



La Voie Lactée et ses galaxies satellites

La Voie Lactée : une galaxie parmi les centaines de milliards de galaxies qui peuplent l'univers observable...



1 - La Voie Lactée

Image recomposée, 1200 photos

À voir : <http://www.sergebrunier.com/gallerie/pleinciel/>



Observation

- par une nuit sans Lune sans pollution lumineuse
 - le plus vaste objet du ciel nocturne (traverse tout le ciel)
 - longue traînée blanchâtre
 - très grand nombre d'étoiles, leurs lumières se superposent pour donner cette allure blanchâtre.
 - Des zones sombres
 - Toutes les étoiles que nous apercevons à l'oeil nu font partie de la Voie Lactée.



Voie Lactée au Restefond,
21 Aout 2017 (© Hugues)



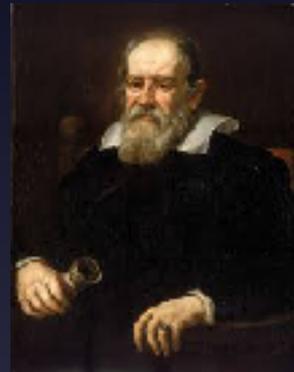
Petit historique

Jusqu'au XVII^{ème} siècle

960 : Abd al-Rahman al-Sufi (Ispahan) : première mention d'Andromède ?

1519 : Magellan mentionne les nuages (de Magellan)

1610 : Galilée ⇨ la Voie Lactée peut être résolue en étoiles



XVIII^{ème} siècle

~1750 : des hypothèses voisines

Wright : astronomie ⇔ théologie ⇨ Centres Sacrés

Kant : « univers-îles »

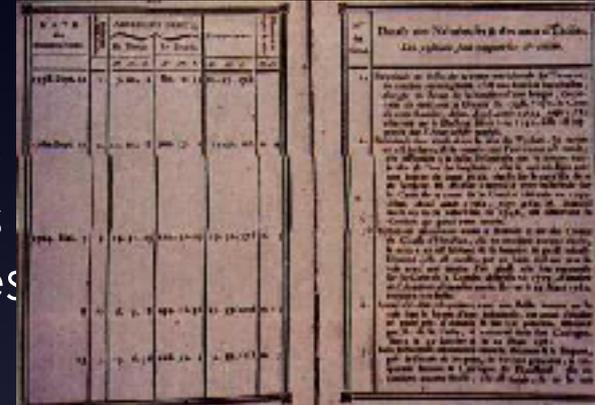
En décrivant d'autres Voies Lactées possibles, Emmanuel Kant explique que leur « figure sera circulaire si [leurs] surface[s] se présent[ent] directement à l'œil, et elliptique si [elles sont] vu[es] de côté ». (Emmanuel Kant, Histoire générale de la nature et théorie du ciel)



Petit historique

XVIII^{ème} siècle (suite)

Vers 1771 : Charles Messier \Rightarrow 1^{er} catalogue d'objets diffus, baptisés "nébuleuses", objets de divers types, propriétés/nature inconnues



~ même époque, John et Caroline Herschel : construction de lunettes astronomiques, puis des télescopes.

Herschel : comptage des étoiles dans tout le ciel \Rightarrow distribution de ces étoiles (qui appartiennent toutes à notre Galaxie, la Voie Lactée) de forme lenticulaire (c'est à dire aplatie, avec un renflement au centre).





Petit historique

XIX^{ème} siècle

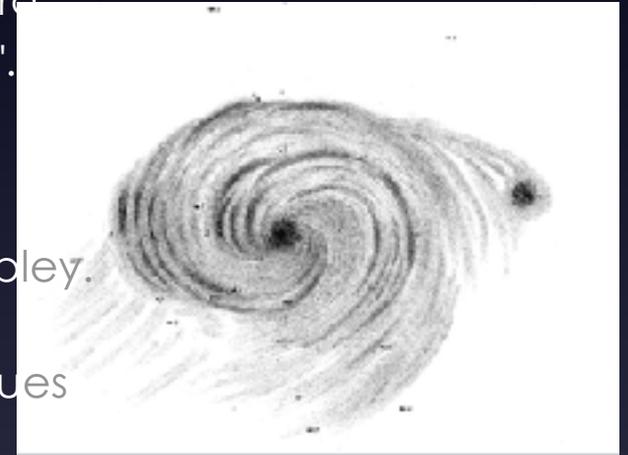
1850 : Lord Rosse \Rightarrow structure spirale de la galaxie d'Andromède, notre voisine, seule galaxie visible à l'oeil nu dans l'hémisphère nord de même pour de nombreuses autres « nébuleuses ».

Le XX^{ème} siècle : la nature des galaxies

années 1920

- "grand débat" entre les astronomes Curtis et Shapley.
- Edwin Hubble \Rightarrow observations \Rightarrow galaxies = ensembles de quelques millions à quelques milliards d'étoiles \Rightarrow objets très grands, très massifs et très lointains.

Hubble fut le premier à mesurer la distance des galaxies.



Perfectionnement des instruments,
évolution de la connaissance :

- « nébuleuse » : réservé aux objets formés de gaz et de poussières.
- Anciennes nébuleuses, spirales ou elliptiques : les galaxies





Actualités

Gaia, Planck, Hubble....



Carte du ciel tracée à partir des positions, éclats et couleurs des 1,7 milliard d'étoiles observées par Gaia entre juillet 2014 et mai 2016.
Crédit : Gaia/ESA/EPAC



Éléments constitutants

Etoiles

de 150 à 250 milliards d'étoiles, dont notre soleil.
(1,7 milliards observées par Gaia)

- boule massive et lumineuse de plasma liée par sa propre gravité
 - le diamètre et la densité sont tels que la région centrale, le cœur, atteint la température nécessaire à l'amorçage de réactions de fusion nucléaire (de plusieurs millions de degrés).
- Ces réactions thermonucléaires libèrent de l'énergie lumineuse qui s'oppose à la contraction de l'étoile sous sa propre gravité.



Regroupement d'étoiles en amas

Ouverts (M45)

Globulaires : forte concentration (sphérique)
d'un très grand nombre d'étoiles
(de quelques dizaines de milliers à quelques millions)



M13, Grand amas d'Hercule



Éléments constitutants

Les nébuleuses

- Observées au XVIII.ssiècle:
« taches floues », brillantes,
de forme et dimensions variées
⇒ analogie avec des nuages
- Nébuleuses brillantes
 - diffuses par réflexion (renvoient lumière des étoiles proches)
 - diffuses par émission (gaz ionisé)
 - planétaires
- Nébuleuses obscures
Parties les plus denses, bloquent la lumière des étoiles derrière elles





Éléments constitutants

Gaz

H et He, dilué
dans différentes phases (chaud, plasma)

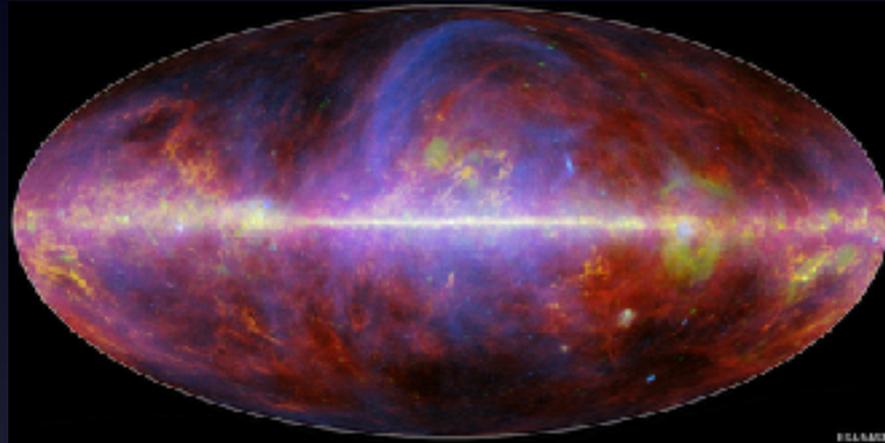
Poussières

absorbe la lumière visible
(trainées sombre dans les parties centrales de la galaxie)

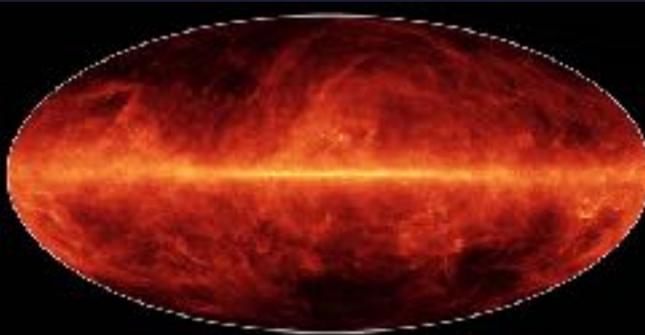




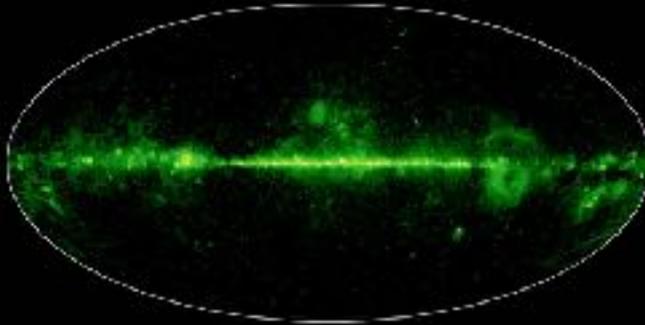
Éléments constitutants



particules de
poussière
refroidies mais
toujours visibles
dans
l'infrarouge

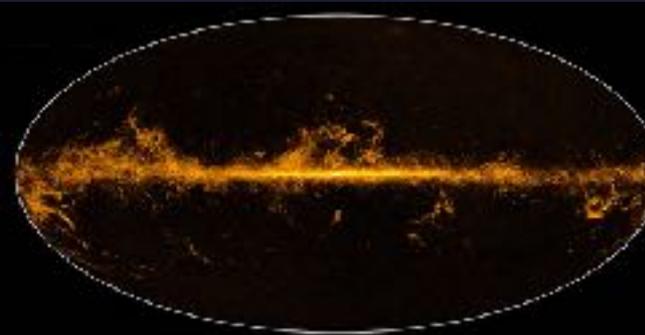


plasmas, gaz qui
perdent des
électrons face
aux radiations de
jeunes étoiles
brûlante, forme
une sorte de
"soupe"
d'électrons
créant de la
lumière.



ESA/NASA/JPL-Caltech - Planck

molécules de gaz
(principalement
CO) en très
grande
concentration
avec les
poussières dans
les zones où se
forment des
étoiles.



particules
chargées se
déplaçant très
rapidement,
prises au piège
dans les champs
magnétiques :
émission de
« rayonnement
synchrotron ».





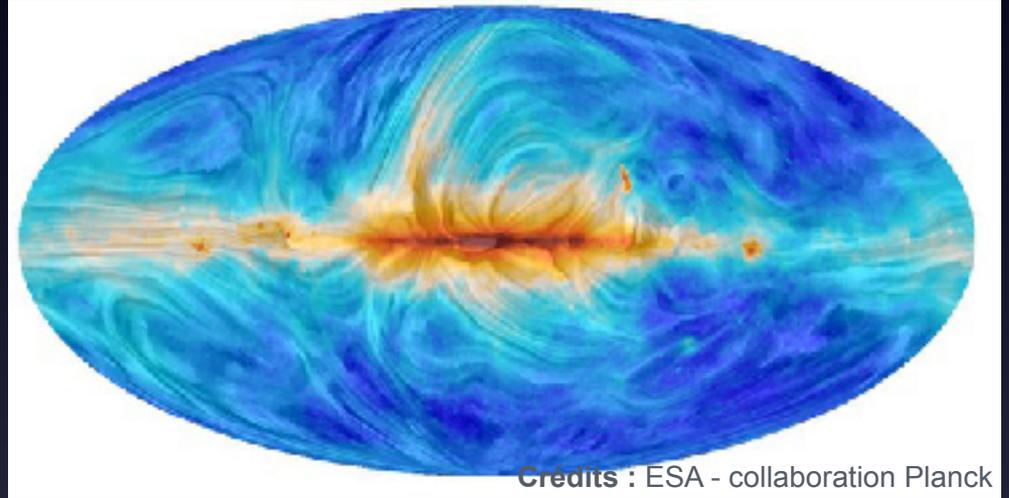
Éléments constitutants

Champs magnétiques

Rayons cosmiques

Matière sombre

Probablement



Structuration de l'ensemble

composante stellaire => un disque, un bulbe, une barre, des bras spiraux, un halo, des amas d'étoiles, des galaxies satellites...

Evolution dynamique et chimique depuis plus de 13 milliards d'années.



Structuration

Galaxie de type « spirale barrée »

2005 : télescope spatial Spitzer : très grande barre centrale de quelques 27 000 années-lumière de long



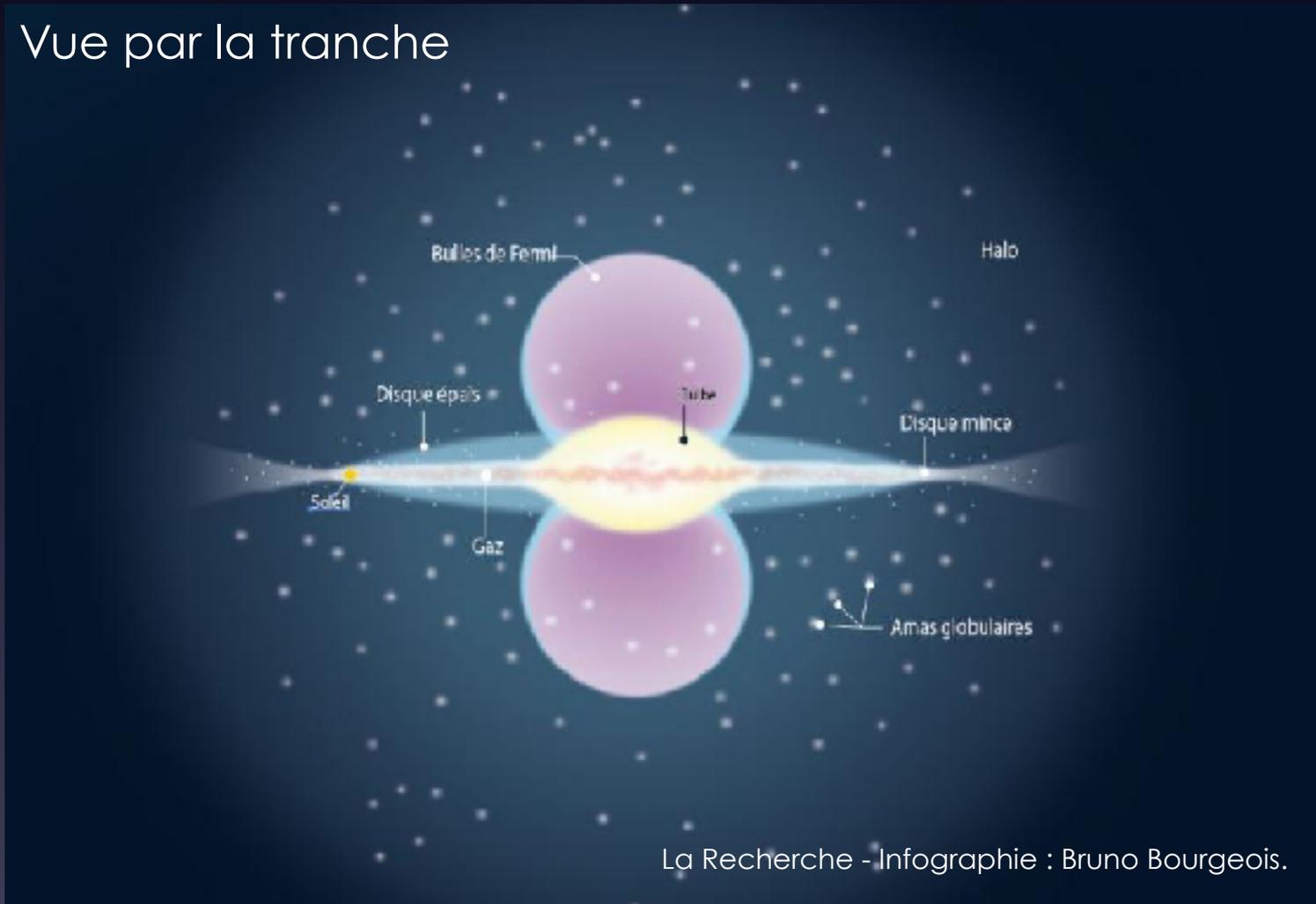
deux bras
spiraux
dominent
la Galaxie



Structuration

Notre Galaxie est dominée par son disque

Vue par la tranche

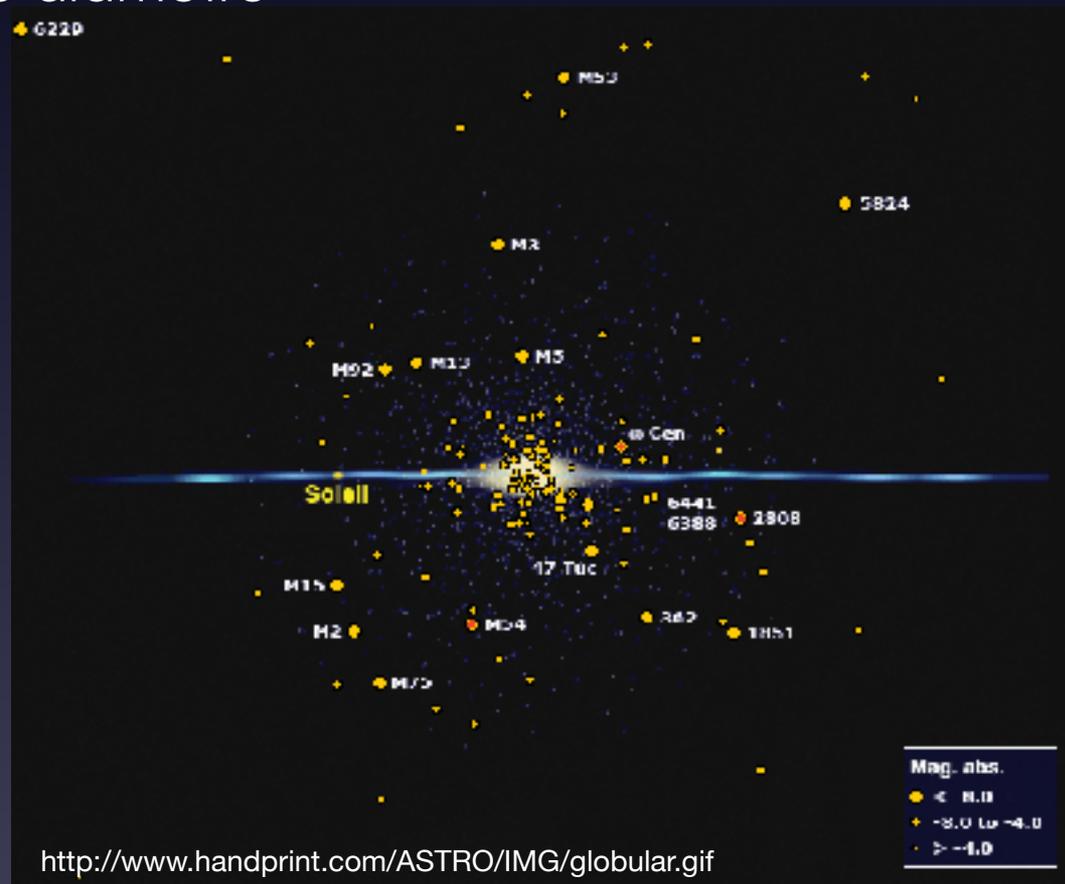


La Recherche - Infographie : Bruno Bourgeois.



Structuration

Le halo : contient des centaines d'amas globulaires
vaste structure sphérique d'étoiles de plus de 100 000 années-
lumière de diamètre





Structuration

Gauchissement du disque

Observé en 1990

En 2019, grâce à Gaia et à l'étude de 2400 Céphéides

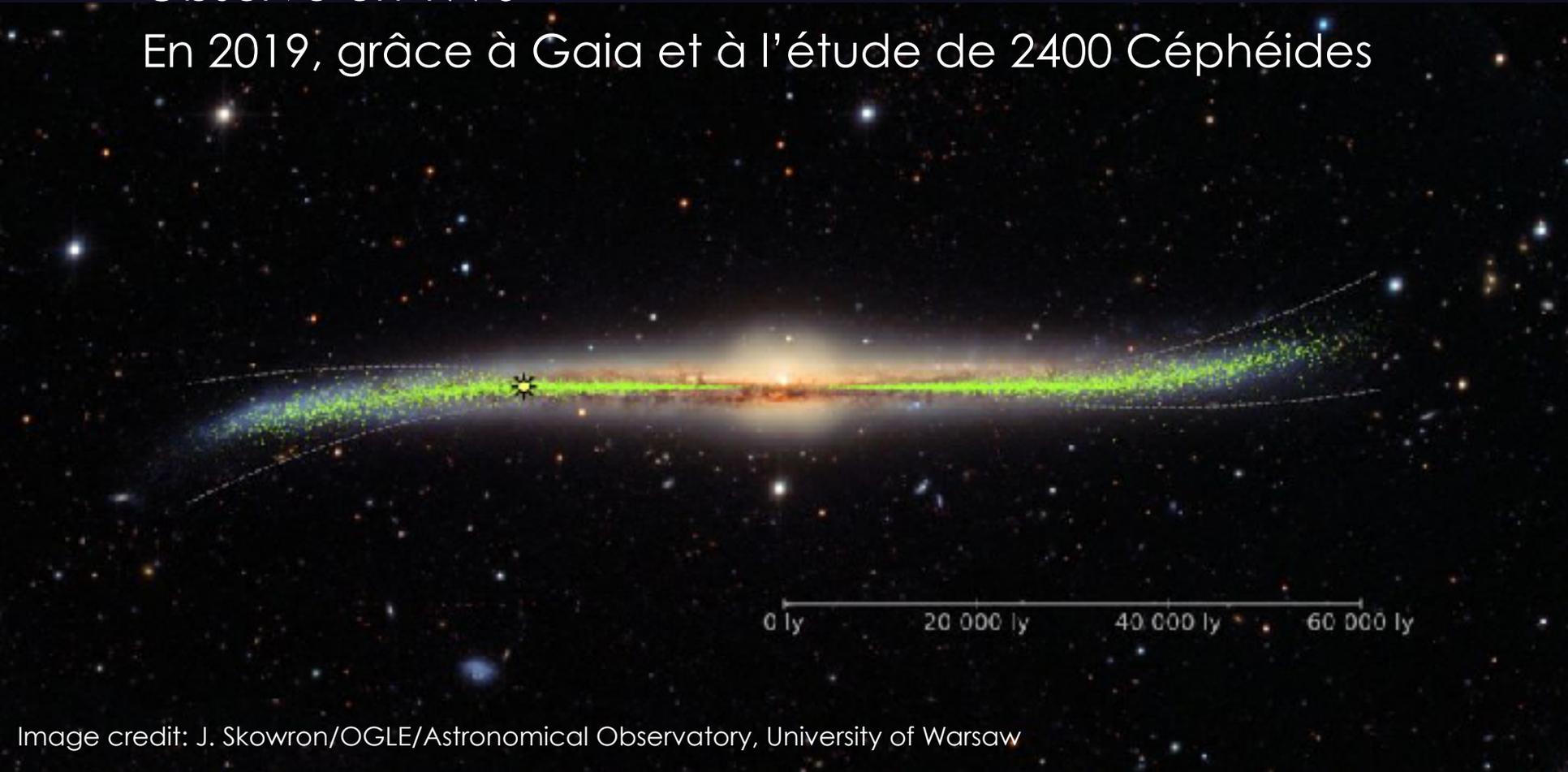


Image credit: J. Skowron/OGLE/Astronomical Observatory, University of Warsaw



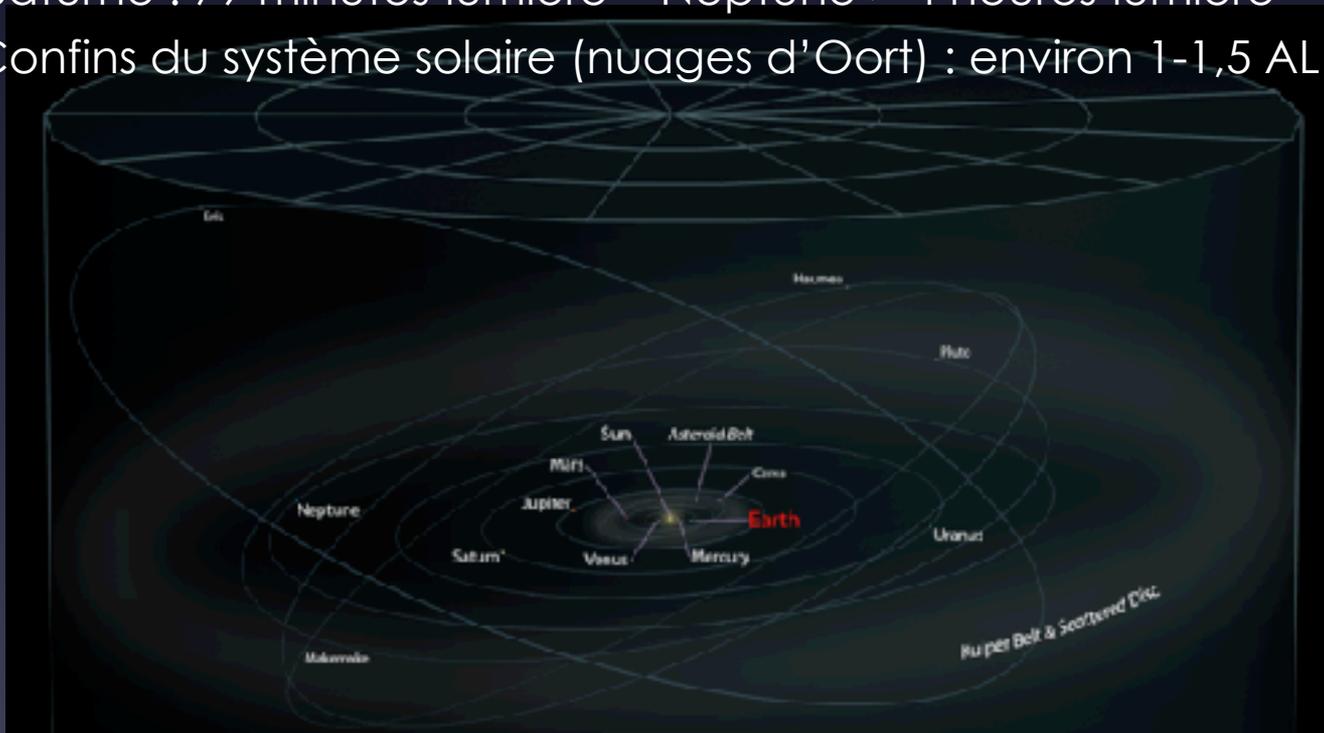
Dimensions

Distance de la Terre en temps-lumière

- Lune : 1,3 seconde-lumière
- Soleil : 8 minutes-lumière

Distance moyenne Planète - Soleil

- Mars : 12 minutes-lumière, Jupiter : 43 minutes-lumière,
- Saturne : 79 minutes-lumière Neptune > 4 heures-lumière
- Confins du système solaire (nuages d'Oort) : environ 1-1,5 AL





Dimensions

Distance dans la galaxie

Proxima du Centaure : 4,24 AL

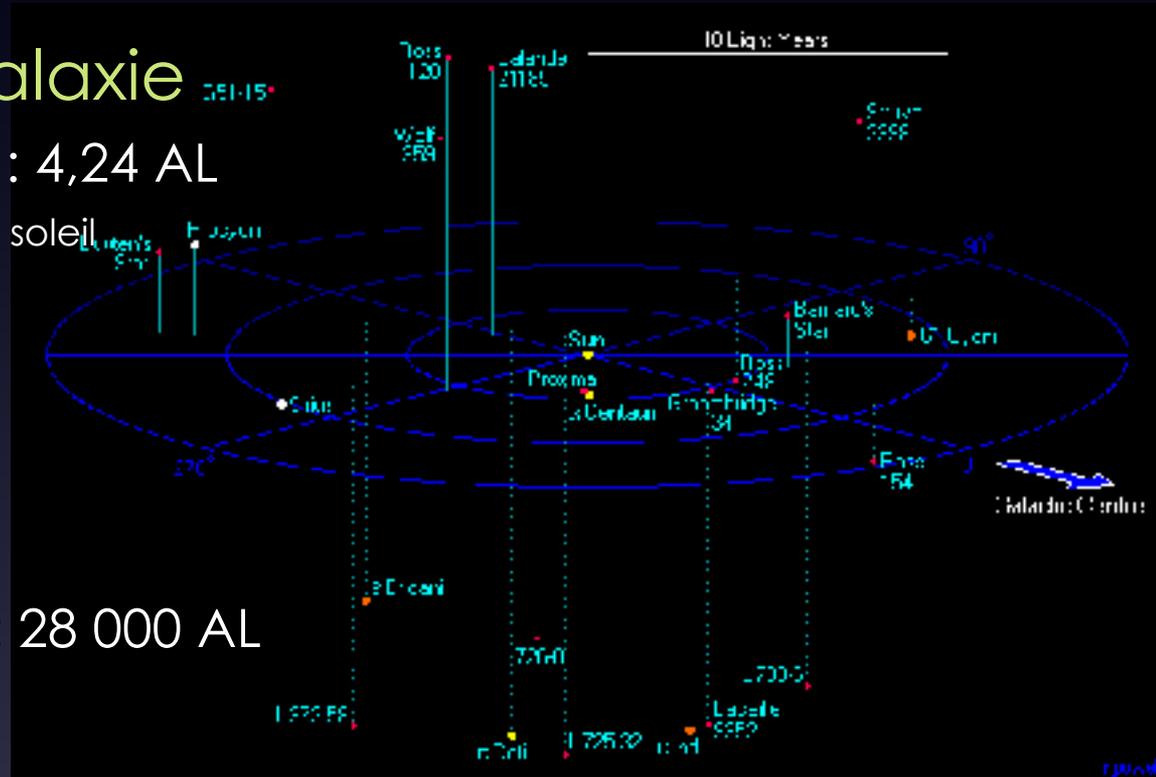
270 000 fois plus loin que le soleil

Sirius : 8,7 AL

Arcturus : 36,7 AL

M13 : 22 200 AL

Centre de la galaxie : 28 000 AL



Distance terre-soleil ramené à 1 mm (1 UA)
(distance terre lune = 2,6 μ)

- Soleil - Proxima du centaure = 270 m

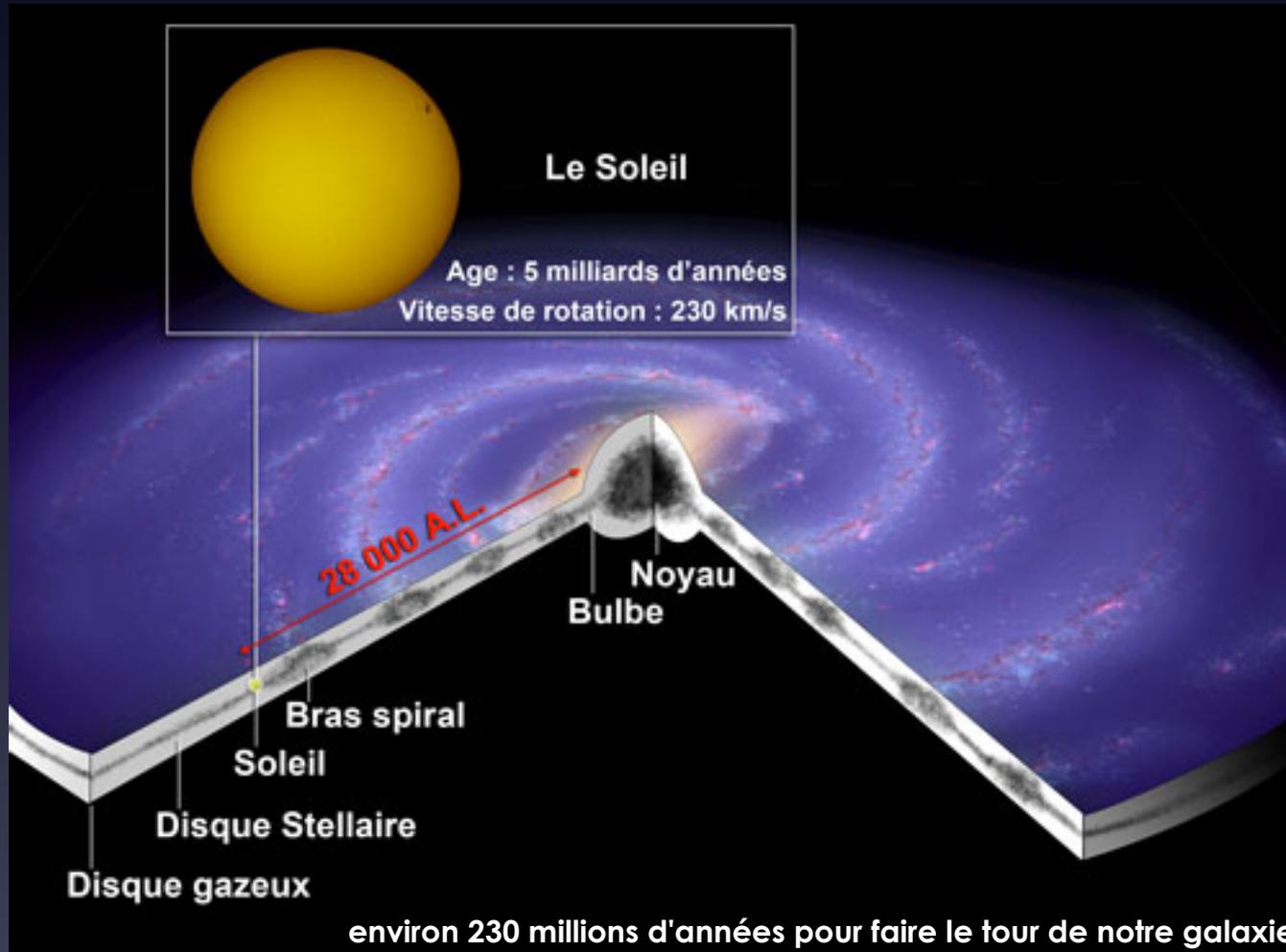
- Soleil - centre de la galaxie = 1770 km

La diamètre de la galaxie est de 6324 km



Le soleil dans notre galaxie

presque exactement dans le plan du disque





Formation : fusion

Gaia Enceladus

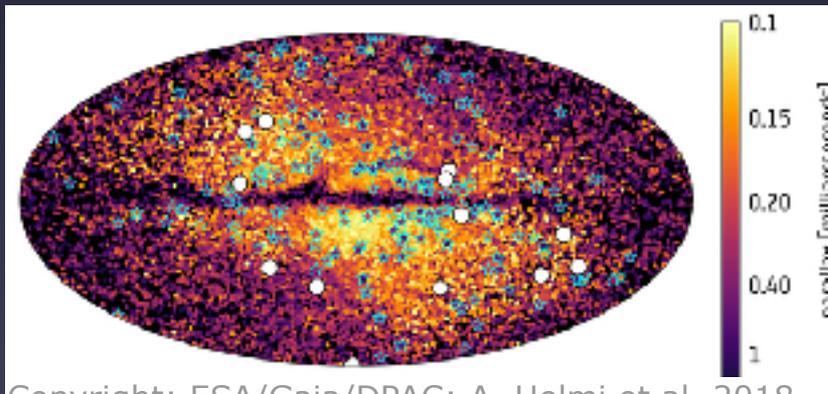
Notre galaxie a fusionné avec une autre grande galaxie dans sa jeunesse, il y a environ 10 milliards d'années.

- ⇒ étoiles dans le halo qui entoure la Voie lactée
- ⇒ épaissement du disque galactique présent à cette époque.

Preuves dispersées dans le ciel tout autour de nous, mises en évidence par Gaia et son extraordinaire précision



Credit: ESA (artist's impression and composition); Koppelman, Villalobos and Helmi (simulation); NASA/ESA/Hubble (galaxy image), CC BY-SA 3.0 IGO



Copyright: ESA/Gaia/DPAC; A. Helmi et al. 2018

<https://youtu.be/hVPZhATLDKY>



Futur : « collision »

Rapprochement Andromède-Voie Lactée

Credit: NASA; ESA; Z. Levay and R. van der Marel, STScI; T. Hallas; and A. Mellinger)



la Voie lactée et la galaxie d'Andromède, éloignée de 2,5 millions d'années-lumière, vont fusionner dans les prochains milliards d'années.

Gaia+Hubble+VLBA

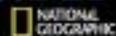
Rencontre moins frontale,
plus tardive

Voir l'animation sur cette page:
https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/pages_galaxie-univers-local/rencontre-galaxie-andromede.html

National geographic



The MILKY WAY

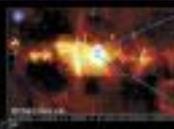
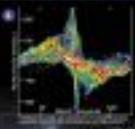


Huge galaxy of stars, the Milky Way is a spiral-shaped galaxy of a few hundred billion stars. The stars are of many different sizes, colors, and ages. Most of the stars are small, hot, and bright. Some are large, cool, and dim. The stars are scattered throughout the galaxy, but they are most densely packed in the center and in the spiral arms. The galaxy is about 100,000 light-years across.



LOOKING TO THE GALAXY

For thousands of years, people have looked up at the night sky and wondered about the stars and the galaxy. In the 1920s, astronomers discovered that the Milky Way is just one of many galaxies in the universe. This discovery led to the development of modern cosmology.



WHAT WE KNOW

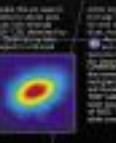
The Milky Way is a spiral galaxy with a central core and several spiral arms. It is about 100,000 light-years across and contains about 100 billion stars. The galaxy is part of a larger group of galaxies called the Local Group.

The Milky Way is a spiral galaxy with a central core and several spiral arms. It is about 100,000 light-years across and contains about 100 billion stars. The galaxy is part of a larger group of galaxies called the Local Group.

STELLAR POPULATION



The stellar population of the Milky Way is diverse, ranging from young, hot stars to old, cool stars. The distribution of stars is concentrated in the central core and the spiral arms.



LOOKING AHEAD



The future of the Milky Way is uncertain. It may merge with another galaxy, or it may remain isolated. The study of the galaxy's evolution is an ongoing process.



2) Les galaxies satellites

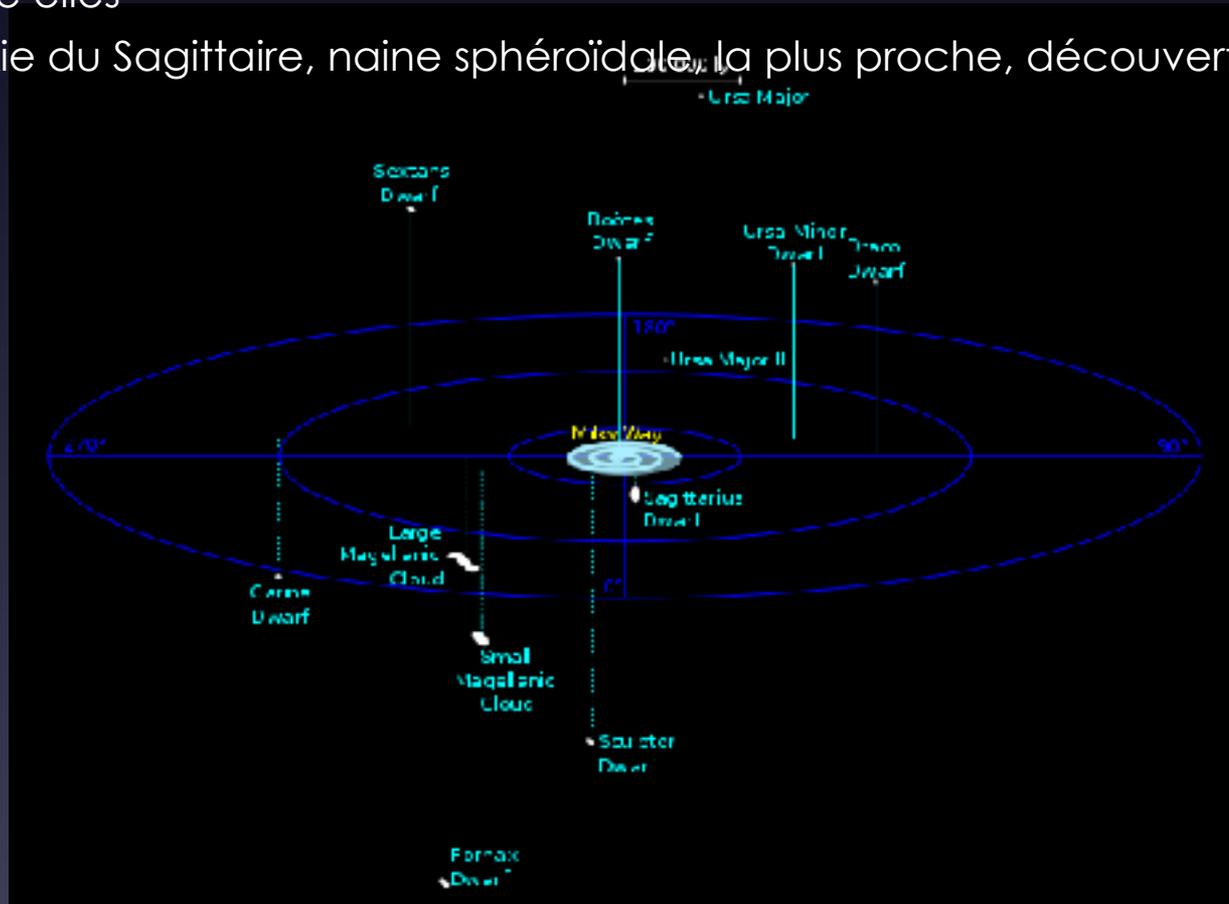


Les galaxies cousines

Galaxies naines

Cortège de plusieurs galaxies de très petites tailles

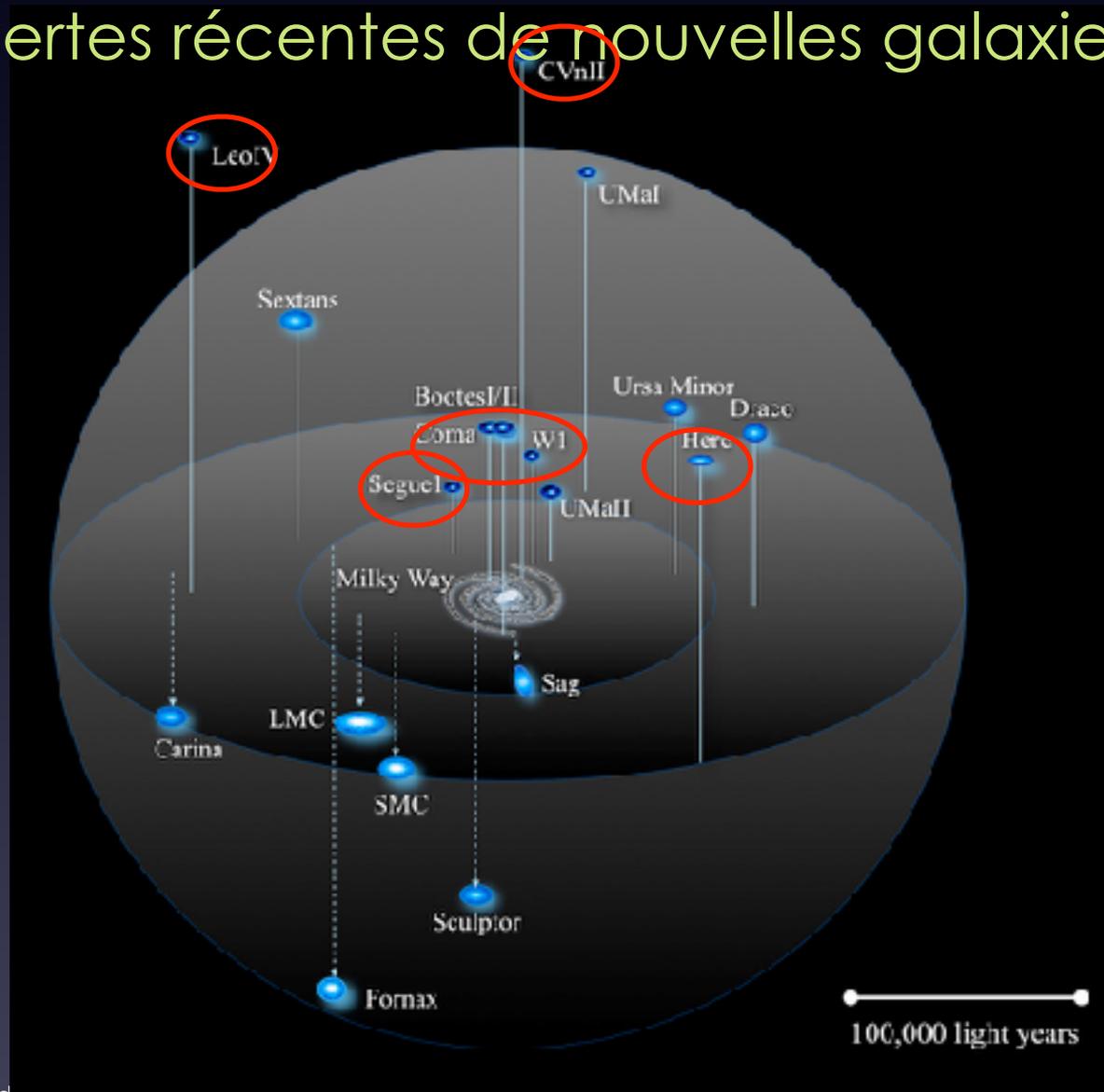
- Nuages de Magellan, galaxies naines irrégulières, les plus importantes d'entre elles
- Galaxie du Sagittaire, naine sphéroïdale, la plus proche, découverte en 1994





Les galaxies cousines

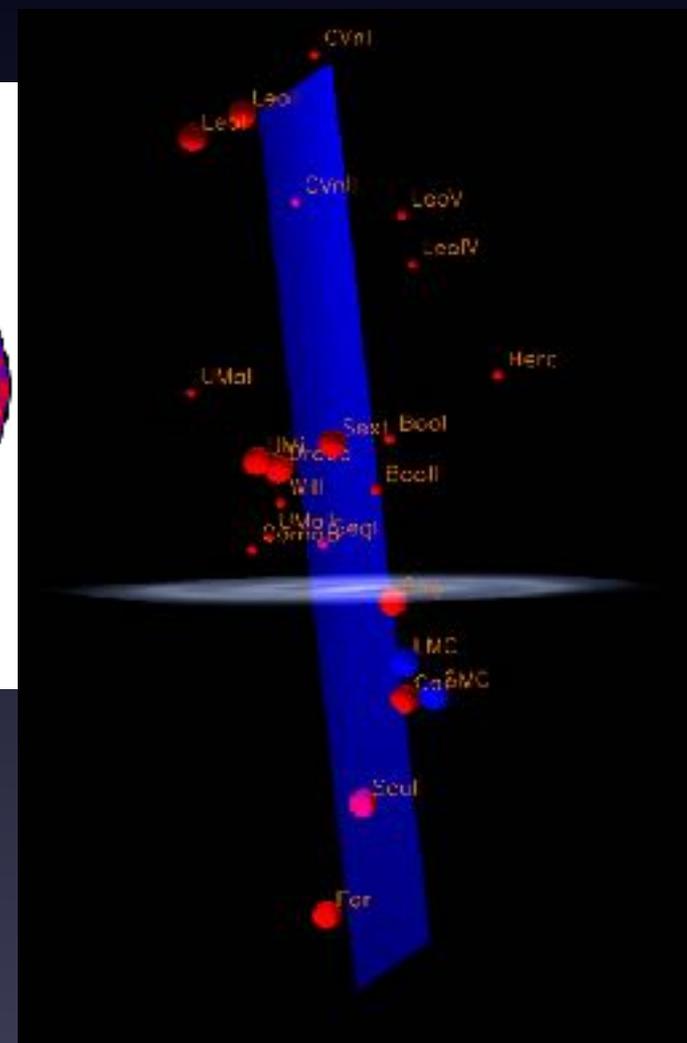
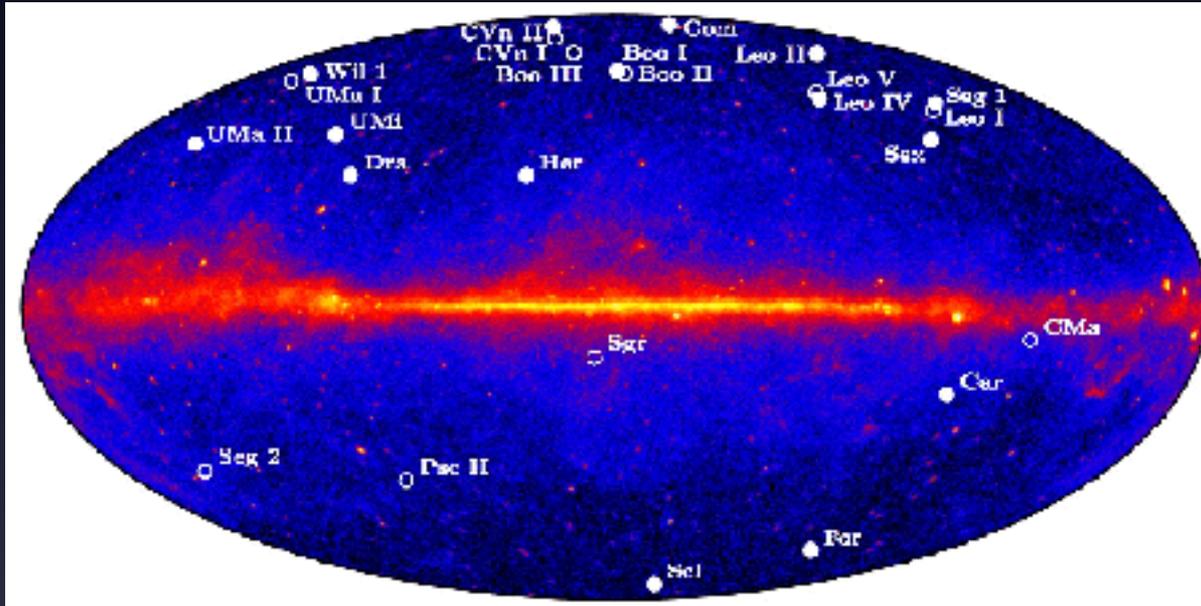
Découvertes récentes de nouvelles galaxies naines





Répartition étonnante

Plan perpendiculaire au disque



Interprétation difficile



Le grand nuage de Magellan

En rotation



<http://sguisard.astrosurf.com>



La mesure de la vitesse de plusieurs millions d'étoiles a permis d'observer en détail la rotation du Grand Nuage de Magellan © ESA / Gaia / DPAC



Galaxie naine du Sagittaire

Traversée de la Voie Lactée

Elle a traversé le disque galactique il y a ~600 millions d'années. Depuis, les étoiles du disque de la Voie Lactée oscillent comme les ondes produites à la surface d'une mare dans laquelle on aurait lancé une pierre



Credit: Hubble Heritage Team (AURA / STScI),
Y. Momany (U. Padua) et al., ESA, NASA

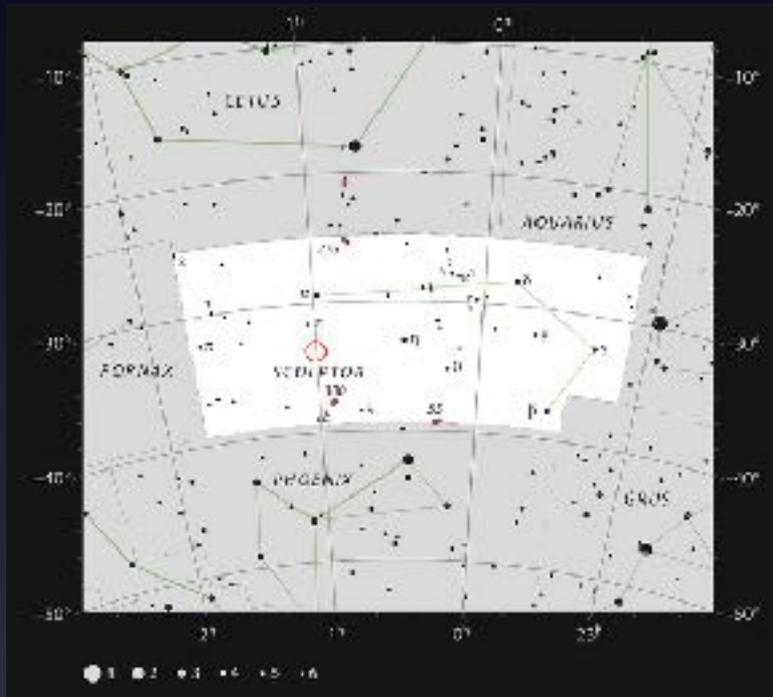


La galaxie naine du Sagittaire a traversé le disque galactique il y a plusieurs millions d'années, créant des courants d'étoiles © ESA; Z. LeVay and R. Van der Marel, STScI; T. Hallas; and A. Mellinger

<https://youtu.be/pig-uqRehNM>



Galaxie naine du Sculpteur



Crédit: ESO



Image acquise par la Caméra à Grand Champ, télescope MPG/ESO de 2,2 mètres, Observatoire de La Silla, ESO



Galaxie naine sphéroïdale Leo 1

A 1° de Régulus, dans le Lion

découverte en 1950 en même temps que Leo II



Credit & Copyright: Russell Croman

Regulus à 75 AL, Leo1 à 800000 AL



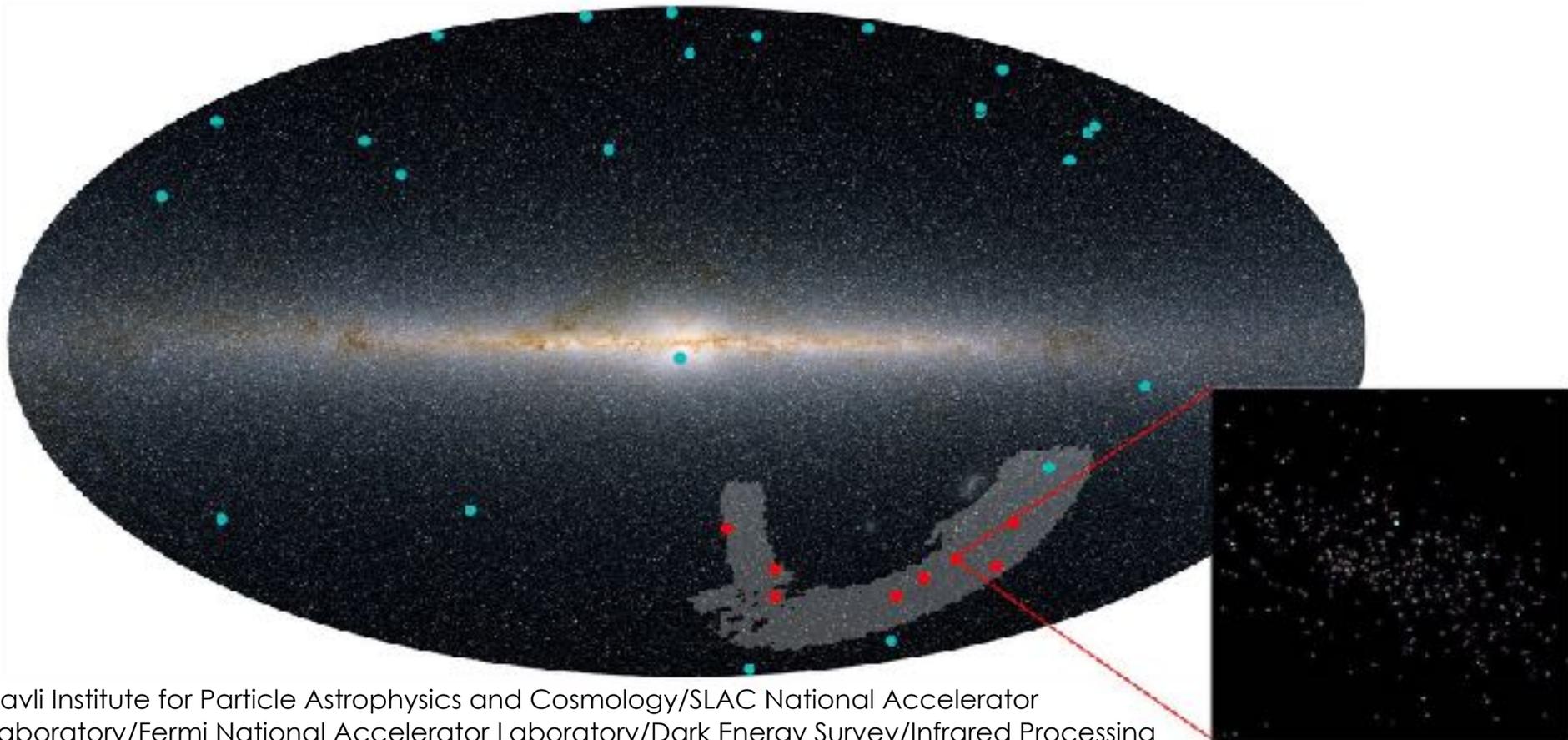
Credit: WikiSky (based on Sloan Digital Sky Survey)



Les dernières découvertes

Découvertes en 2015

Dark Energy Survey

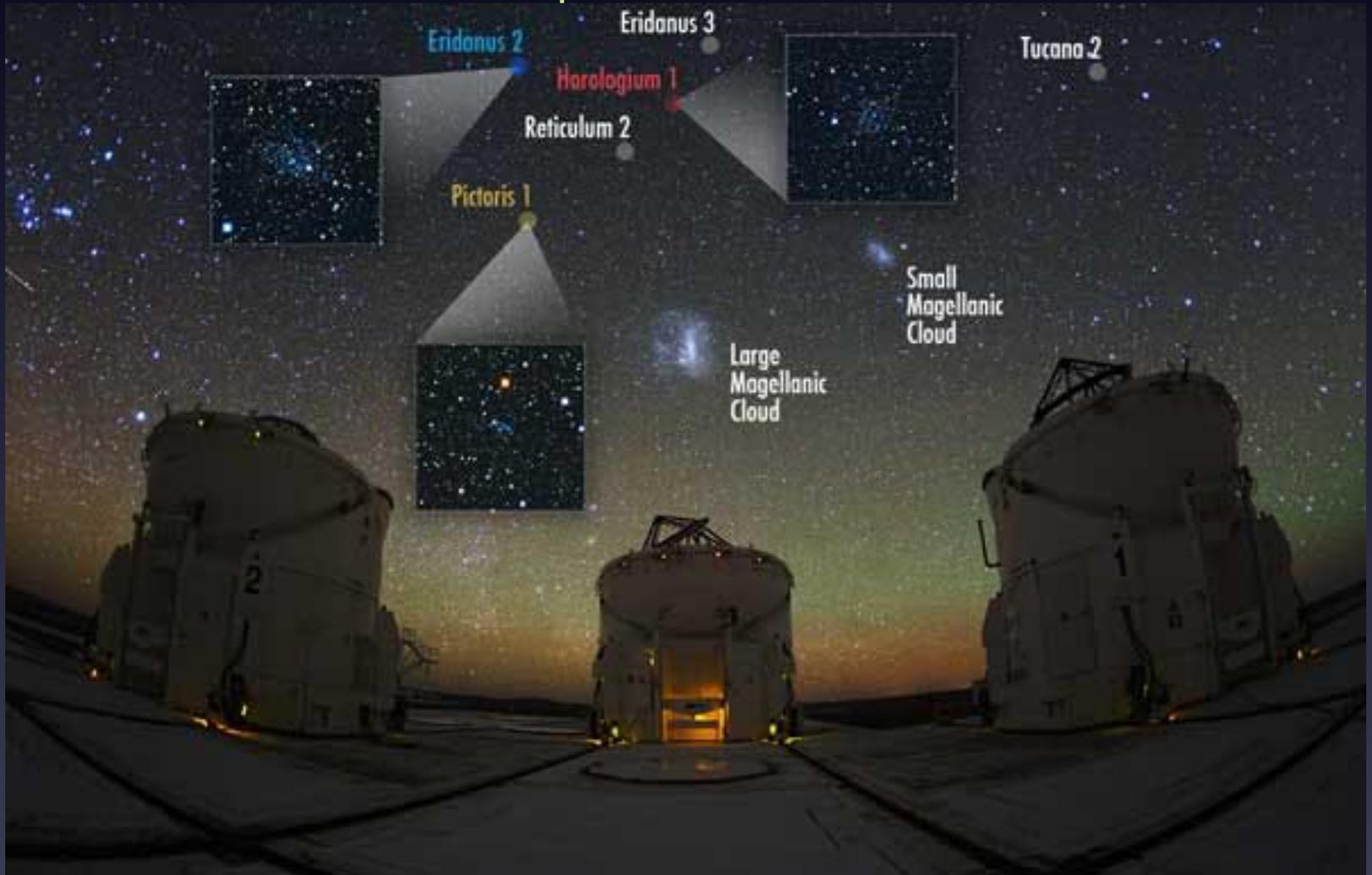


Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology/SLAC National Accelerator Laboratory/Fermi National Accelerator Laboratory/Dark Energy Survey/Infrared Processing and Analysis Center/California Institute of Technology/University of Massachusetts



Les dernières découvertes

Dans le ciel de l'hémisphère sud





Les dernières découvertes

Virgo I, 2016

Galaxie naine « ultra-faible », comme Segue 1 et Cetus 2

Subaru/Hyper Suprime-Cam Survey

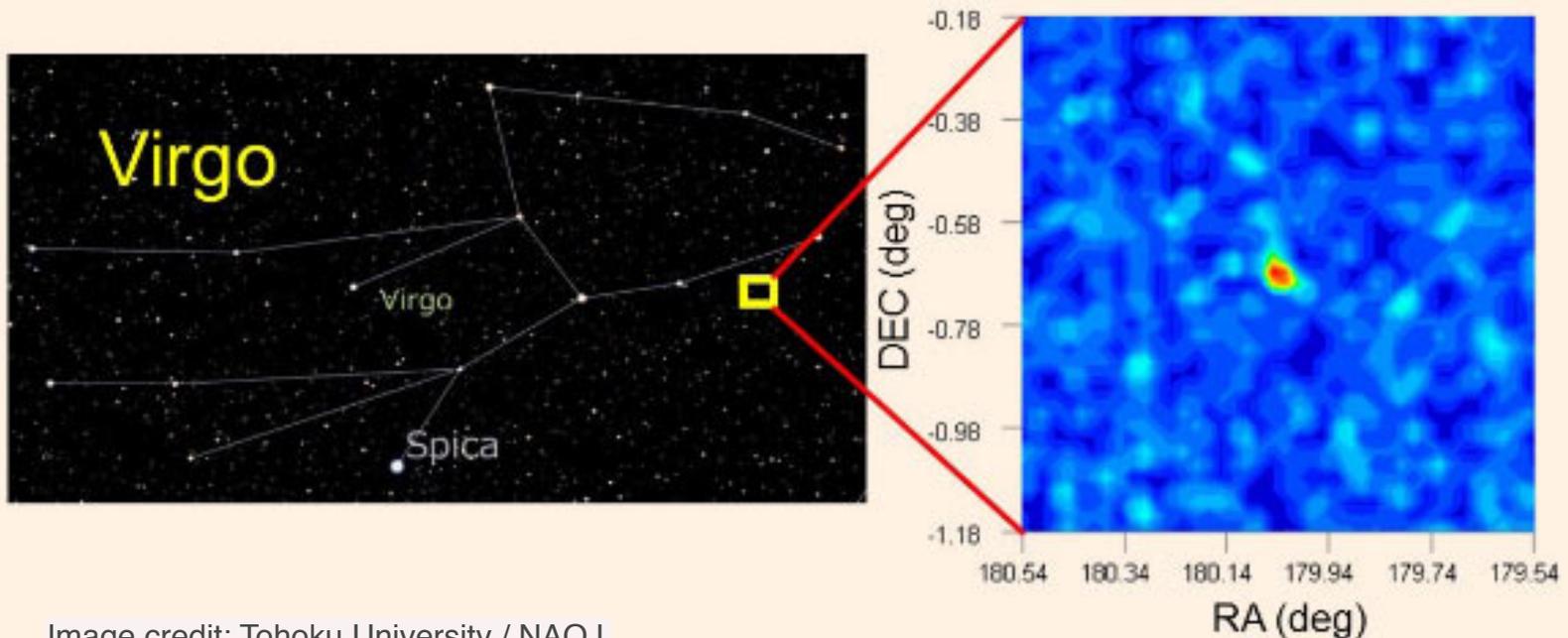


Image credit: Tohoku University / NAOJ.

<http://www.sci-news.com/astronomy/virgo-i-dwarf-galaxy-milky-way-04383.html>



Omega du Centaure

Amas globulaire ou galaxie ?

La question fait débat !
plusieurs générations d'étoiles.

En 2008 : reste d'une galaxie naine avec au centre un trou noir d'environ 40.000 masses solaires - pas confirmé ?

Avril 2019, étude publiée dans « Nature Astronomy » :
un résidu galactique, le coeur d'une galaxie naine dont les étoiles périphériques auraient été arrachées par les forces de marée gravitationnelles.

Ces étoiles forment, au sein de la Voie Lactée, une sorte de « courant stellaire » bien visible dans les données de Gaia.

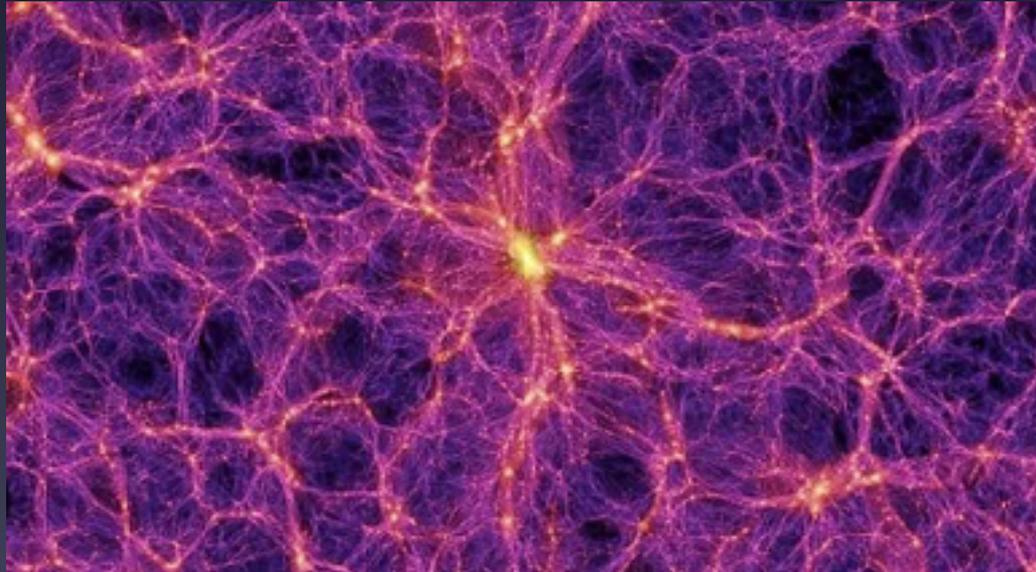
l'amas globulaire le plus grand et le plus brillant visible à l'œil nu.



Une vue rapprochée de Omega Centauri. Crédit : Nasa, Esa, Hubble Heritage Team (STScI/AURA), A. Cool (San Francisco State Univ.) et J. Anderson (STScI).



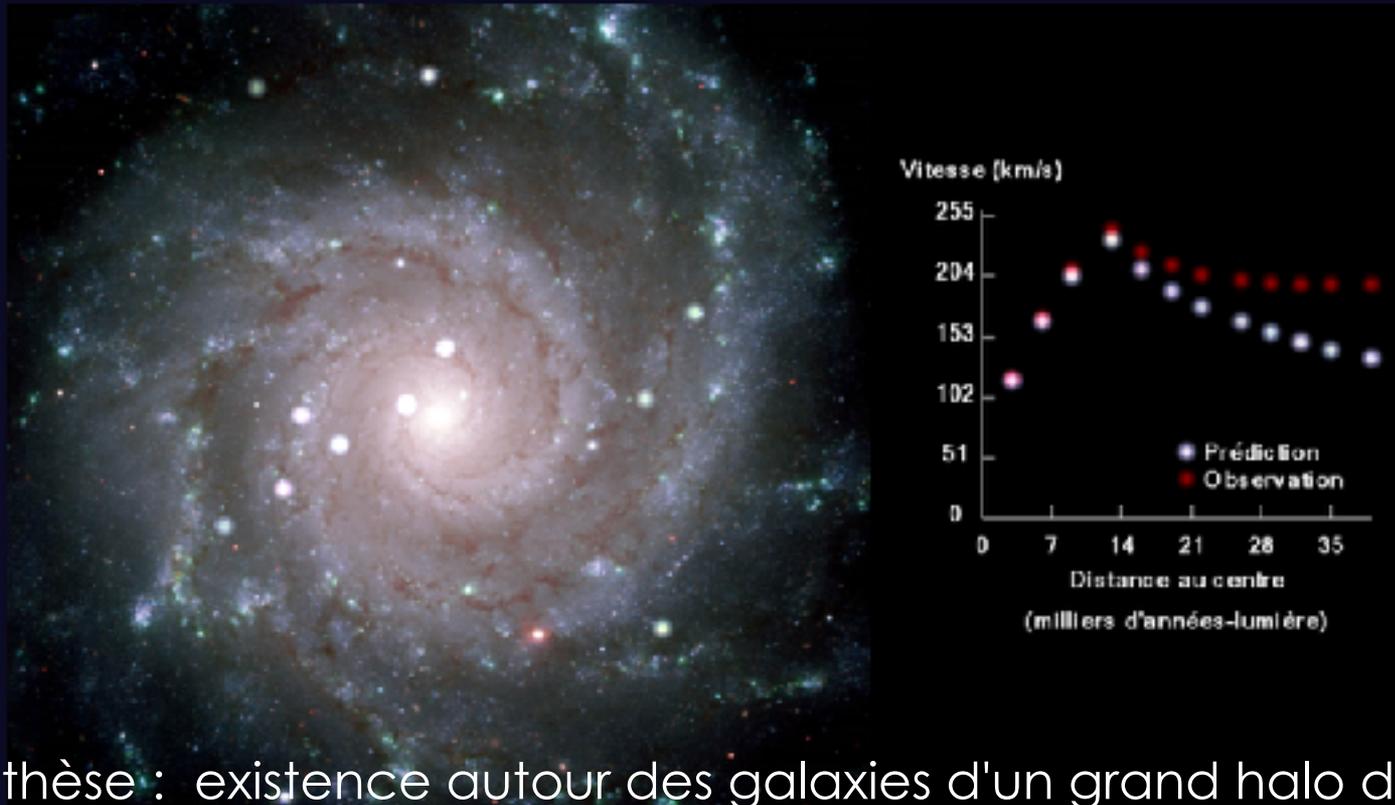
3 - Recherche de matière sombre





Existence de matière invisible

Etude de la rotation des galaxies



Hypothèse : existence autour des galaxies d'un grand halo de matière massive, invisible mais permettant d'expliquer pourquoi les courbes de rotation restent plates à grand rayon : matière noire, ou matière sombre.



Recherche de matière sombre

Distribution de matière sombre

Halo entourant la galaxie



vue d'artiste - Crédit: ESO/L. Calçada



Recherche de matière sombre

Galaxies naines sphéroïdales: objets clés pour l'étude de la matière noire

Modèle de matière noire les plus courants : régions les plus denses en matière noire émettent un rayonnement gamma (annihilation de particules de matière noire)

Centre de la galaxie : haut flux de gammas, mais bruit de fond important à cause des sources astrophysiques

Galaxies naines : la matière sombre est supposée être la plus abondante- jusqu'à 99% dans certains cas.

pauvres en étoiles, donc en sources de bruit de fond

=> recherche de rayons gammas (Fermi, H.E.S.S., et futur : CTA, LSST)

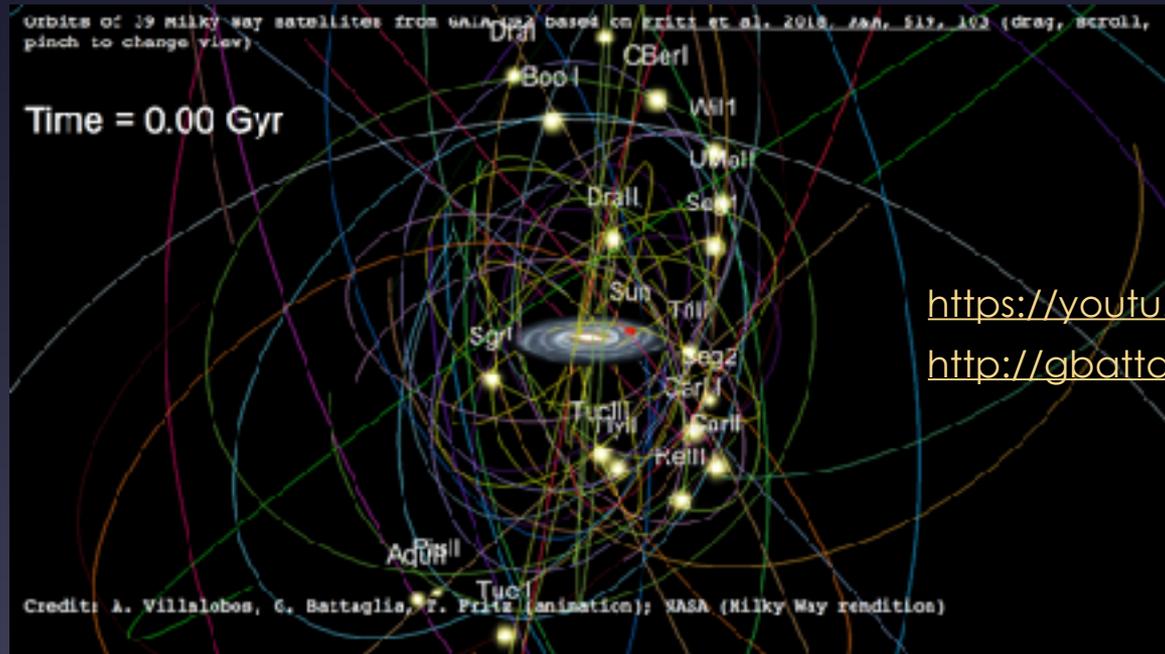


Orbites des galaxies naines

Dynamique des galaxies naines

Gaia DR2 en 2018 : orbites des galaxies naines révélées avec une bien meilleure précision.

Très excentriques, ne corroboreraient pas le scénario selon lequel les galaxies naines se seraient satellisées autour de la Voie lactée depuis des milliards d'années, mais capturées par la Voie lactée plus récemment.



<https://youtu.be/bZcpMEPD2zU>

<http://gbattaglia.epizy.com/?i=2>



Matière sombre ou effet de marée

Dynamique des galaxies naines ré-expliquée sans matière noire ?

(communiqué de presse publié le 1 octobre 2019)

Données récentes de Gaia et du Télescope Franco-canadien de Hawaii (CFHT) : mesures très précises sur leurs vitesses, rayons, distances et masse en étoiles



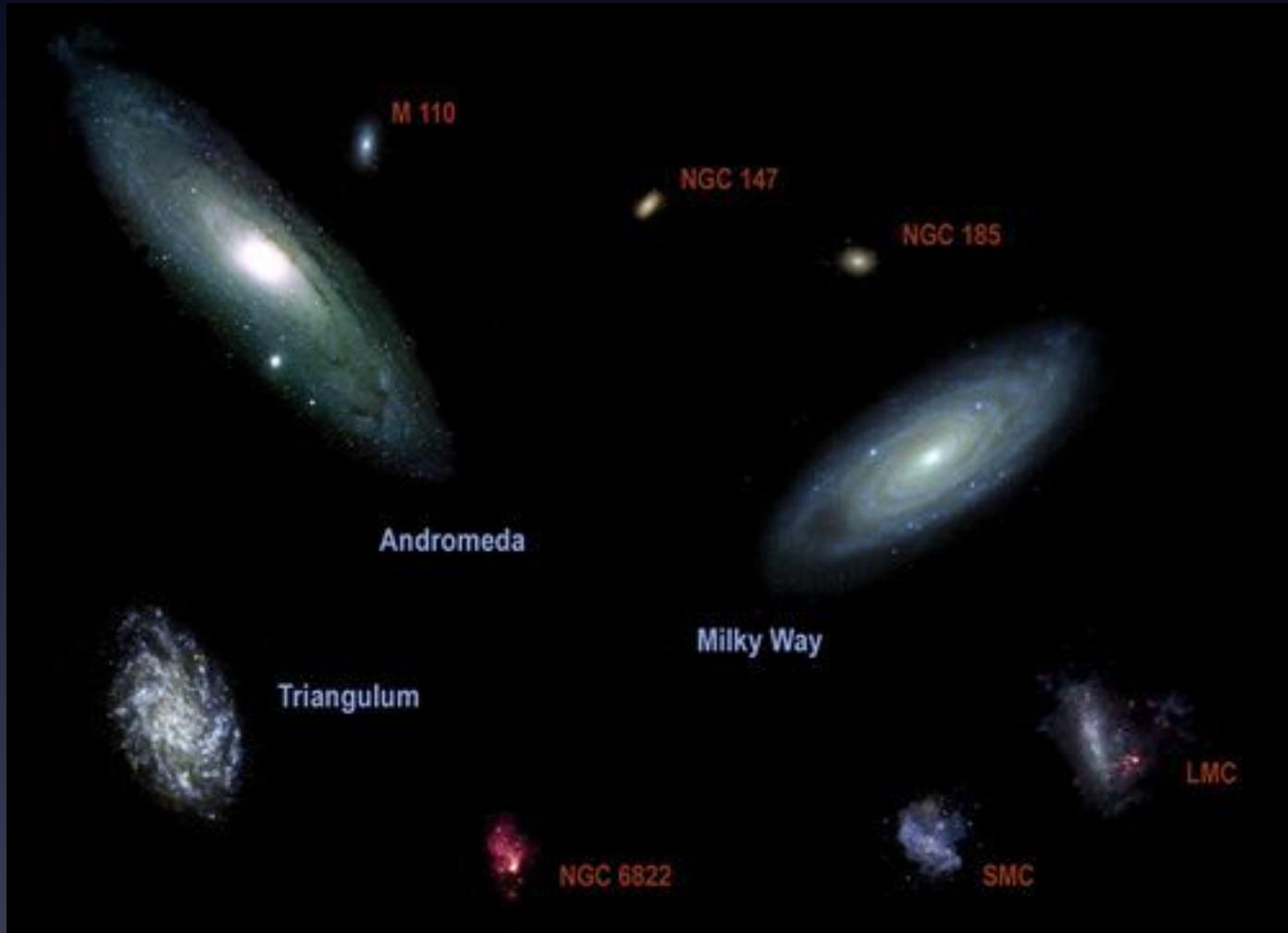
- ⇒ comment ces galaxies naines sont arrivées au voisinage de notre Galaxie
- ⇒ comment leur dynamique est uniquement gouvernée par les seuls effets gravitationnels de marée exercés par la Voie lactée, suivant les principes de la physique newtonienne.

pose un sérieux problème à la cosmologie moderne



Galaxies satellites - groupe local

Trois grandes galaxies, et des plus petites !





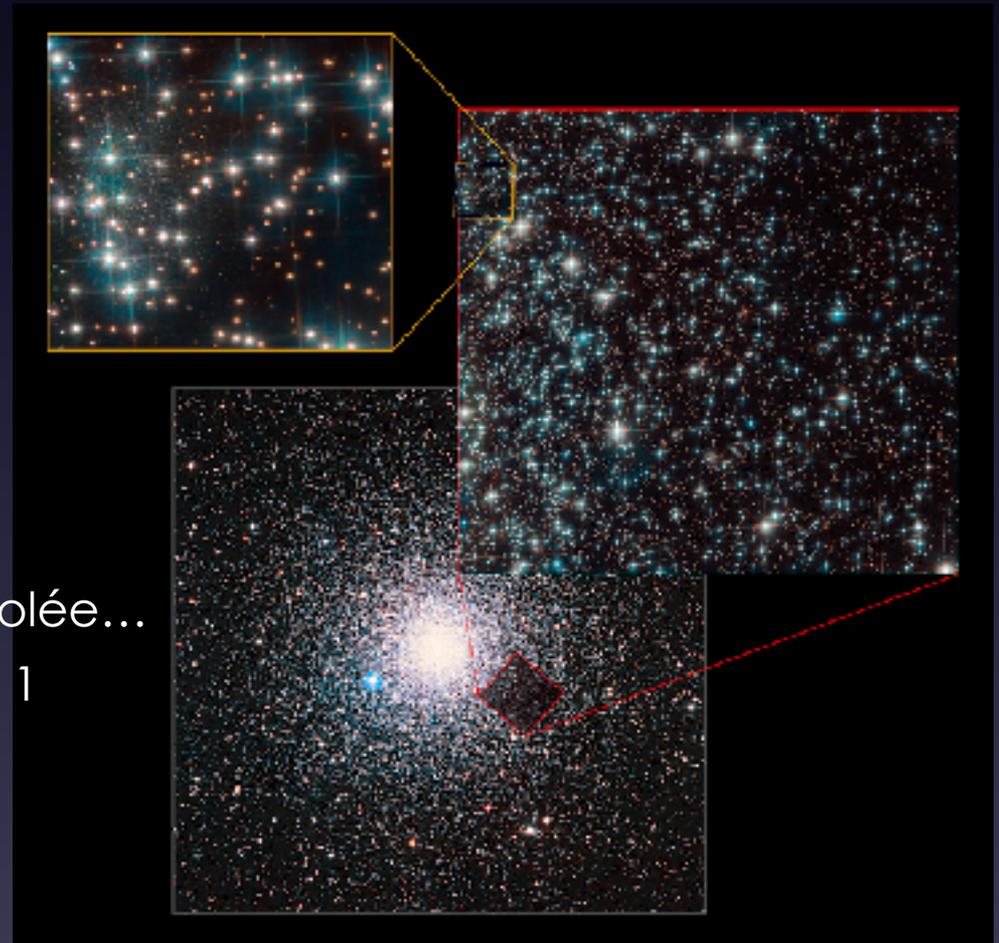
Galaxie naine proche et isolée

Sérendipité !

découverte fortuite d'une minuscule galaxie en arrière plan de l'amas globulaire NGC 6752

recherches des étoiles naines blanches pour mesurer l'âge de l'amas.

Galaxie naine (3000 A.L) très isolée...
nom de son découvreur Bedin 1





Exploration en cours

Grâce aux données de plus en plus précises des télescopes spatiaux et terrestres, les connaissances évoluent, les scénarios se précisent, certains sont remis en cause.



Sites web

https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/pages_visite-galaxie/la-voie-lactee.html

https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/pages_galaxies/sommaire.html

https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/pages_galaxie-univers-local/galaxie-environnement.html

<http://www.astrosurf.com/luxorion/univers-voielactee.htm>

<https://gaia.obspm.fr>

<http://www.cea.fr/comprendre/Pages/matiere-univers/essentiel-sur-galaxies.aspx>

<http://lamatierenoire.ff>



Sites web - photos et animations

<http://www.sergebrunier.com/gallerie/pleinciel/>

<http://sguisard.astrosurf.com>

<https://gaia.obspm.fr/documentation/article/videos-et-infos-dr2>

<http://planck.ipac.caltech.edu/wwt/>

<http://planck.ipac.caltech.edu/image/planck15-002b>

<http://galaxymap.org/>

<https://youtu.be/bZcpMEPD2zU>

<https://youtu.be/A2prA7wd7TA>

<https://youtu.be/fMNI2FnHDg>

<http://lamatierenoire.fr/a-l-echelle-de-la-galaxie/>



Sites - articles et communiqués de presse

<https://ipag.osug.fr/french/actualites/faits-marquants/article/gaia-decouvre-un-evenement-majeur-de-l-histoire-de-la-formation-de-la-voie.html>

<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/galaxie-voie-lactee-gaia-confirme-collision-geante-il-y-10-milliards-annees-62570/>

<https://www.larecherche.fr/astrophysique-astronomie/entretien-avec-nicolas-prantzos-avec-le-satellite-gaia-nous-vivons-une>

<https://www.larecherche.fr/publications/quand-les-astrophysiciens-se-muent-en-archéologues>

<https://www.obspm.fr/le-mystere-de-l-origine-du.html>

<https://insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/les-etoiles-perdues-omega-du-centaure>

<https://www.obspm.fr/la-dynamique-des-galaxies.html>

https://www.esa.int/Space_in_Member_States/France/Gaia_dresse_le_catalogue_le_plus_complet_des_etoiles_de_notre_galaxie_et_d_au-dela

<https://www.spacetelescope.org/news/heic1903/>

<https://www6.slac.stanford.edu/news/2015-03-10-possible-rare-dwarf-galaxies-found-orbiting-milky-way.aspx>