Soleil
 $\approx 1\,400\,000\text{ km}$

Distance Terre-Soleil
 $\approx 150\,000\,000\text{ km}$
 $= 1\text{ UA}$

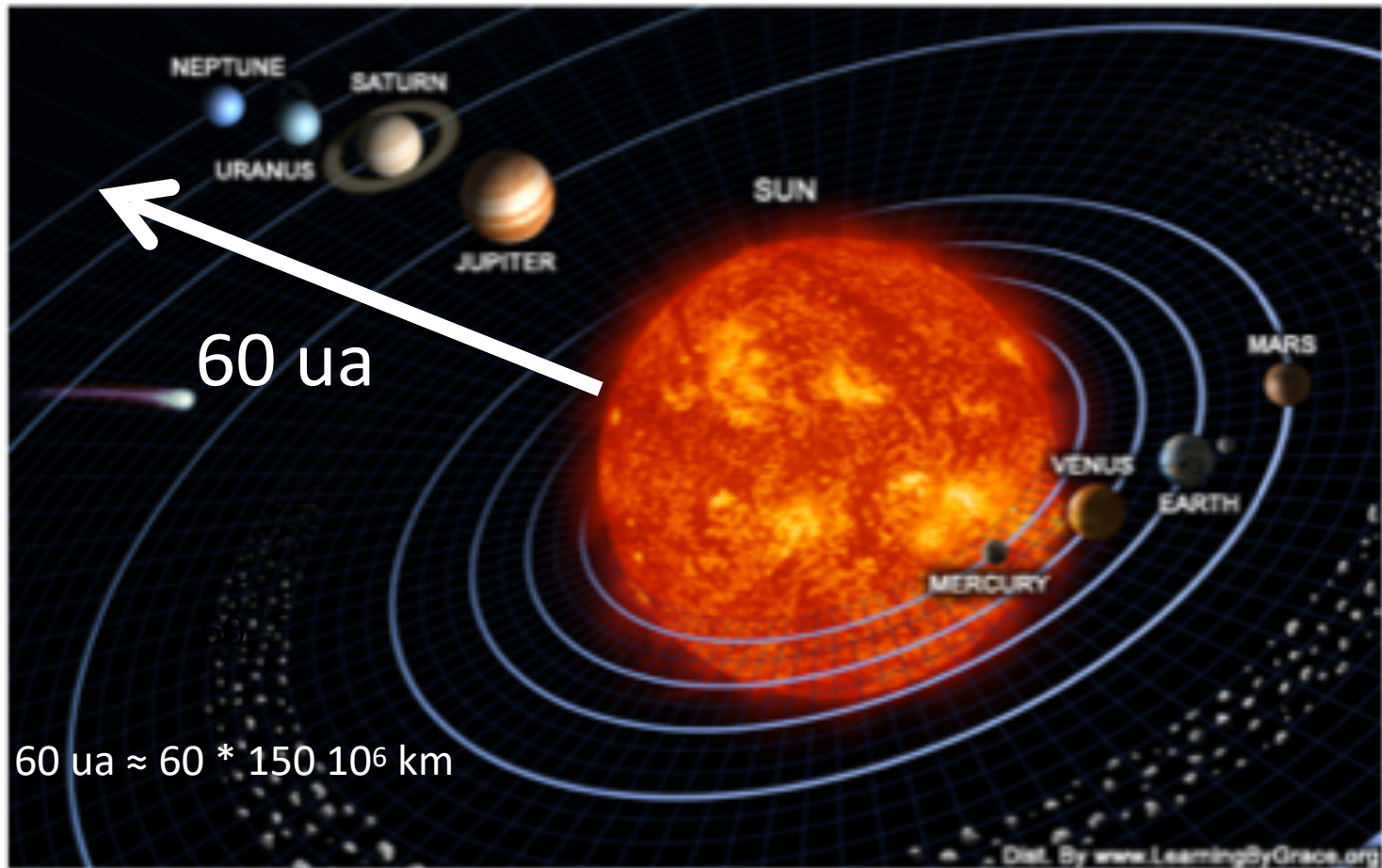
x100

x100

UA = Unité Astronomique

Combien de temps les photons émis par la surface du Soleil mettent-ils pour arriver sur la Terre? **~8 minutes à la vitesse de la lumière**

Le système solaire



Combien de temps les photons émis par la surface du Soleil mettent-ils pour traverser notre système solaire ? 60 fois plus que pour arriver jusque la Terre... **8 heures lumière**

Les étoiles les plus proches du Soleil



Etoile la plus proche:

Alpha du Centaure

$\approx 40\,000\,10^9$ km

$\approx 300\,000$ ua

$\approx 5000 \times 60$ ua

Combien de temps les photons émis par la surface du Soleil mettent-ils pour arriver jusque l'étoile la plus proche ? **~ 4 années lumière**

(al = année-lumière = distance parcourue par la lumière en 1 année)

Notions de base à connaître

Unité des distances ou de longueurs des objet/systèmes

- unité astronomique = distance terre-soleil

1 ua $\sim 1,5 \cdot 10^{11}$ m ~ 150 millions de km

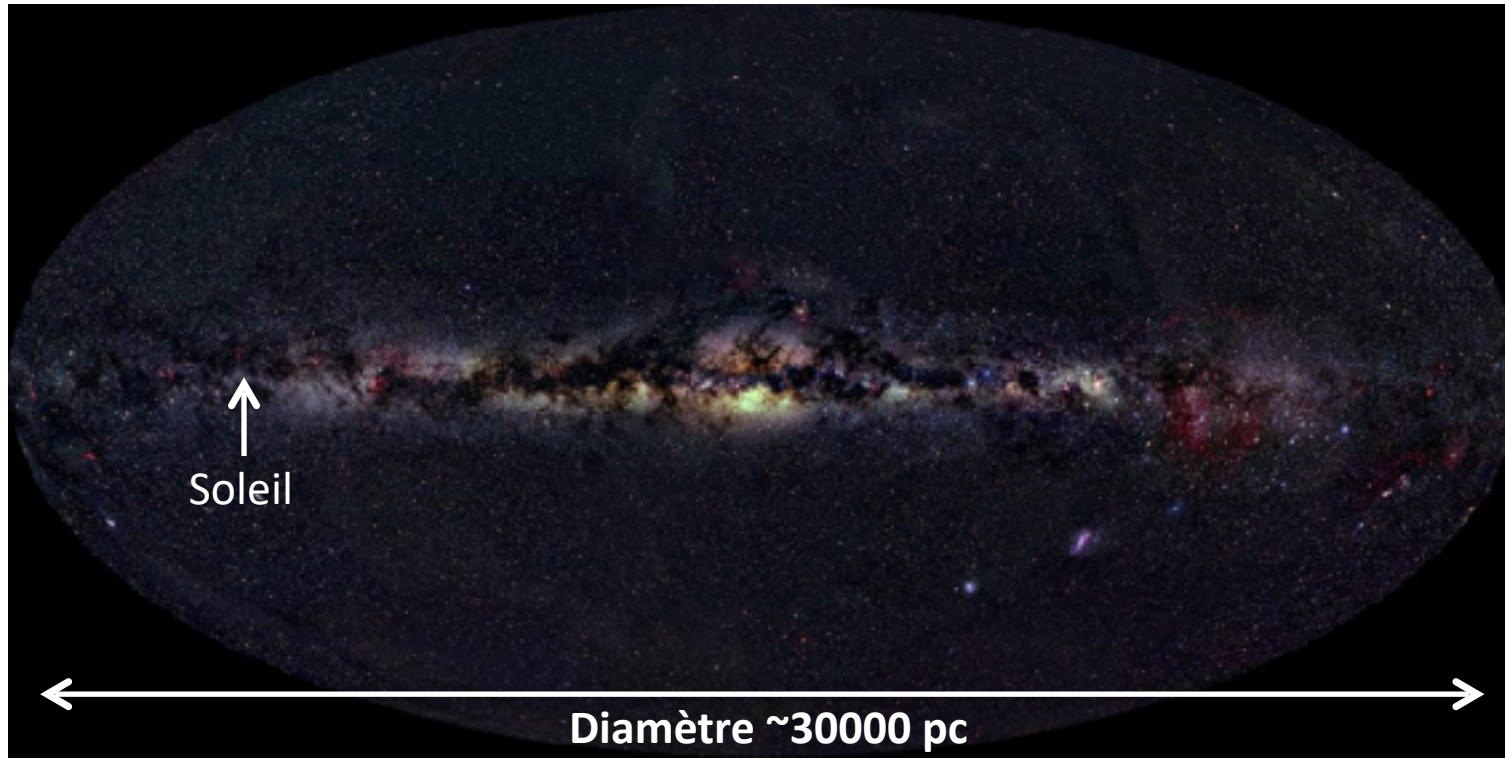
- **parsec** = **distance** à laquelle **1 ua** se voit sous un angle de **1 arcsec** = $1'' = 1^\circ/60/60$

1 pc $\sim 3 \cdot 10^{16}$ m $\sim 2 \cdot 10^5$ ua ~ 3.3 al

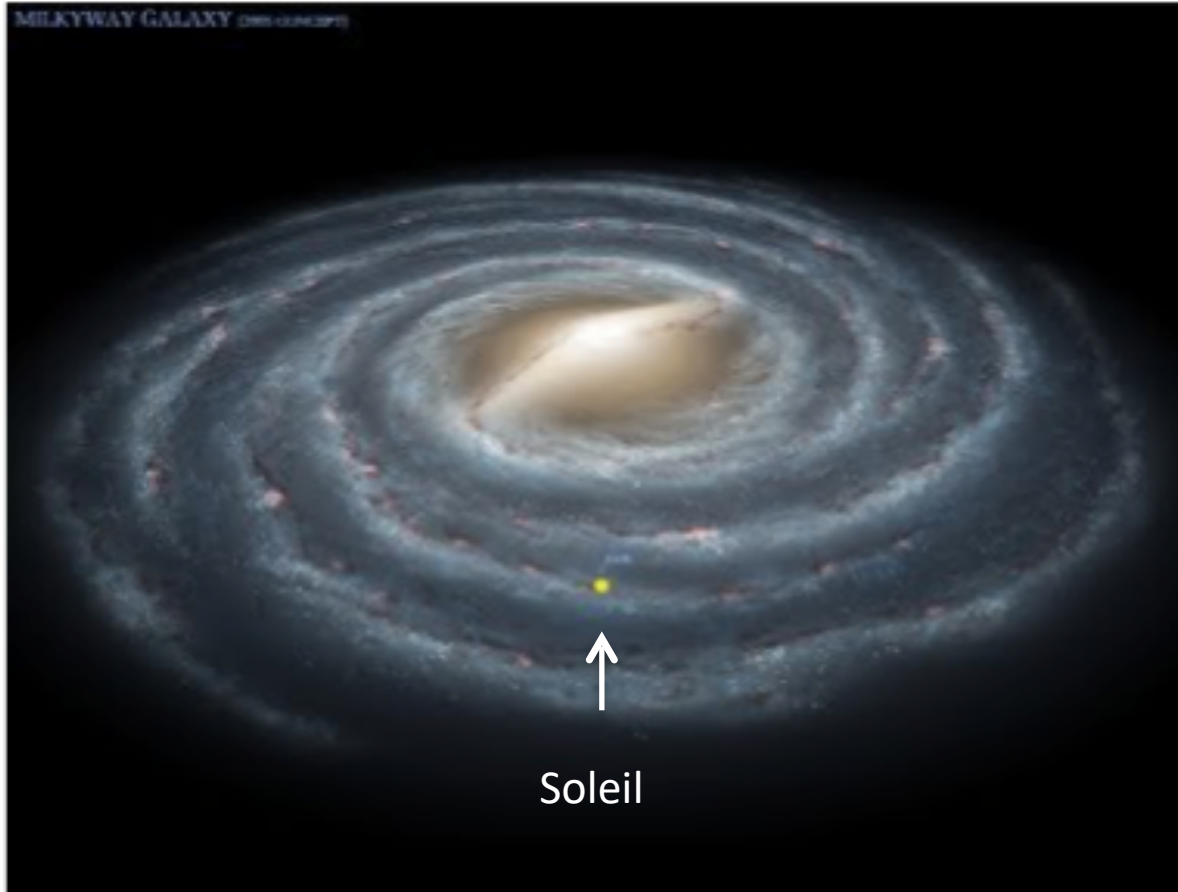


L'étoile la plus proche de notre système solaire se trouve à 4 al soit 1,2 pc

Distance du Soleil au centre de notre Galaxie



- Le **Soleil** se trouve à **8 500 pc** du centre de notre Galaxie, soit $2/3$ de la distance du centre



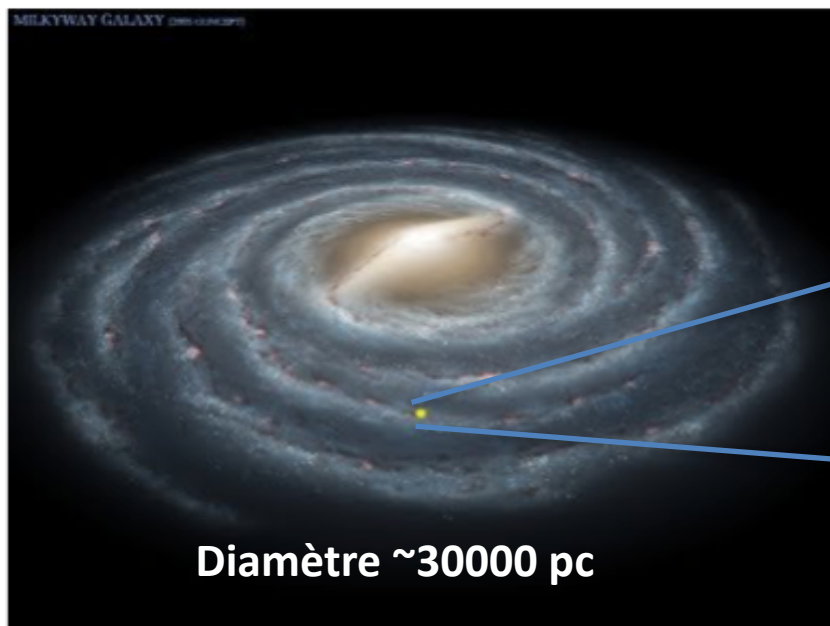
- Le **Soleil** se trouve **dans le plan central du disque de notre Galaxie composé de plein d'étoiles**

Le disque de notre Galaxie nous apparaît donc comme une bande blanche dans le ciel, due à un embouteillage d'étoiles, qu'on nomme la « Voie lactée »

Distance du Soleil au centre de notre Galaxie



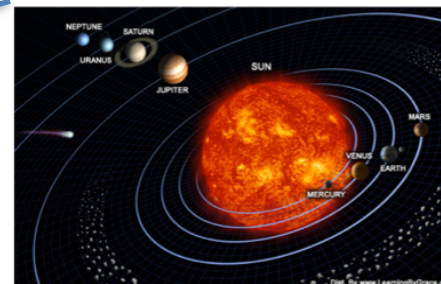
- Le terme « Voie lactée » a émergé dans l'Antiquité classique
- Galilée, en observant la voie lactée en 1610, découvre avec son télescope que la lumière provenant de la « Voie lactée » est émise par plein d'étoiles.
- Au siècle suivant, Emmanuel Kant a compris que la « Voie lactée » est en fait une immense galette d'étoiles et que la Terre est à l'intérieur de cette galette!



Diamètre ~30000 pc

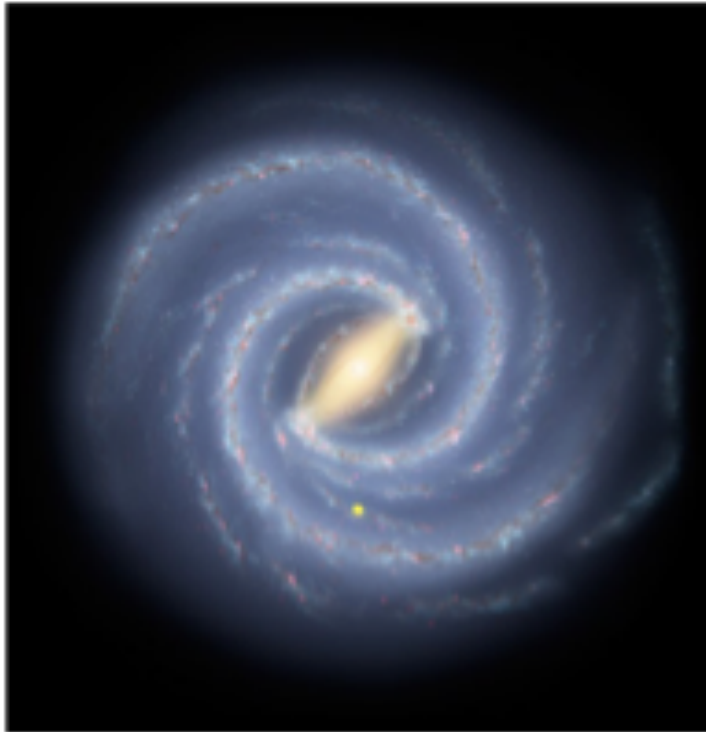
Analogie terrestre

Le système solaire

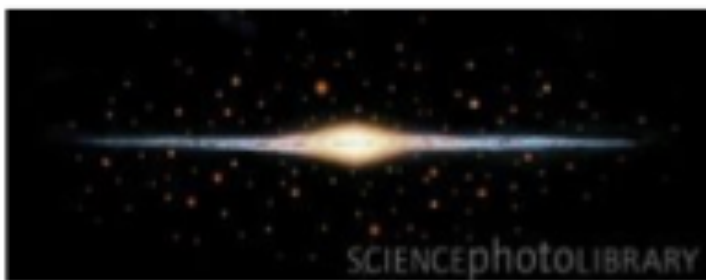


Si notre Galaxie = taille de la France,
le Système solaire = 1 pièce de 1 euro

Structure générale



Credit: Robert Hurt (NASA/JPL-Caltech)



Credit: David Hardy (Science Photo Library)

Disque

- Forme d'un DVD

- Diamètre $\sim 30\,000$ pc

- Épaisseur ~ 300 pc



- Structure *spirale*

Bulbe

- Forme allongée d'une *barre*

- Longueur $\sim 7\,000$ pc

- Trou noir super-massif au centre
(masse $\sim 10^6$ Msol)

Halo

- Forme sphéroïdale

- Diamètre $> 100\,000$ pc

- Amas globulaires (=concentration sphéroïdale de vieilles étoiles)

Etoiles

- ~ 200 000 000 000 étoiles ~ $2 \cdot 10^{11}$ étoiles
- ~ 10 – 20% de la masse totale
- Émettent de la lumière visible à l'oeil humain
- Se concentrent dans le disque & le bulbe



Notre galaxie est en constante évolution avec des millions d'étoiles qui naissent (dans les bras spiraux) et qui meurent...

Milieu interstellaire

- ~ 10% de la masse des étoiles
- Absorbe et diffuse la lumière des étoiles
Emet de la lumière à toutes les longueurs d'onde
- Se concentre dans le disque

La composition donnée ici est la composition actuelle de notre Galaxie

Matière noire

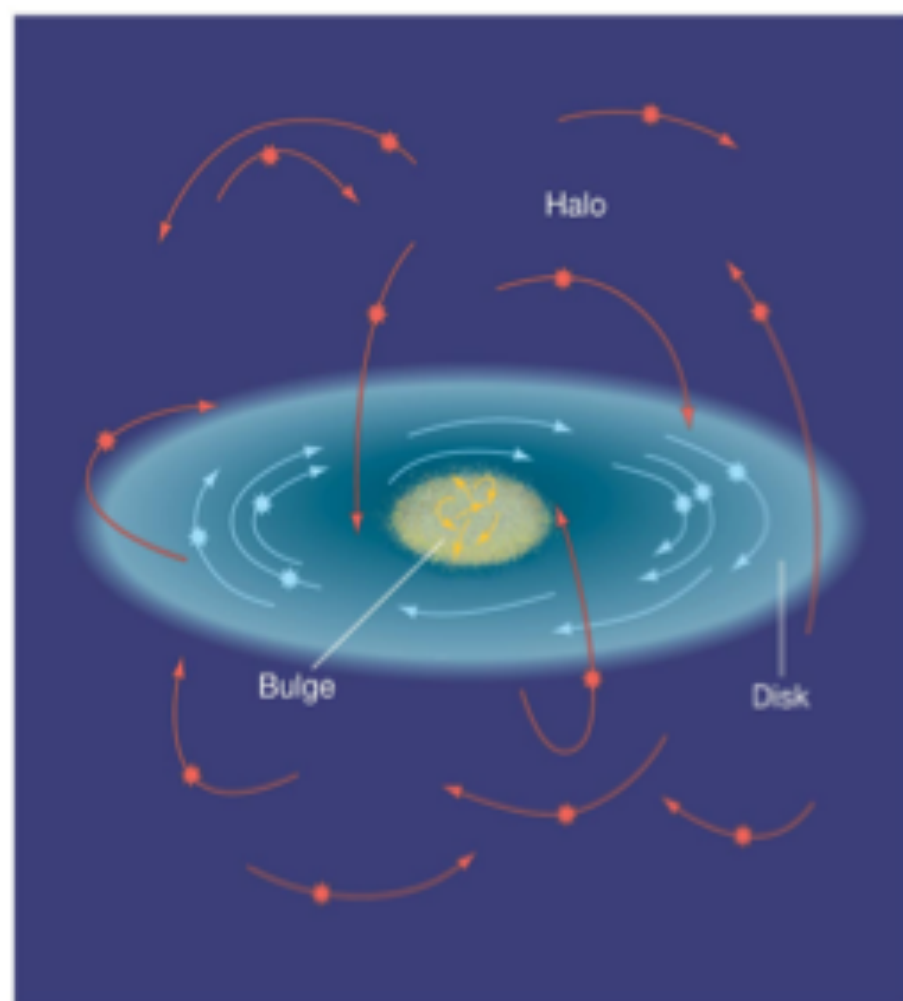
- ~ 80 – 90% de la masse totale
- N'émet aucune lumière
Délectable seulement par effet gravitationnel
- Se trouve surtout dans le halo



Masse : $M_{\text{Galaxie}} = M_{\text{non visible}} (90\%) + M_{\text{visible}} (10\%)$ avec $M_{\text{visible}} = M_{\text{étoiles}} (90\%) + M_{\text{MIS}} (10\%)$

Mouvements des étoiles

Toutes les étoiles *tournent* autour du centre de la Galaxie



Disque

Orbites *circulaires* dans le plan

Bulbe

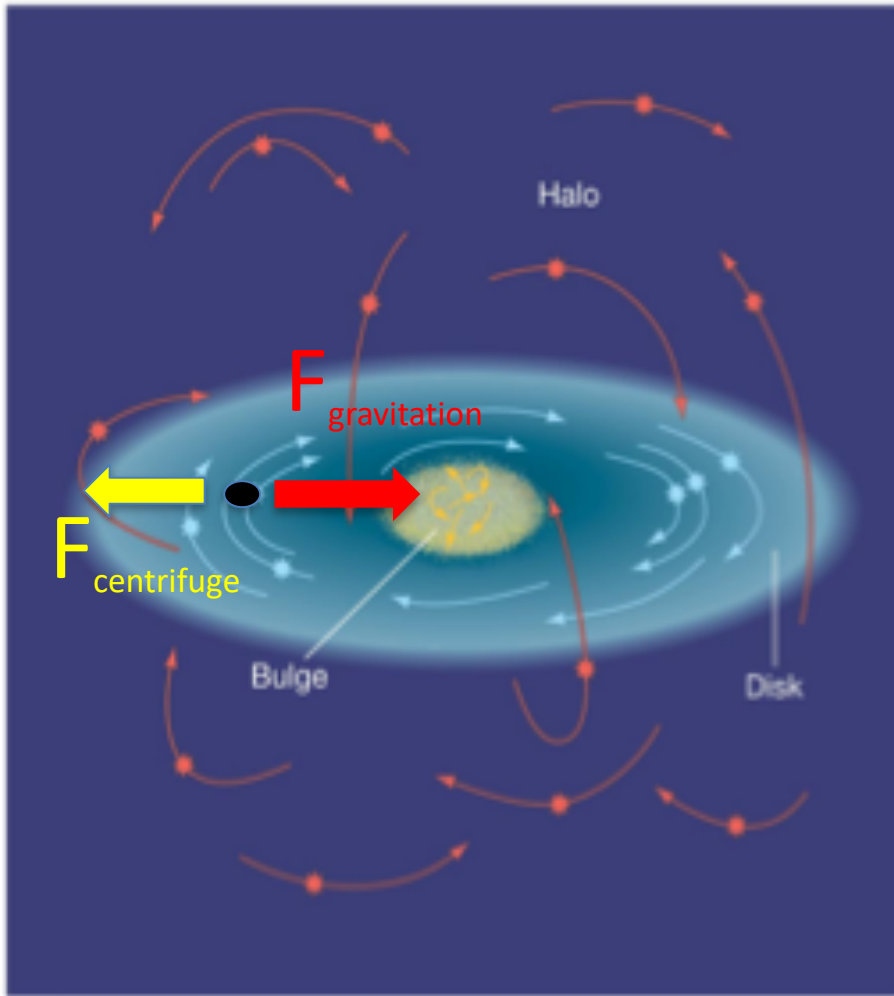
Orbites *allongées* dans le plan

Halo

Orbites *aléatoires* hors du plan

Mouvements des étoiles

Toutes les étoiles *tournent* autour du centre de la Galaxie



Orbite circulaire dans le plan du disque

- Force centripète = $F_{\text{gravitation}}$

dirigée vers le centre galactique
(masse concentrée dans le centre galactique)

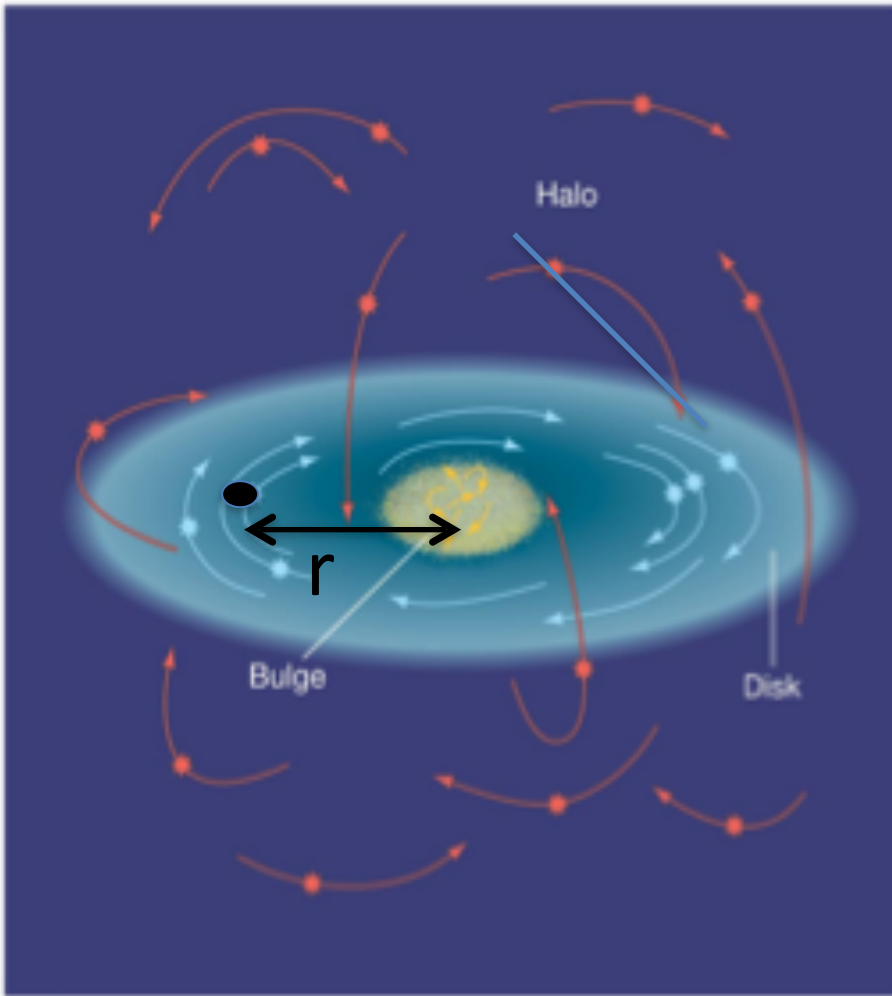
- Force centrifuge = $F_{\text{centrifuge}}$

dirigée vers l'extérieur \perp à la vitesse de rotation.

Les mouvements de rotation empêchent les étoiles de se concentrer dans le centre galactique.

Mouvements des étoiles

Toutes les étoiles *tournent*
autour du centre de la Galaxie



Considérons **1 étoile**
de masse m
située à la **distance r** du
centre galactique.

Le **principe fondamental de**
la dynamique s'écrit:

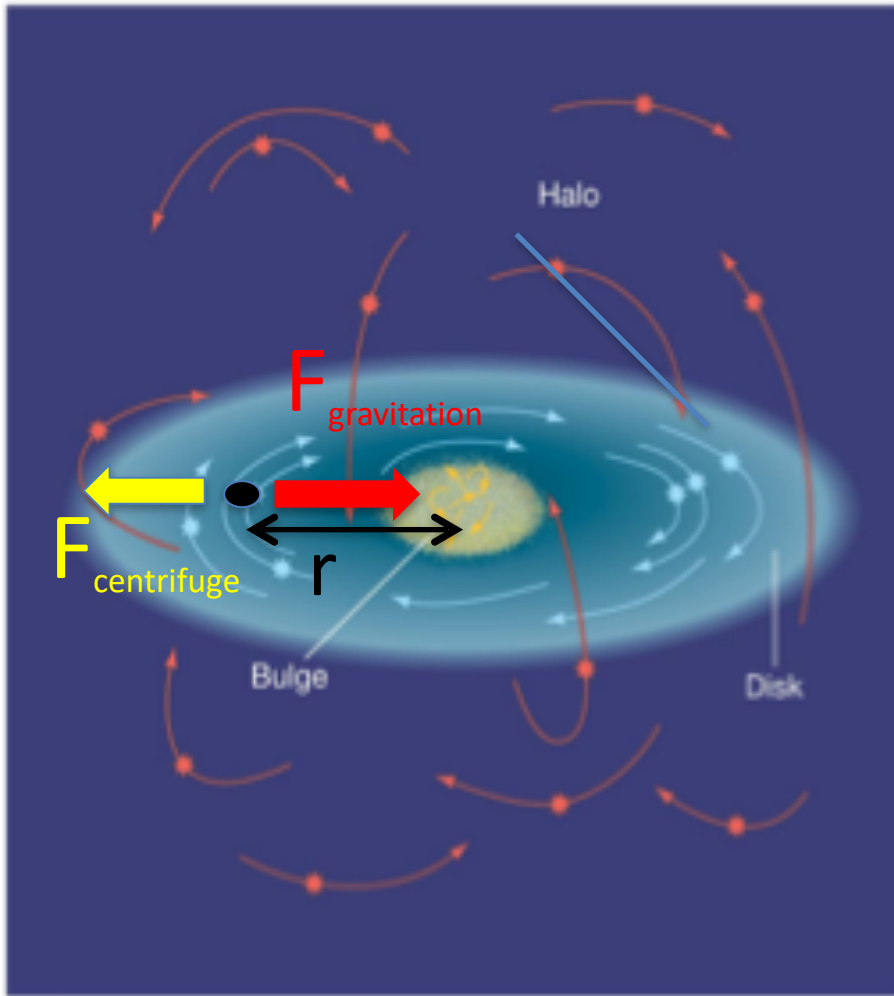
$$ma = F$$

Avec $a =$ accélération

$$F = \text{Force} = F_{\text{gravitation}}$$

Mouvements des étoiles

Toutes les étoiles *tournent*
autour du centre de la Galaxie



$$F_{\text{gravitation}} = G \frac{mM}{r^2}$$

Avec

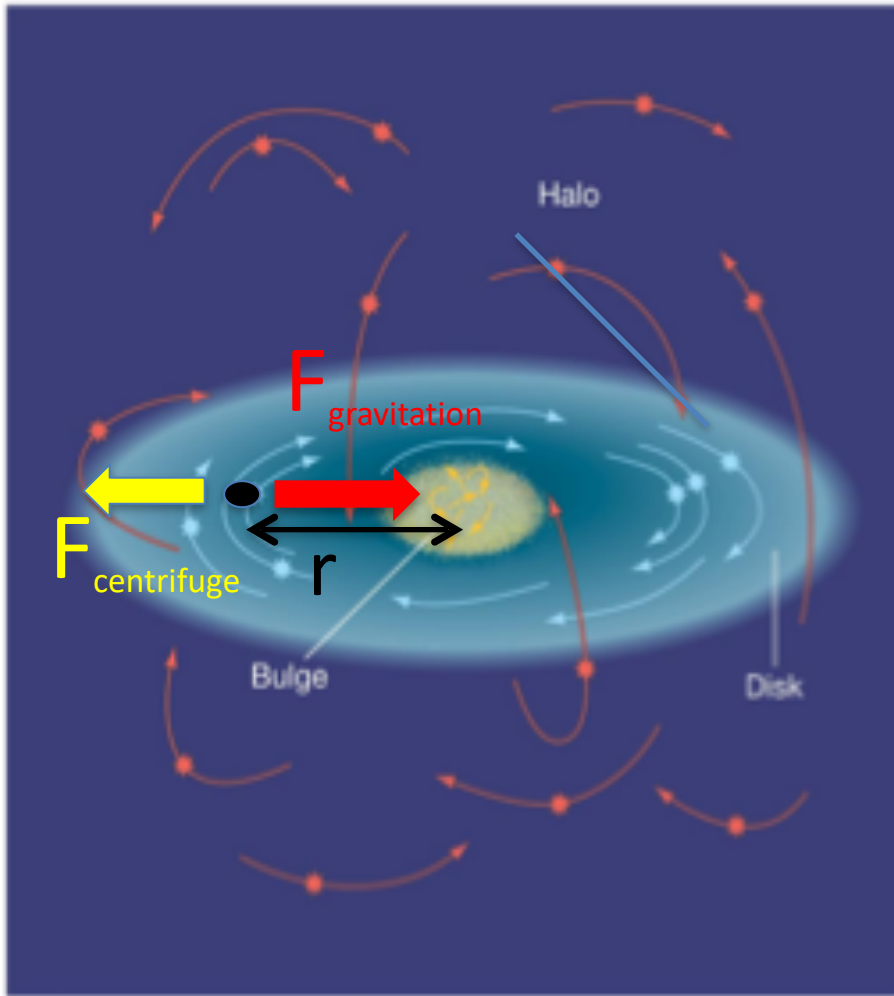
r = distance de l'étoile au centre galactique

m = masse de l'étoile

M = masse de la galaxie dans un rayon $< r$

Mouvements des étoiles

Toutes les étoiles *tournent*
autour du centre de la Galaxie



Pour une orbite circulaire
uniforme

$$a = V^2/r$$

Avec

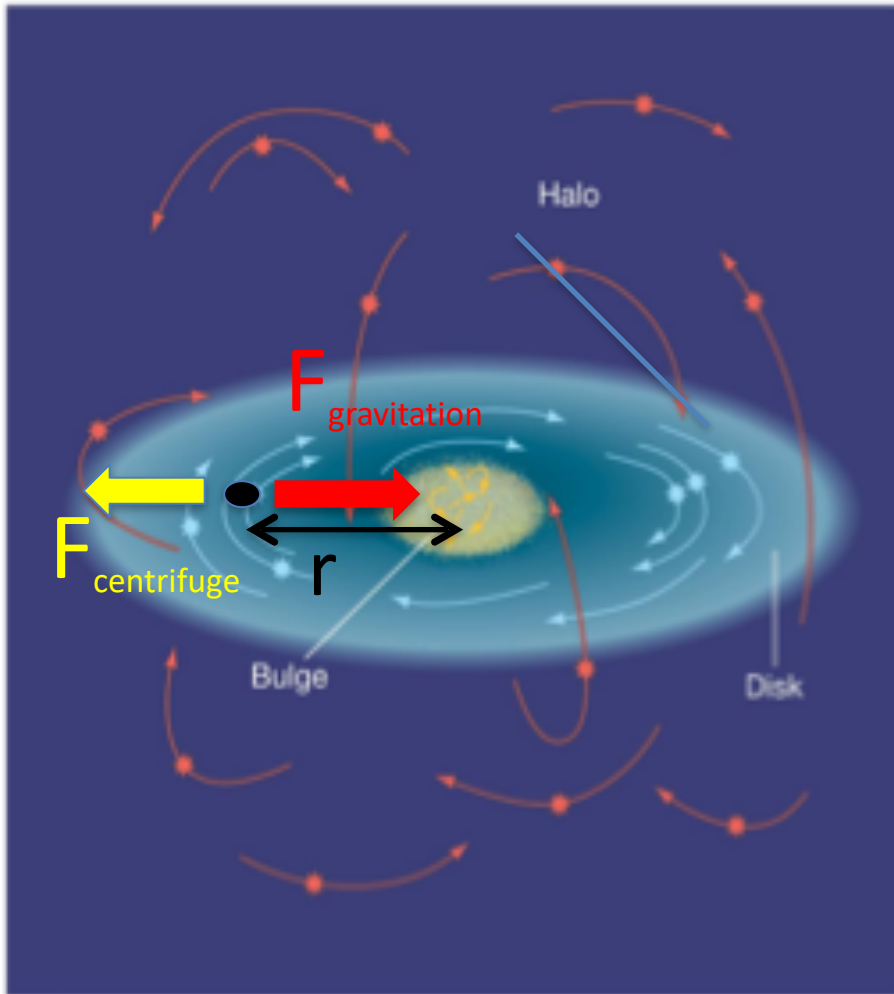
V = vitesse de l'étoile

*r = distance de l'étoile au
centre galactique*

m = masse de l'étoile

Mouvements des étoiles

Toutes les étoiles *tournent* autour du centre de la Galaxie



$$ma = F$$

$$\Leftrightarrow mV^2/r = GmM/r^2$$

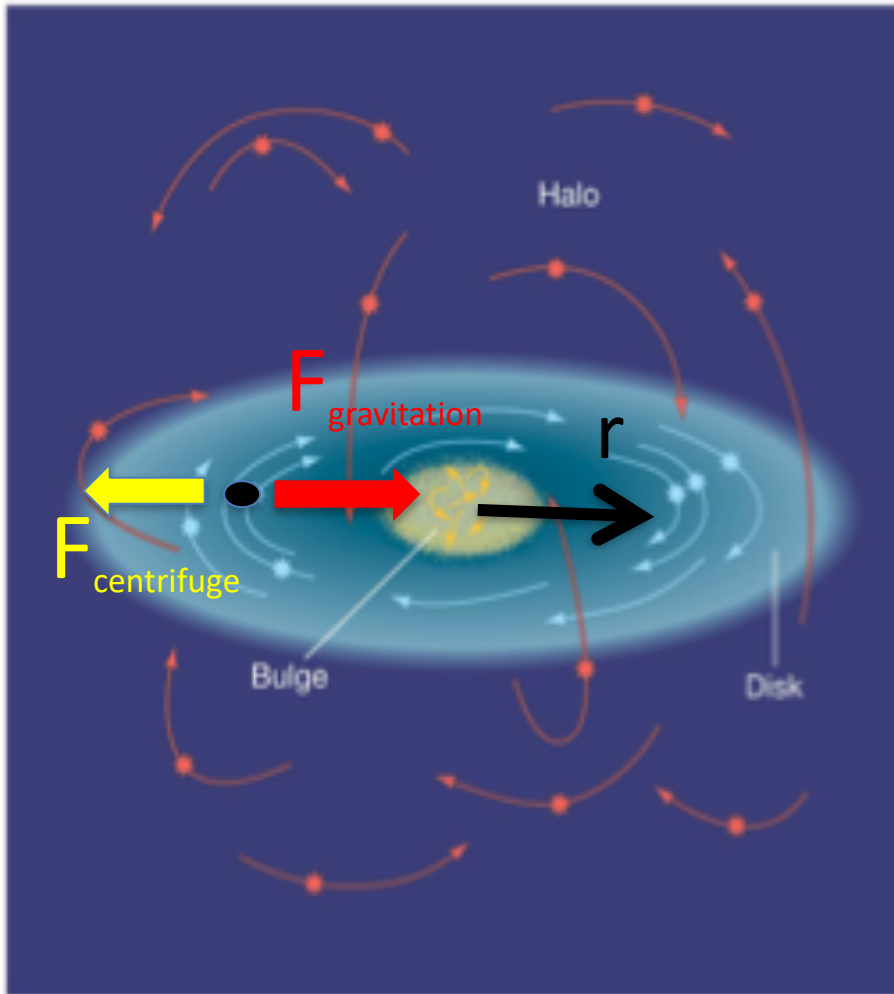
$$\Leftrightarrow V = (GM/r)^{0.5}$$

les étoiles plus proches du centre tournent plus vite
=> Rotation différentielle

(Rotation différentielle évite d'être happé par le trou noir : plus on est proche, plus on doit aller vite)

Mouvements des étoiles

Toutes les étoiles *tournent* autour du centre de la Galaxie



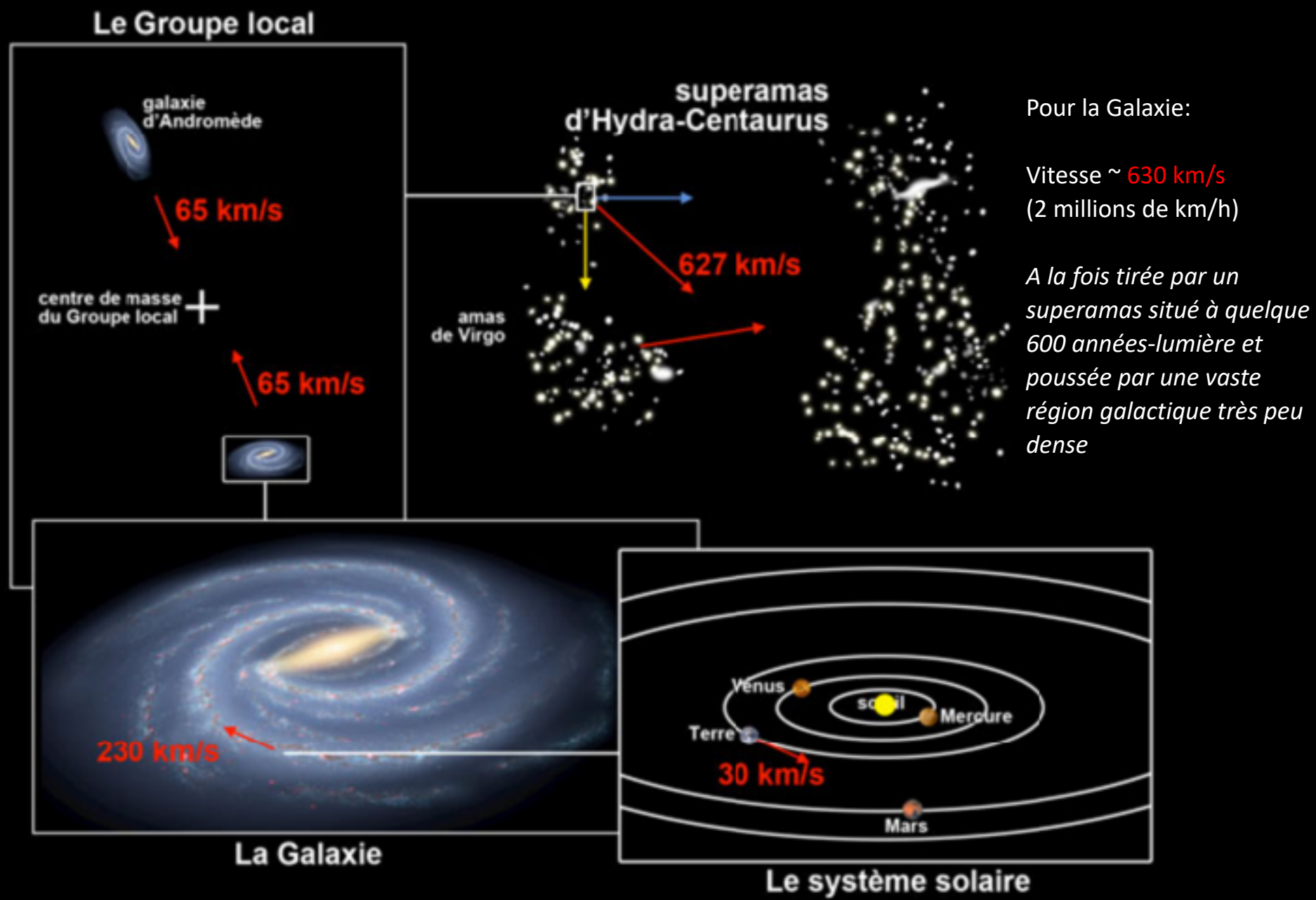
Pour le Soleil :

- Distance du centre Galactique $r = 8500$ pc
- Vitesse 220 km s^{-1} ($\sim 800,000 \text{ km h}^{-1}$)



Malgré cette vitesse, le Soleil est quasi-immobile dans la Voie lactée..

Bilan: nos mouvements



Pour la Galaxie:

Vitesse ~ 630 km/s
(2 millions de km/h)

A la fois tirée par un superamas situé à quelque 600 années-lumière et poussée par une vaste région galactique très peu dense

Application : TD1

1. Mouvement du Soleil dans notre Galaxie

- Calculer le nombre de tours que le Soleil a fait autour de notre Galaxie depuis sa naissance, ainsi que depuis que l'homme existe

2. Courbe de rotation de notre Galaxie

- Tracer la vitesse attendue d'une étoile en fonction de sa distance au centre galactique
- Comparer avec les observations
- Qu'en concluez-vous ?

3. Exploration spatial dans notre Galaxie

