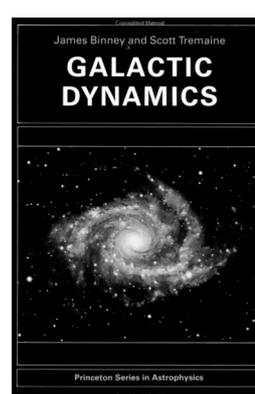
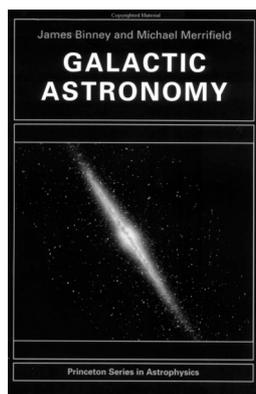
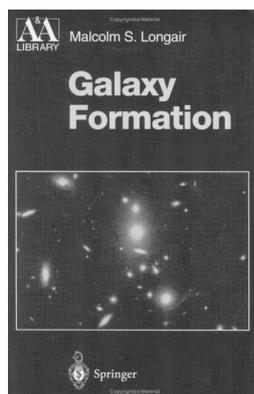


ECOLE DOCTORALE DE PARIS  
Enseignement thématique des parcours M2 – Recherche –  
**J1 Galaxies**

**"Propriétés et observations des galaxies non-résolues en étoiles"**

David Elbaz (delbaz@cea.fr)  
Service d'Astrophysique - CEA Saclay  
resp. laboratoire "Cosmologie & Evolution des Galaxies" (CEG)  
Tel: 01-69-08-54-39  
Fax: 01-69-08-65-77

Livres recommandés



+ livre Françoise Combes

Plan du cours: Propriétés et observations des galaxies non-résolues en étoiles

Introduction générale du cours, la problématique

1. Historique sur la découverte des galaxies
2. La Voie Lactée
3. Classification morphologique des galaxies
4. Distribution des galaxies aux grandes échelles
5. Ségrégation morphologique, bimodalité et effets d'environnement
6. Propriétés photométriques des galaxies
7. Distances, volumes et âges en cosmologie
8. Modéliser l'histoire de la formation d'étoiles
9. Mesurer la formation d'étoiles dans les galaxies
10. Emission infrarouge des galaxies
11. Galaxies et cosmologie

Cours accessible sur le WEB:  
<http://david.elbaz3.free.fr/coursJ1.htm>

**"Propriétés et observations des galaxies non-résolues en étoiles"**

cours de David Elbaz (delbaz@cea.fr) du lundi 6 février au lundi 6 mars 2006

Enseignement thématique des parcours M2 – Recherche – J1 Galaxies

ECOLE DOCTORALE DE PARIS

Adresse:  
Service d'Astrophysique  
CEA Saclay, Orme des Merisiers  
F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex  
FRANCE  
Tel: (33-1) 69-08-54-39

1	Historique sur la découverte des galaxies	6 Février
2	La Voie Lactée	6 Février
3	Morphologie des galaxies	6 Février -> Sect.3.7, 13 Février
4	Distribution des galaxies aux grandes échelles	13 Février
5	Propriétés photométriques des galaxies	13 Février -> Sect.5.3, 20 Février -> lookback time
6	Modéliser l'évolution des galaxies	27 Février (+fin Chap.5)
7	Mesurer la formation d'étoiles dans les galaxies	6 Mars
8	Emission infrarouge des galaxies	6 Mars
9	Galaxies et cosmologie	6 Mars

## Introduction générale du cours, la problématique

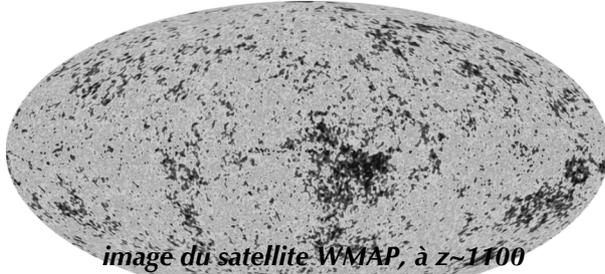


image du satellite WMAP, à  $z \sim 1100$   
Wilkinson Microwave Anisotropy Probe

Fluctuations primordiales: ?  
 $\delta\rho/\rho = \delta T/T \approx 10^{-5}$



galaxies:  $\delta\rho/\rho \approx 10^6$

## Introduction générale du cours, la problématique: origine des structures...

Cosmic Microwave Background (radio, pique à 0.2 cm)

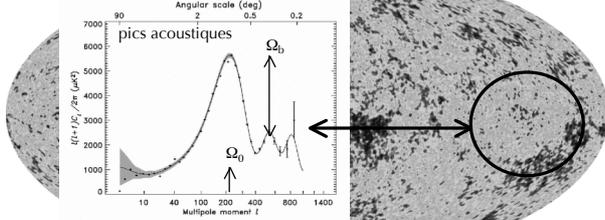
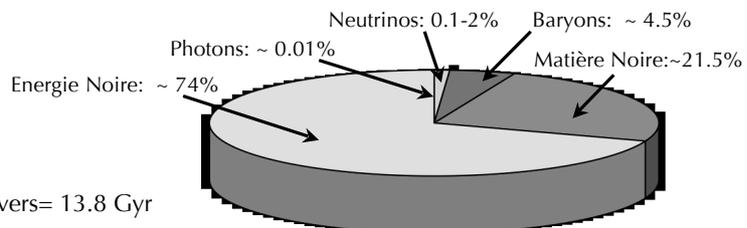
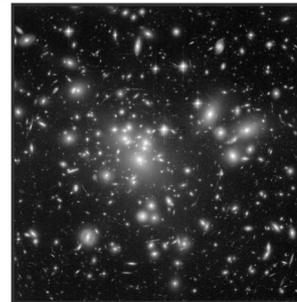


image du satellite WMAP, à  $z \sim 1100$

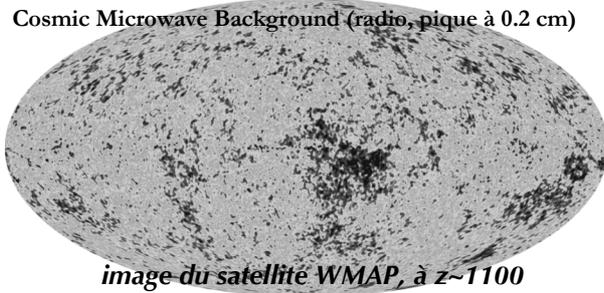


âge actuel de l'univers= 13.8 Gyr

pour:  $H_0=71$  km/s/Mpc ,  $\Omega_m=0.26$  ,  $\Omega_\Lambda=0.74$

## Introduction générale du cours, la problématique: origine des structures...

Cosmic Microwave Background (radio, pique à 0.2 cm)



*image du satellite WMAP, à z~1100*



Fluctuations primordiales:  
 $\delta\rho/\rho = \delta T/T \approx 10^{-5}$

Object	$\rho$ [g cm <sup>-3</sup> ]	$n_p$ [cm <sup>-3</sup> ]	$\delta\rho/\rho$	Radius	D/R	$V_{rel}$ [km s <sup>-1</sup> ]	$N_{smallobj.}$
Universe	10 <sup>-30</sup>	10 <sup>-6</sup>	0	~6 Gpc	-	-	10 <sup>0</sup>
groups/clusters	10 <sup>-28</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>2</sup>	1 Mpc	10	500	10 <sup>2</sup>
galaxies	10 <sup>-24</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>6</sup>	10 kpc	20	700	10 <sup>11</sup>
stars	10 <sup>+1</sup>	10 <sup>24</sup>	10 <sup>30</sup>	10 <sup>6</sup> km	10 <sup>8</sup>	300	-
neutron-stars	10 <sup>14</sup>	10 <sup>38</sup>	10 <sup>44</sup>	10 <sup>1</sup> km	-	-	-

$\rho$ : mass density  
 $n_p$ : proton number density  
 $\delta\rho/\rho$ : over density relative to mean density of the universe  
 R: average radius of objects  
 D/R: average distance between objects relative to their size  
 $V_{rel}$ : typical relative velocity between objects  
 $N_{smaller}$ : number of next smaller objects contained in structure

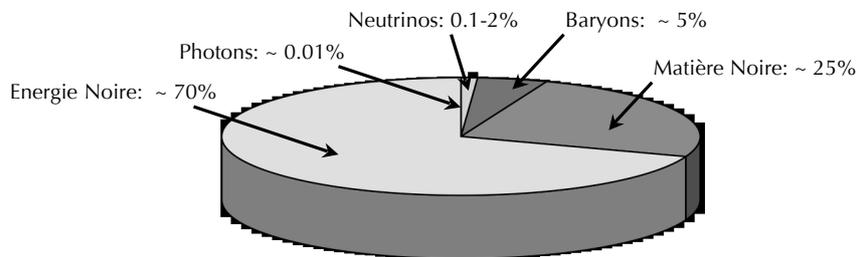
J1 Galaxies - David Elbaz

## Introduction générale du cours, la problématique: origine des structures...

âge actuel de l'univers= 13.8 Gyr

pour:  $H_0=71$  km/s/Mpc ,  $\Omega_m=0.26$  ,  $\Omega_\Lambda=0.74$

Rayon univers visible =  $45 \times 10^9$  a.l. =  $4.3 \times 10^{14}$  km



J1 Galaxies - David Elbaz

1- Historique sur les Galaxies

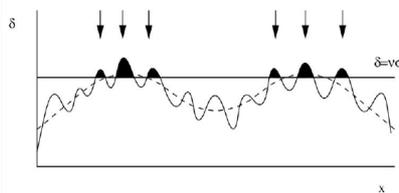
Page 8

## Schéma de la formation des galaxies selon le "modèle concordant"

Selon le modèle concordant, appelé  $\Lambda$ CDM, pour Cold Dark Matter, où cette matière noire froide représente 25 % de la densité d'énergie de l'univers tandis que 70 % sont dus à la constante cosmologique ( $\Lambda$ ), les galaxies se sont formées à partir de halos de matière noire (non dissipative) qui ont agi comme des puits de potentiel gravitationnel dans lesquels sont tombés les baryons avec une efficacité de l'ordre de 1 pour 10.

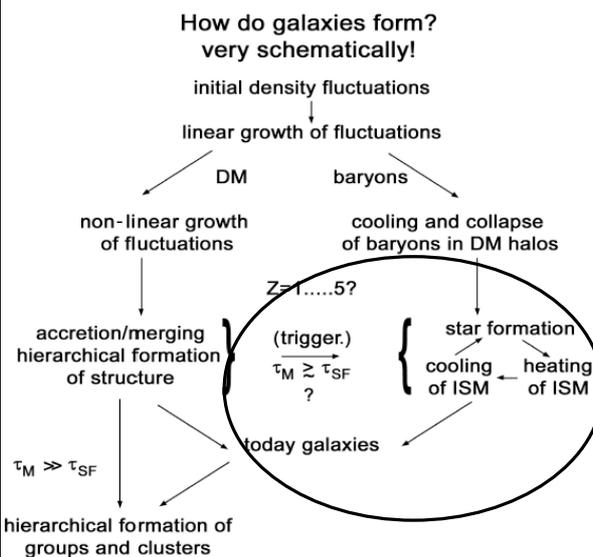
La densité moyenne de l'univers,  $\langle \rho \rangle$ , a diminué à mesure qu'il s'est étendu, mais les régions de l'univers où la densité est supérieure à  $\rho_c = 1.686 \times \langle \rho \rangle$ , ou  $\delta = \rho / \rho_c = 1.686$  (cf cours Mellier & Peacock 2003, astro-ph/0309240), se sont effondrées sous l'effet de la gravité se découplant ainsi de l'expansion.

Durant le premier milliard d'années après le Big Bang, des galaxies naines se sont formées (tailles  $\sim$ kpc, masses  $\sim 10^9 M_\odot$ ). Aujourd'hui, ce sont les amas de galaxies (tailles  $\sim$ Mpc, masses  $\sim 10^{15} M_\odot$ ). Les galaxies situées dans les pics de densité superposés à des fluctuations de basse fréquence se sont formées plus tôt et ont donné lieu aux germes des amas de galaxies actuels et des galaxies massives.



Le but de ce cours est de raconter l'histoire de ces galaxies, ce qui s'est passé après l'effondrement des baryons, depuis la formation des 1<sup>ères</sup> étoiles. Cette histoire est loin d'être achevée et mon objectif est donc de vous donner les outils nécessaires pour que vous y participiez.

## Schéma de la formation des galaxies selon le "modèle concordant"



Les paramètres cosmologiques (densités d'énergie, constante de Hubble mesurant la rapidité d'expansion) sont relativement bien établis, même s'il reste de nombreuses questions...

Le comportement de la matière sombre est paradoxalement plus facile à modéliser (seule interaction à agir = gravité), bien que sa nature reste inconnue.

La difficulté qui résiste le plus est finalement plutôt la physique de la naissance des étoiles, 10 % des baryons aujourd'hui, i.e. 0.5 % de la densité d'énergie de l'univers !

## Simulations numériques de la formation des structures

$z = 5$   
Age = 1.2 Gyr

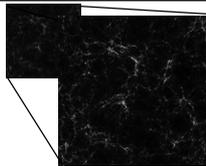


Simulations: Romain Teyssier

## Simulations numériques de la formation des structures

$z = 5$   
Age = 1.2 Gyr

$z = 2$   
Age = 3.5 Gyr



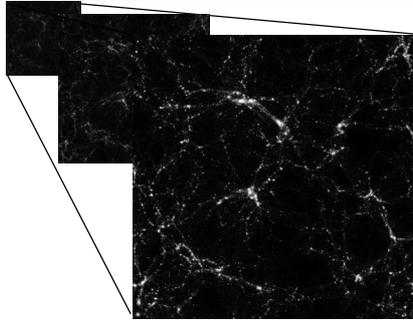
Simulations: Romain Teyssier

## Simulations numériques de la formation des structures

$z = 5$   
Age = 1.2 Gyr

$z = 2$   
Age = 3.5 Gyr

$z = 1$   
Age = 5.8 Gyr



Simulations: Romain Teyssier

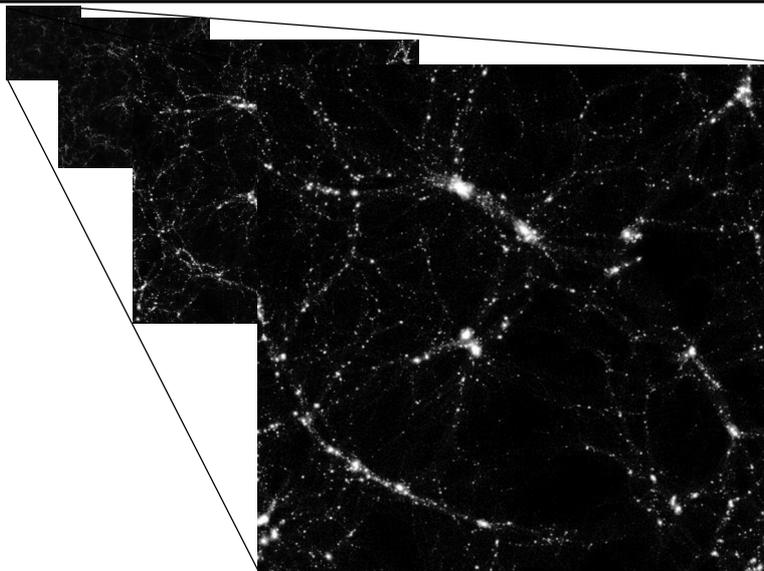
## Simulations numériques de la formation des structures

$z = 5$   
Age = 1.2 Gyr

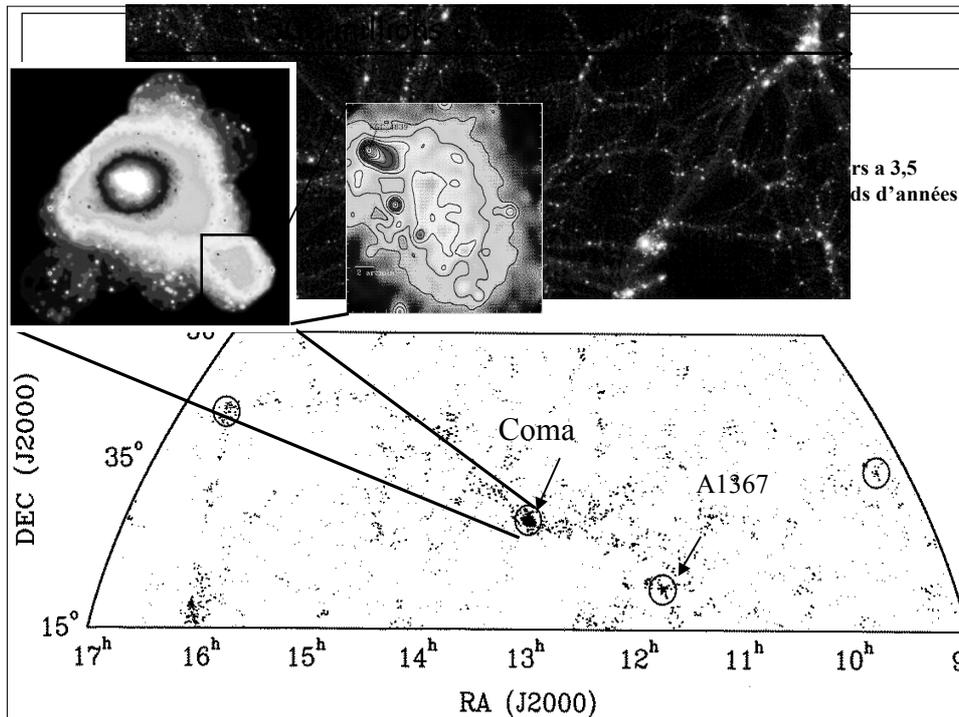
$z = 2$   
Age = 3.5 Gyr

$z = 1$   
Age = 5.8 Gyr

$z = 0$   
Age = 13.8 Gyr



Simulations: Romain Teyssier



### Localisation des galaxies + quelques chiffres

Aujourd'hui, la majorité des galaxies appartiennent à des "groupes de galaxies", tandis que près de 10% sont dans des amas.

Les groupes de galaxies contiennent typiquement moins de 50 galaxies dans un diamètre de 1 à 2 Megaparsecs. Leur masse totale est de  $\sim 10^{13} M_{\odot}$  et la dispersion de vitesses des galaxies  $\sim 150 \text{ km s}^{-1}$ .

Les amas de galaxies sont les plus grandes structures gravitationnellement liées. Ils ne subissent pas l'expansion de l'univers, contrairement à toutes les structures plus grandes. Leur masse est si grande ( $\sim 10^{14-15} M_{\odot}$ ) que le gaz qu'ils contiennent possède une température de  $10^7-10^8 \text{ K}$  (i.e.  $> 1 \text{ keV}$ , N.B.:  $1 \text{ eV} = 11605 \text{ K}$ ). Ils contiennent typiquement de 50 à 1000 galaxies et ont un diamètre de 2 à 10 Mpc, pour une dispersion de vitesses de  $800-1000 \text{ km s}^{-1}$ .

1 Mpc =	$3.0856 \times 10^{22} \text{ m}$
1 parsec =	$3.26 \text{ a.l. (années-lumière)}$
	= distance d'où la distance terre-soleil (u.a.) sous-tend un angle de 1 seconde d'arc
1 a.l.=	$9.5 \times 10^{12} \text{ km}$
1 u.a.=	$1.5 \times 10^8 \text{ km}$ (unité astronomique)
1 $M_{\odot}$ =	$1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$

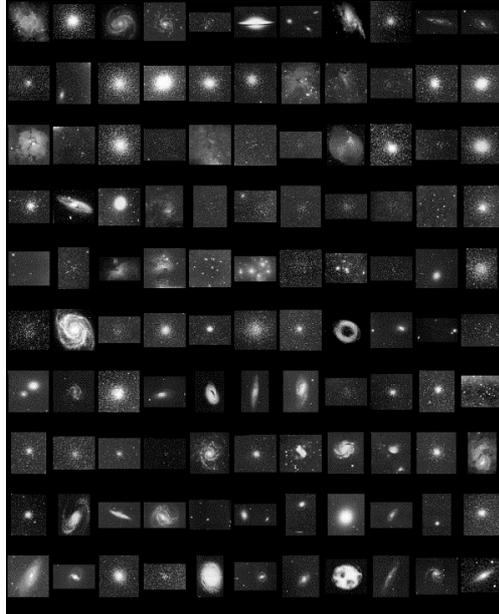
## Historique sur la découverte des galaxies

1. Pré-histoire des galaxies
2. Le catalogue de nébuleuses de Charles Messier
3. Les grands catalogues de galaxies
4. Dénomination de galaxies plus récentes
5. Recherches d'informations sur le WEB

### 1.1 Pré-histoire des galaxies

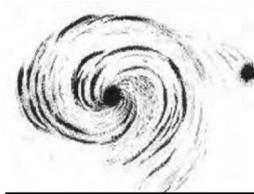
- **Etymologie:** *galaxie* de *gala* = lait en grec, *Via Lactea* pour les Romains.
- **Mythologie:** quelques gouttes de lait qu'Hercule fit jaillir en mordant le sein de Junon. Ou encore: le sillage enflammé laissé par Phaéton dans sa course désordonnée à travers le ciel sur le char du Soleil. Selon Ovide: le *chemin des Dieux*, la *voie de l'Immortalité*, qui conduisait les héros au palais de Jupiter. Les Arabes lui donnaient le nom de fleuve céleste.
- **Nature:** Aristote (384-322 av JC) regardait la V.L. comme un météore. Pourtant Démocrite (460-370 av JC), qui vivait quatre siècles avant notre ère, enseignait qu'elle devait être un amas d'étoiles trop petites et trop pressées pour pouvoir être discernées. Confirmation vingt siècles plus tard, en 1610, par Galilée (1564-1642) et sa lunette.
- Kant (1724-1804): « Histoire générale de la nature et théorie des cieux »  
rotation + gravité  $\Rightarrow$  aplatissement disque  $\Rightarrow$  plan galactique  
très grande échelle  $\Rightarrow$  lente période de rotation  $\Rightarrow$  mouvements imperceptibles  
Nébuleuses = "univers-îles"
- Fin XVIII<sup>e</sup> s.: puissance accrue des télescopes pour étudier les nébuleuses.

## Les 110 nébuleuses du catalogue de Messier (1784)



## Historique sur la découverte des galaxies

- 1845: Lord Rosse (William Parsons) découvre l'existence de **deux populations** de nébuleuses grâce à son télescope de 1.80m:
  - les unes avec une distribution de lumière **régulière et elliptique**
  - les autres moins symétriques avec une **structure en spirale**.
- Il a aussi résolu l'intérieur des nébuleuses spiralées et découvert qu'elles étaient **constituées de sources ponctuelles**, ce qui renforçait l'hypothèse de Kant des univers-îles.
- A la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, l'utilisation de **plaques photographiques** a révolutionné l'astronomie: on pouvait effectuer de longues poses et découvrir des objets invisibles à l'œil nu. On s'est alors attaqué à déterminer la forme de la Voie Lactée.
- En supposant que toutes les étoiles rayonnent la même puissance, Herschel (1785) avait déduit que la Voie Lactée était de forme oblongue et dont nous occupions le centre. Kapteyn (1922) a coordonné une équipe internationale d'astronomes. A l'aide de plaques photos, il a mesuré les mouvements propres des étoiles et leurs mouvements radiaux grâce au décalage Doppler. Il en a déduit une distribution 3D où à nouveau nous occupions presque le centre (à 650 pc du centre), là où se trouvaient 10 % des étoiles= l'univers de Kapteyn, qui pose le problème anthropique de l'homme au centre de l'univers.
- Une alternative s'est imposée à Kapteyn: la présence d'un milieu interstellaire absorbant !



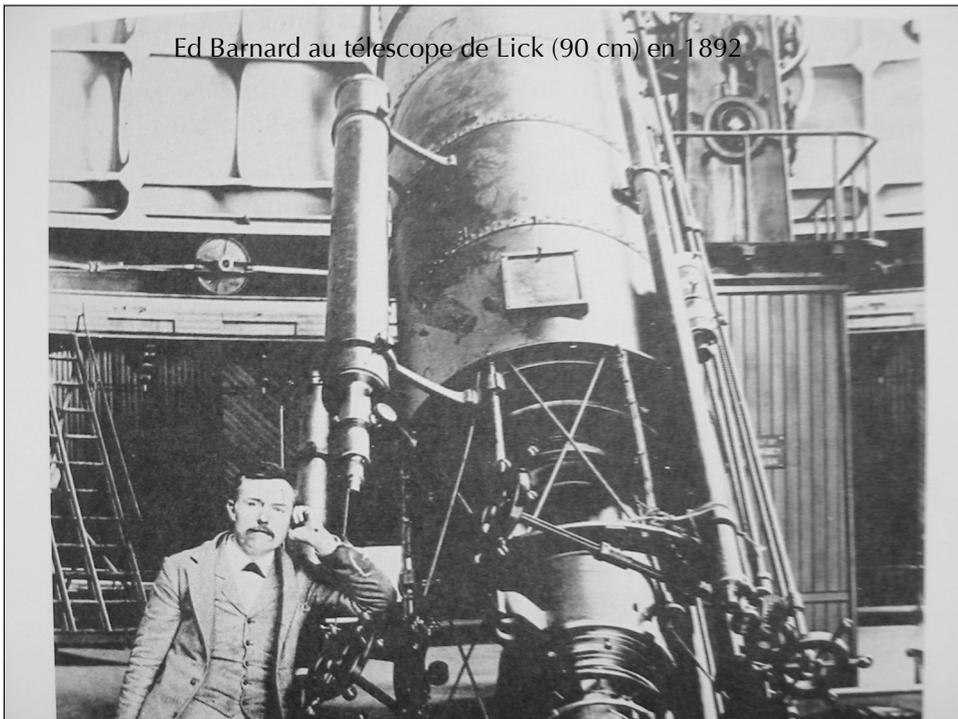
M51 (les Chiens de Chasse)  
vue par Lord Rosse

### Le rôle de l'extinction par la poussière interstellaire

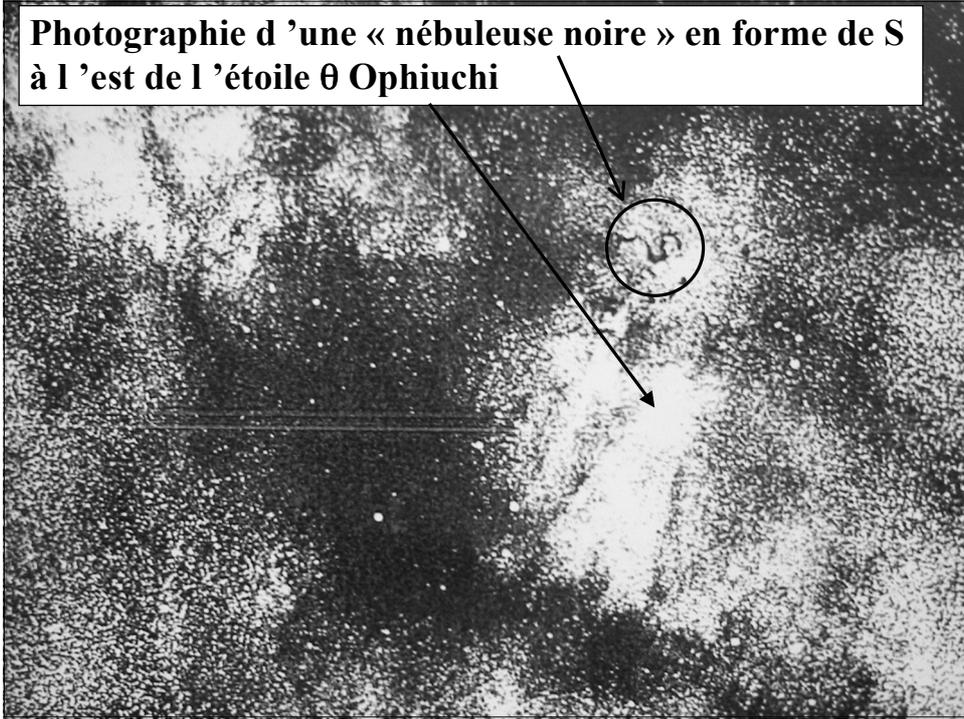
- L'absorption de la lumière des étoiles par un **milieu absorbant** nous donnerait l'impression de nous situer au centre de la Voie Lactée. Certaines zones sombres de la Voie Lactée indiquaient déjà cet effet, s'ils étaient dûs à des vides d'étoiles, ces vides auraient dû s'étendre en de longs couloirs pointant dans notre direction, pour expliquer que l'on ne voit pas d'étoile derrière...
- La **diffusion de Rayleigh** par un gaz interstellaire étant plus efficace pour le bleu que le rouge, Kapteyn a utilisé le rougissement des étoiles pour mesurer un effet qui s'est révélé être **négligeable**...
- En réalité, nous savons aujourd'hui que la lumière des étoiles est affectée par l'absorption par la **poussière interstellaire** plus que par la diffusion due au gaz. La dépendance en longueur d'onde de l'absorption par la poussière étant plus faible que celle de la diffusion de Rayleigh, le rougissement observé des étoiles en fonction de leur distance implique une bien plus grande quantité d'obscuration et donc des distances bien plus grandes des étoiles rouges... Mais il faudra attendre 1930 pour que Trumpler le démontre par l'étude d'amas stellaire ouverts dont il a supposé qu'ils avaient tous la même taille pour en mesurer les distances.



Ed Barnard au télescope de Lick (90 cm) en 1892



**Photographie d'une « nébuleuse noire » en forme de S  
à l'est de l'étoile  $\theta$  Ophiuchi**



"Serpent" ou nébuleuse "S" (Barnard 72), Edwin Barnard ApJ (1919):  
"On the Dark Markings of the Sky with a Catalog of 182 such Objects"

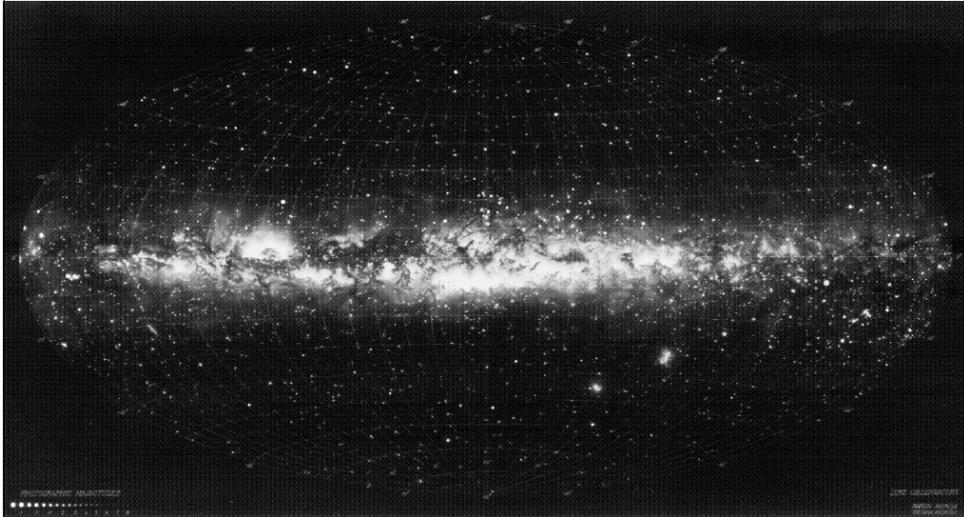
« Je pense que certaines d'entre elles vont bientôt autant attirer l'attention que les nébuleuses »



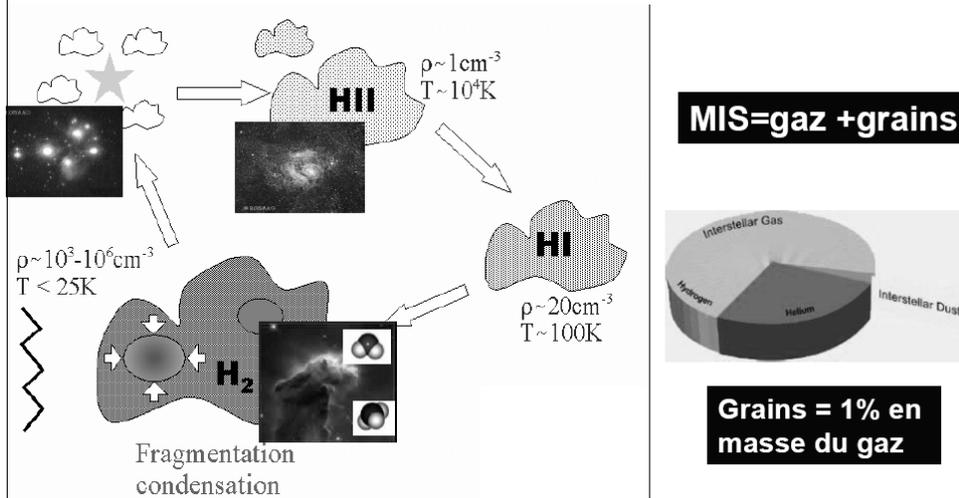
**« Personne ne peut supposer un instant que cette trace soit autre chose  
qu'un vide entre les étoiles »**

© 1998 Jerry Lodriguss

## La Voie Lactée



## Le cycle de la poussière

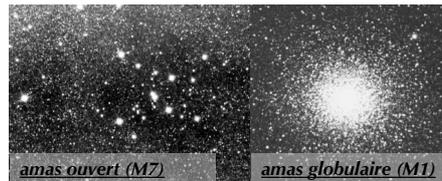


## L'extinction par la poussière interstellaire

- Plus tard, Arthur Eddington démontrera qu'il s'agit de matière entre les étoiles.
- Parallèlement, Wilhelm Struve mit en évidence l'existence d'une extinction interstellaire dès 1847 en observant que le nombre d'étoiles par unité de volume diminuait avec la distance au Soleil. Jacobus C. Kapteyn arriva à la même conclusion au début du XX<sup>ème</sup> siècle et, en considérant une densité stellaire réelle constante, calcula une extinction d'environ 1.6 mag.kpc<sup>-1</sup> (magnitude visuelle, V), peu différente de la valeur actuellement admise.
- En fait, comme le découvrit Schalén en 1929, les valeurs des coefficients d'extinction varient en fonction de la ligne de visée.
- La loi d'extinction dans la galaxie a été plus précisément étudiée entre l'UV (grâce au satellite IUE, *International Ultraviolet Explorer*) et le moyen IR: entre 0.12 et 10  $\mu$ m. Les premières modélisations remontent à 1979 (Seaton) qui consistent à ajuster une fonction simple autour de points de mesure pour une direction donnée du ciel.

## Les amas stellaires "ouverts" ou "globulaires"

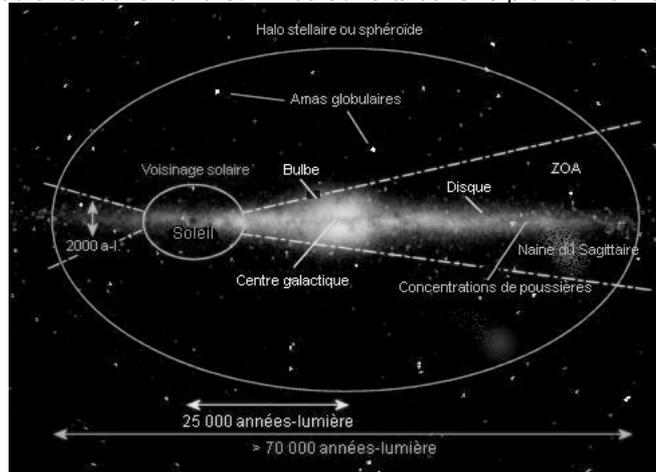
- Les **amas ouverts**, utilisés par Trumpler, sont des associations de quelques centaines d'étoiles proches du plan de la Voie Lactée.
- **Shapley (1918)** utilise les **amas globulaires**. L'avantage est que ces systèmes sphériques (originellement classés comme des nébuleuses, constitués de 10,000 à 1 million d'étoiles) sont distribués sur tout le ciel, et non sur une bande, avec une **sur-densité dans la direction de la constellation du Sagittaire**, là où la Voie Lactée est la plus brillante. Shapley utilise deux techniques pour mesurer la distance des amas globulaires: (1) leur taille et luminosité supposées universelles, (2) les étoiles variables (céphéides) dont la relation entre variabilité et luminosité est connue.
- L'utilisation d'étoiles variables de luminosité intrinsèque connue et de la taille apparente des amas globulaires (en supposant qu'ils étaient tous de taille identique) a permis à Shapley de déduire que nous étions situés à **15 kpc du centre de la V.L.**, qui elle-même avait une taille de **100 kpc de diamètre**. Il en déduit que l'idée des univers-îles de Emmanuel Kant était fautive et qu'il n'y avait qu'une seule galaxie dans l'univers, la V.L. étant déjà bien assez grande.



## Distribution spatiale des populations stellaires de la V.L.

ZOA= zone of avoidance= région inaccessible à l'œil à cause de l'absorption dans la ligne de visée par la poussière interstellaire.

Amas globulaires dans le halo. Amas ouverts dans le plan de la Voie Lactée et bulbe.



## Le Grand Débat: les nébuleuses sont-elles des univers-îles ?

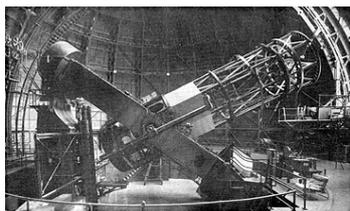
- Le débat (Avr.1920) sur cette question avec **Heber Curtis** qui soutenait que les nébuleuses spirales étaient d'autres galaxies fut connu sous le nom de **Grand Débat**. Curtis utilisait la même technique que Shapley mais appliquée aux nébuleuses spirales: on trouve des nébuleuses spirales comme Andromède (M31), qui s'étale sur plus de  $2^\circ$  sur le ciel, et d'autres qui ne font que quelques secondes d'arc. Si les objets avaient des tailles et des luminosités comparables, cela impliquait que leurs distances s'étalent sur plus de 1000 fois celle de M31, i.e. bien plus que la taille de la V.L. selon Shapley.
- Curtis avait calculé une distance de 100 kpc pour M31 à l'aide de novae et en déduisit une taille de 3 kpc, similaire à celle estimée pour la V.L. par Kapteyn, ce qui impliquait que M31 était une galaxie similaire à la V.L.
- 2 erreurs qui s'annulent chez Curtis:
  - (i) Il ne s'agissait pas de novae mais de supernovae dans M31, qui sont 100 fois plus lumineuses. La distance de M31 n'est pas de 100 kpc mais de 680 kpc...
    - **1 supernova rayonne une énergie totale de  $10^{51}$  ergs, i.e.  $10^{44}$  J, et possède une luminosité typique de  $10^{41}$  ergs/s=  $10^8 L_\odot$  pendant une durée limitée.**
    - **une nova rayonne une énergie totale de  $10^{45}$  ergs, i.e.  $10^{38}$  J, et produit pendant quelques semaines une luminosité typique de  $10^{39}$  ergs/s=  $10^6 L_\odot$ .**
  - (ii) La taille de la V.L. n'est pas de 3 kpc mais de 30 kpc.

## Les causes du grand débat et sa résolution

- Shapley de son côté avait remarqué que les étoiles des nébuleuses spirales étaient plus bleues que celles de la V.L. et en déduisit qu'il ne s'agissait pas des mêmes systèmes, mais nous savons aujourd'hui que les étoiles de la V.L. étant vues **dans le plan du disque, elles subissent une plus forte extinction par la poussière.**
- **Les deux camps avaient utilisé au mieux leurs données:**
  - De son côté, Shapley avait proposé la meilleure estimation de la taille de la V.L. et de la position du soleil dans la V.L.
  - Curtis avait raison sur la véritable nature des nébuleuses spirales.
- La confusion qui a régné dans le débat venait de:
  - (i) l'utilisation par Curtis du modèle de Kapteyn pour la V.L.
  - (ii) l'utilisation par Shapley des mesures de vitesses de rotation des étoiles des nébuleuses spirales réalisées par Adriaan van Maanen, qui impliqueraient des vitesses de rotation super-luminiques si les nébuleuses avaient été extragalactiques ! Mais ces mesures faites sur des plaques photos des mouvements propres des étoiles des nébuleuses au cours de plusieurs années étaient fausses !...
- On avait constaté que le décalage **Doppler mesuré dans le spectre des nébuleuses était plus grand** que celui des étoiles individuelles, ce qui indiquait qu'elles étaient plus distantes que celles-ci. Mais le fait que toutes les nébuleuses aient un décalage vers le rouge comme si elles fuyaient la V.L. restait incompréhensible... Il faudra attendre Hubble et la découverte du Big Bang pour comprendre.

## Les nébuleuses sont bien des "univers-îles"

- En 5 ans, **Edwin Hubble** résolut la controverse grâce à l'utilisation du **télescope Hooker de 2.50m de diamètre à l'observatoire du mont Wilson.**



(localisé à 1742 m d'altitude près de Los Angeles; Hooker est le nom du donateur, comme Keck pour les télescopes de 10 m de Hawaïi).

*Le diamètre du télescope spatial Hubble est de 2.40m ! Celui du Mont Palomar qui détrône Mont Wilson en 1948 est de 5 m.*

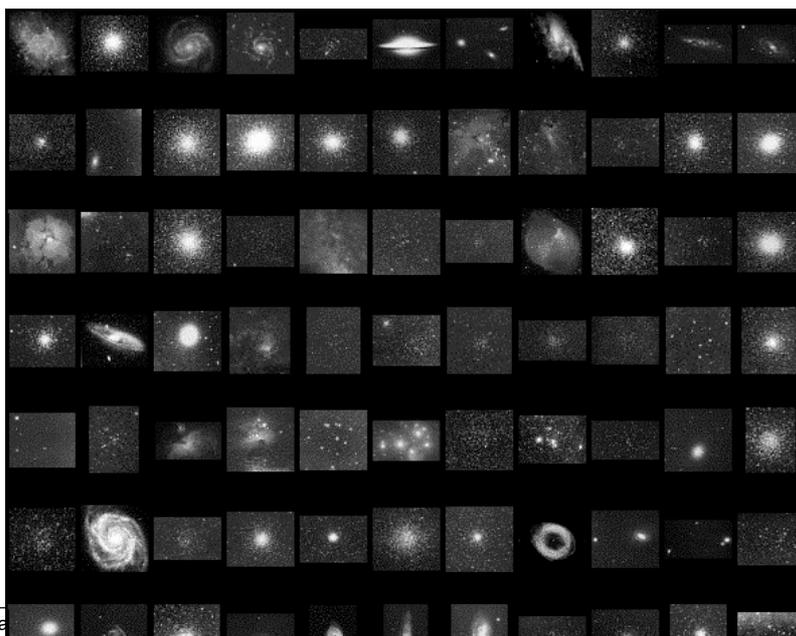
- Les parties externes de deux nébuleuses spirales étaient composées de myriades d'étoiles, qui devaient être localisées à de très grandes distances si elles étaient similaires aux étoiles les plus lumineuses de la V.L.
- En **1923**, il découvrit que la brillance de certaines d'entre elles variait de manière similaire aux étoiles variables de type Céphéides. La distance de M31 estimée de cette manière était de 300 kpc, donc supérieure à la taille de la V.L. Une calibration plus fine des Céphéides démontrera plus tard que la distance réelle de M31 est de 680 kpc, mais la conclusion reste.  
⇒ *Les nébuleuses spirales sont des galaxies spirales, tandis que la plupart de celles qui ne présentent aucune particularité sont des galaxies elliptiques.*

*retour sur le nébuleuses:*

## 1.2 Le catalogue de nébuleuses de Charles Messier

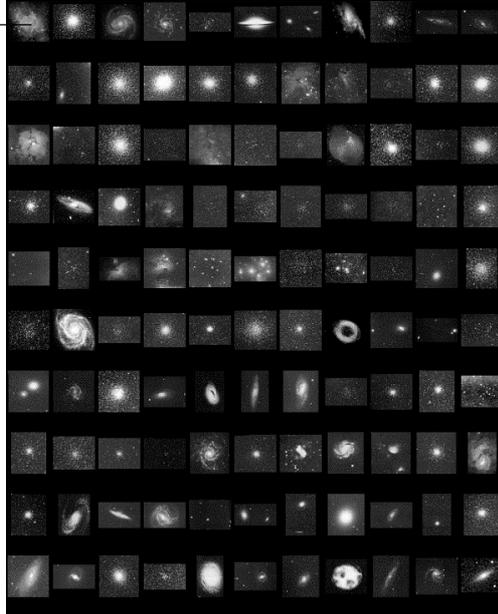
- Catalogue de 110 nébuleuses (hémisphère Nord) du Français Charles Messier (1730-1817), le chasseur de comètes, afin de ne pas confondre les nébuleuses avec les comètes qu'ils étudiait.
- 1<sup>ère</sup> liste de 45 objets publiée en 1771 dans "Les mémoires de l'Académie royale des Sciences"
- Messier découvrit ensuite 58 autres "nébuleuses" et publia le tout en 1784 dans "La connaissance des Temps".
- A la suite de la découverte, il y a quelques dizaines d'années, d'une lettre de Méchain dans l'Almanach de 1786 de l'observatoire de Berlin, 7 objets ressemblant à des nébuleuses y ont été ajoutés ⇒ 110 nébuleuses.
- Tous ces objets sont numérotés et précédés d'un "M". Ce catalogue est encore utilisé aujourd'hui: la grande nébuleuse d'Andromède visible à l'œil nu, notre plus proche voisine similaire à la Voie Lactée, s'appelle M31. La nébuleuse du Crabe s'appelle M1.

## Les 110 nébuleuses du catalogue de Messier



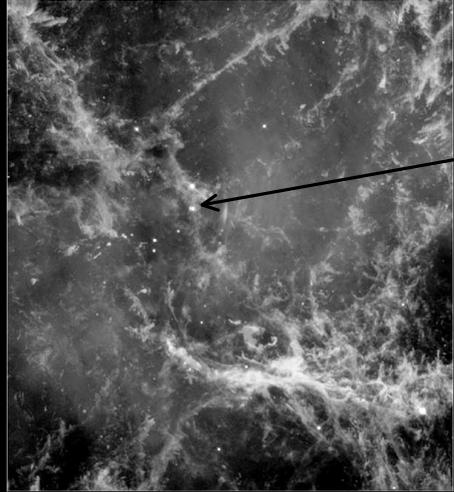
## Les 110 nébuleuses du catalogue de Messier

M1: Crabe, reste de supernova



## M1: la nébuleuse du Crabe, un reste de supernova

Crab Nebula

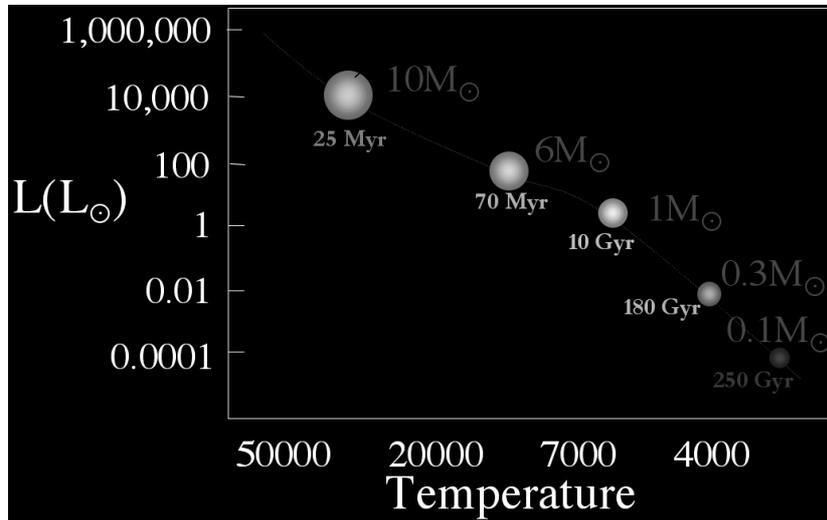


hydrogène (orange), azote (rouge),  
soufre (rose), oxygène (vert)

- Le gaz est le reste de l'enveloppe d'une étoile de 10 masses solaires qui a explosé en supernova au bout de ~25 millions d'années.
- Un pulsar (étoile pulsante, 1.4 masses solaires dans un diamètre de 16 km) reste au centre qui tourne 30 fois par seconde et qui éclaire le résidu de la supernova.
- Vitesse du gaz ~ 1300 km/s
- distance = 6 500 a.l.
- Une nouvelle étoile a été détectée par les Chinois le 4 Juillet 1054 ap.JC. Visible même de jour, elle a disparu au bout de 20 jours.
- C'était la supernova du Crabe

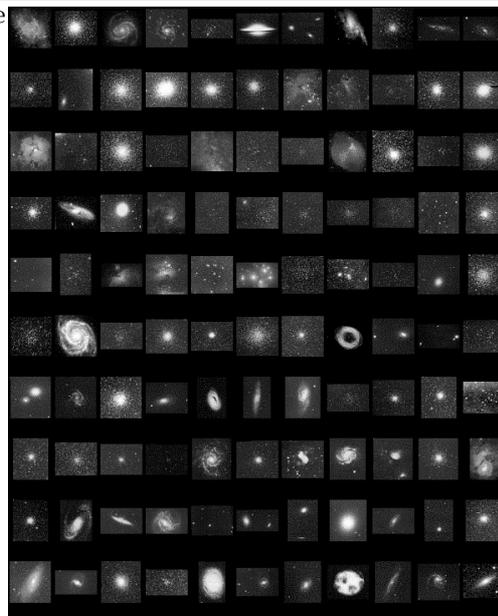
## Relation masse-durée de vie des étoiles

Diagramme de Hertzsprung-Russel (HR) : relation luminosité-température effective



## Les 110 nébuleuses du catalogue de Messier

M1: Crabe, reste de supernova



amas globulaire

## M10 (NGC 6254): un amas globulaire



- Taille apparente= 2/3 lune= 20'
- distance= 14 300 a.l.
- diamètre= 83 a.l.
- [ 1 année-lumière=  $9.5 \times 10^{15}$  km  $\sim 10^{16}$  km]
- Messier: "nébuleuse sans étoiles"
- Herschel le résoud en étoiles

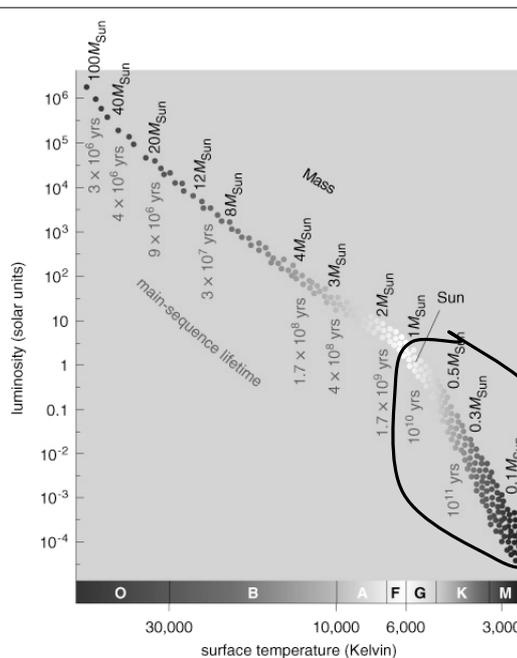
Les amas globulaires= concentrations de 10 000 à 1 million d'étoiles gravitationnellement liées.

La Voie Lactée en possède ~200

Les étoiles des amas globulaires sont vieilles et peu riches en métaux (tous les atomes plus lourds que l'hélium)= étoiles de population II

Leur âge est si grand qu'il pose parfois des problèmes p.r. âge univers

Peuplent le halo sphérique qui englobe le disque de la Voie Lactée



Les étoiles des amas globulaires sont typiquement âgées de ~10 milliards d'années. Elles ont donc des masses inférieures à celle du soleil, sont des étoiles de type supérieur à G, i.e. K, M, ayant des températures de surface inférieures à 6000 K, et des couleurs allant du jaune au rouge.

<b>amas stellaires</b>	<b>amas ouverts</b>		<b>amas globulaires</b>
richesse	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup> étoiles		10 <sup>4</sup> à 10 <sup>6</sup> étoiles
rayon de cœur, r <sub>c</sub> (où brillance=1/2 centrale)	1 pc		1.5 pc
rayon de 1/2 lumière, r <sub>h</sub> (half-light radius; où brillance= 1/2 total)	2 pc		10 pc
rayon limite ou de marée, r <sub>t</sub> (tidal, densité= 0)	10 pc		50 pc
Densité (0.05 M <sub>☉</sub> pc <sup>-3</sup> voisinage solaire !)	100 M <sub>☉</sub> pc <sup>-3</sup>		10 <sup>4</sup> M <sub>☉</sub> pc <sup>-3</sup>
Age	~2x10 <sup>8</sup> ans		10 <sup>10</sup> ans
Masse	250 M <sub>☉</sub>		6x10 <sup>5</sup> M <sub>☉</sub>
Etoiles	Population I = étoiles de 2 <sup>de</sup> génération nées récemment, à partir d'un milieu interstellaire déjà enrichi en métaux (donc étoiles riches en métaux).		Population II. Ils ne contiennent ni gaz, ni poussière, ni étoiles jeunes.
Formation	De nouveaux amas ouverts sont formés de manière continue. Les amas plus vieux ont probablement été disloqués par les perturbations gravitationnelles provoquées par le passage de nuages interstellaires.		Très vieux, ils datent de l'époque de la formation de la V.L. Sphériques et dynamiquement stables.
Localisation	On trouve les amas ouverts dans le disque de la Voie Lactée. Ils sont près de 10 <sup>5</sup> .		Distribution sphérique, halo de la V.L., concentrée vers centre galactique. ~200 dans le halo.

Voies Lactées (Fitzson & King 1975) 1- Historique sur les Galaxies Page 41

### Les 110 nébuleuses du catalogue de Messier

M1: Crabe, reste de supernova

M20: Nébuleuse de Trifide

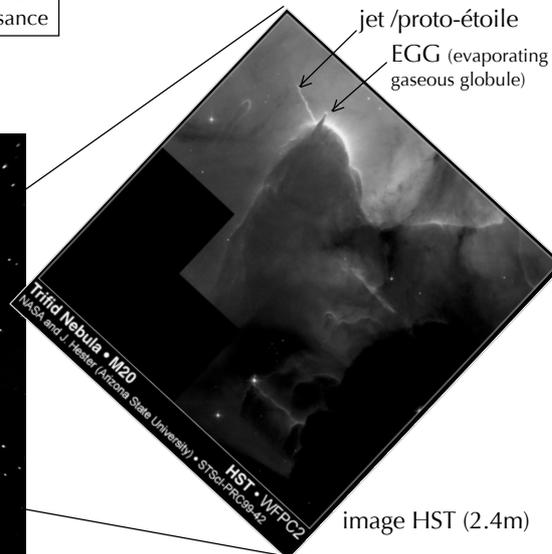
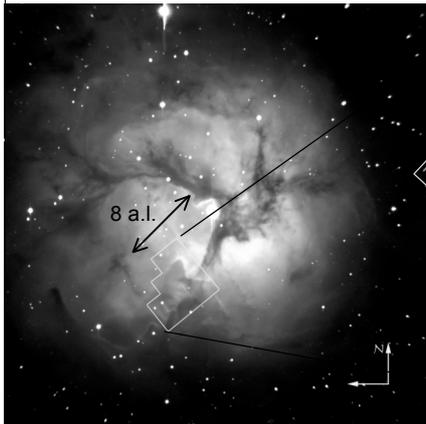
M42: Nébuleuse d'Orion

— amas globulaire

J1 Galaxies - David Elbaz 1- Historique sur les Galaxies Page 42

M20: la nébuleuse par réflexion de Trifide (distance: 9000 a.l.)  
un bel exemple du cycle de la vie des étoiles et donc des galaxies

L'étoile centrale est en train de détruire le nuage moléculaire qui lui a donné naissance



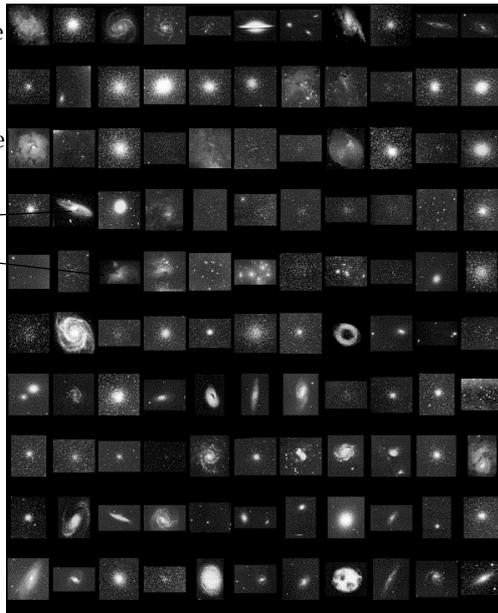
Les 110 nébuleuses du catalogue de Messier

M1: Crabe, reste de supernova

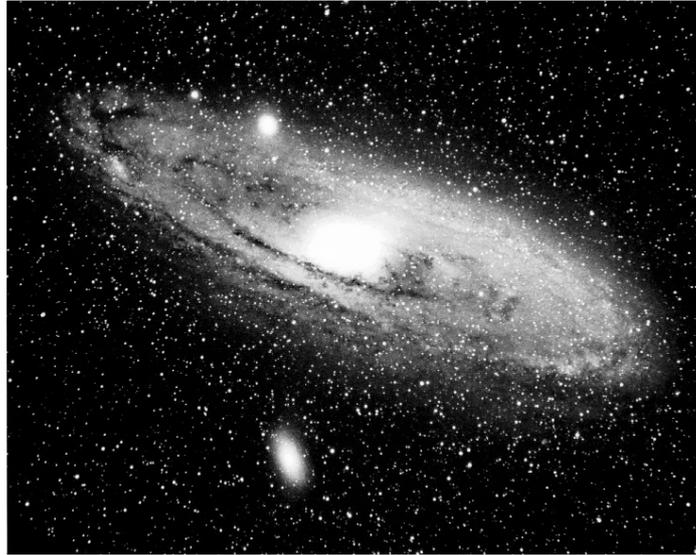
M20: Nébuleuse de Trifide

M31: Andromède

M42: Nébuleuse d'Orion



La galaxie d'Andromède, M31, notre plus proche galaxie massive



d=680 kpc

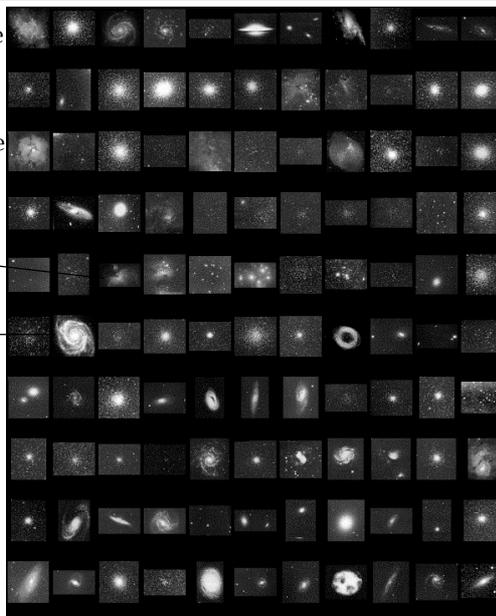
Les 110 nébuleuses du catalogue de Messier

M1: Crabe, reste de supernova

M20: Nébuleuse de Tifide

M42: Nébuleuse d'Orion

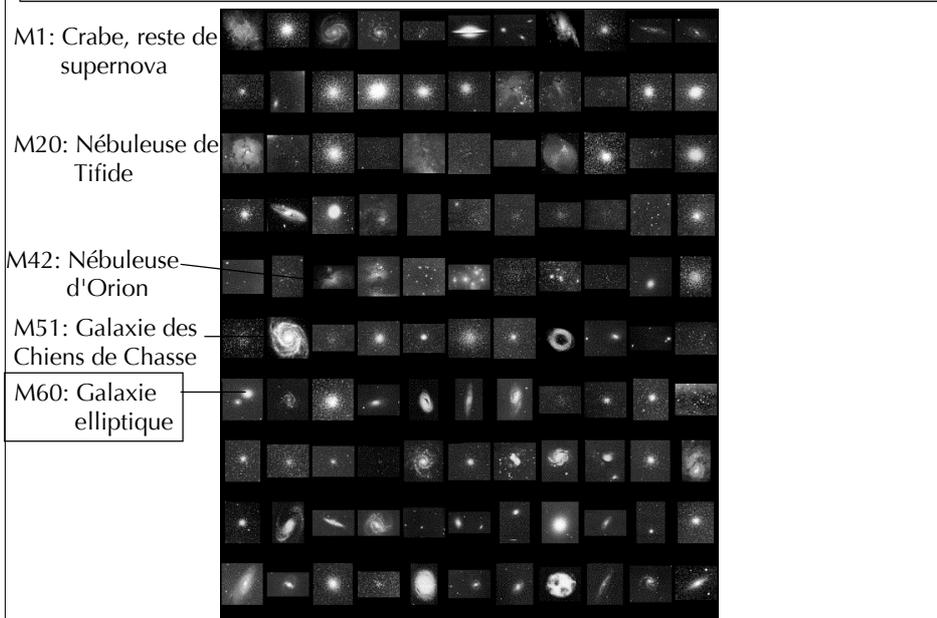
M51: Galaxie des Chiens de Chasse



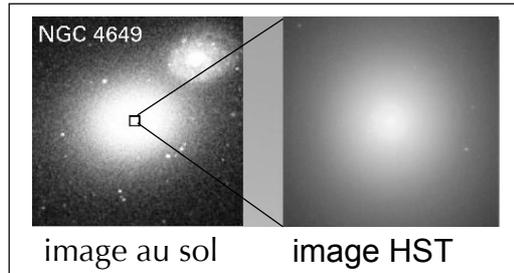
M51: la galaxie des Chiens de Chasse  
un système de galaxies en interactions



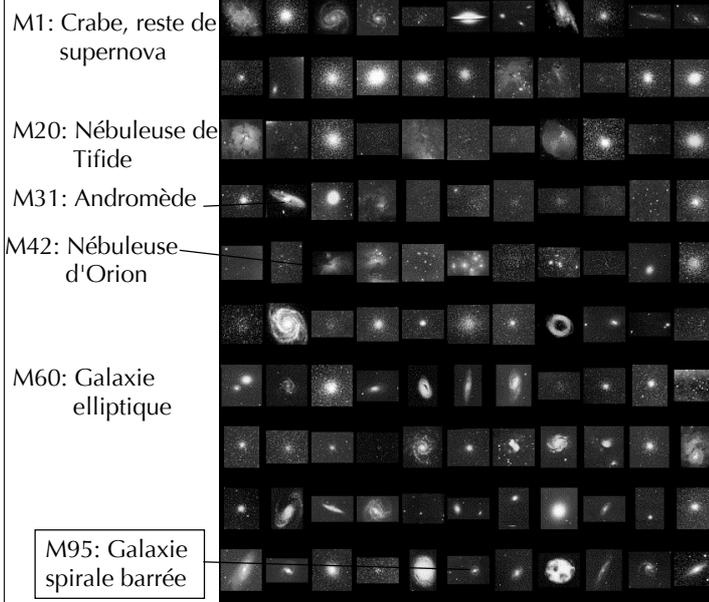
Les 110 nébuleuses du catalogue de Messier



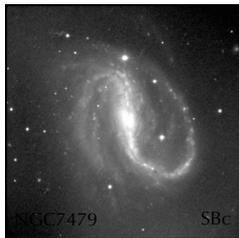
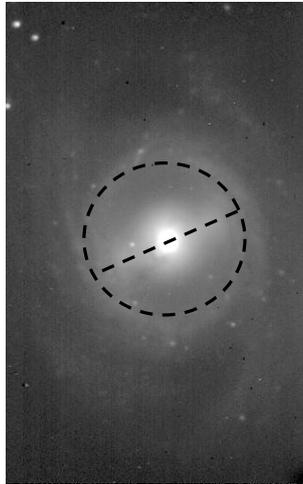
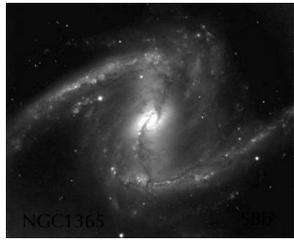
M60 ou NGC 4649: une galaxie elliptique avec un trou noir supermassif de 2 milliards de masses solaires en son centre...



Les 110 nébuleuses du catalogue de Messier



M95: une galaxie spirale barrée (type SBb) + anneau



Les 110 nébuleuses du catalogue de Messier

M1: Crabe, reste de supernova

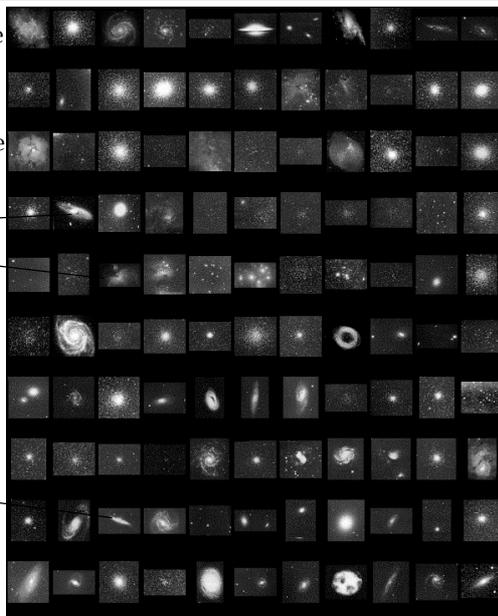
M20: Nébuleuse de Tifide

M31: Andromède

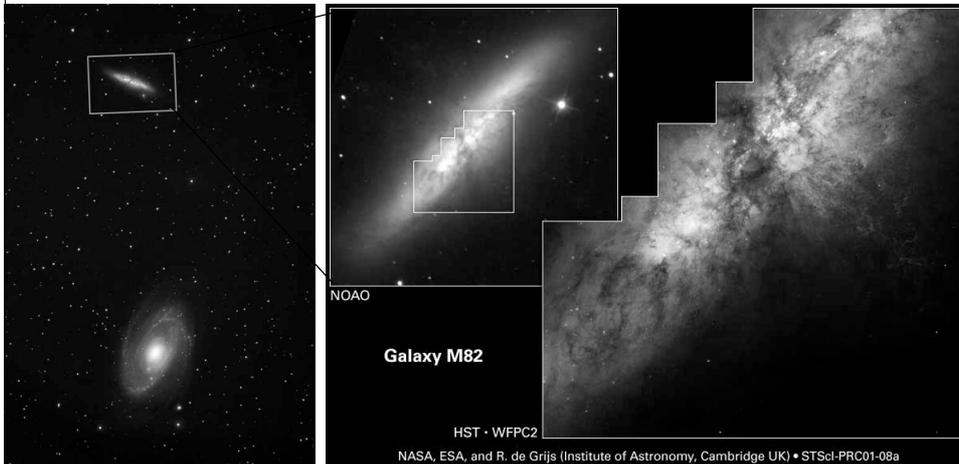
M42: Nébuleuse d'Orion

M60: Galaxie elliptique

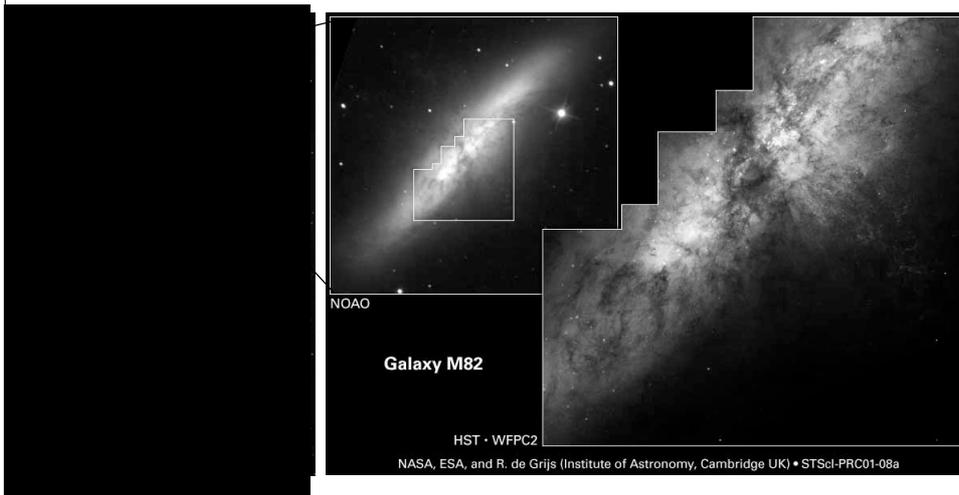
M82: Galaxie irrégulière



M82: la galaxie "cigare"  
une galaxie irrégulière à flambée de formation stellaire



M82: la galaxie "cigare"  
une galaxie irrégulière à flambée de formation stellaire



Un vent galactique s'échappe à 300 km/s de M82  
⇒ lien avec le milieu intergalactique



### Les 110 nébuleuses du catalogue de Messier

**Le catalogue de Messier** contient **110 objets dont uniquement 37 galaxies**  
**le reste est composé de :**

- **29 amas globulaires**
- **28 amas ouverts**
- **7 nébuleuses diffuses**
- **4 nébuleuses planétaires**

Les objets de ce catalogue portent le nom M01 -> M110  
(M31= Andromède)

## 1.3 Les grands catalogues de galaxies

- William Herschel (1738-1822), sa soeur et son fils répertorient 2500 nébuleuses (2 hémisphères) inspirés par Messier (avec télescope de 47.5 cm, puis en 1789, fabrique un télescope de 1.20 m, le plus grand pendant 50 ans !).
- William Herschel est le découvreur de l'infrarouge (en mesurant la température de la lumière sortant d'un prisme au-delà du rouge...), d'où le nom du futur satellite européen infrarouge, Herschel.
- **General Catalog (GC):** par le fils de W.Herschel, John Herschel, publié en 1864 et contenant **5079 galaxies nommées GC#**
- Un siècle plus tard, J.L.E. Dreyer, publie le **New General Catalog** (1888, Mem. Roy. Astron. Soc.49), en abréviation **NGC qui contient 7840 galaxies.**  
Puis deux catalogues complémentaires:  
**IC= Index Catalog**, version I en 1895 (IC I) et II en 1907 (IC II) (**5086 galaxies**)  
Il utilisa un télescope de 1.80m appelé "Leviathan" car c'était le plus grand télescope de l'époque  
**Toutes les images des galaxies NGC sont dans : [http://ngcic.org/dss/dss\\_ngc.htm](http://ngcic.org/dss/dss_ngc.htm)**

## Les grands catalogues de Galaxies proches

"M..."= catalogue de Messier (en 1784) :

**37 galaxies**

"NGC..."= New General Catalog :

**7840 galaxies**

"IC..."= Index Catalog

**5386 galaxies**

Ces catalogues ont été utilisés et complétés pour générer des catalogues complets de galaxies locales jusqu'à une certaine magnitude observée limite (<http://cdsweb.u-strasbg.fr/cats/Cats.htx>) :

**Revised Shapley-Ames catalog (RSA):** Sandage & Tammann (1981). Ce catalogue contient **1249 galaxies de magnitudes  $m_B \leq 13$**  sur tout le ciel (catalogue complet). C'est une révision du catalogue de Shapley-Ames (1932; 1246 galaxies). Ce catalogue contient les positions, magnitudes B, types de Hubble (morphologie) et redshifts des gal.  
(cf [http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/Shapley\\_Ames/RSA\\_contents.html](http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/Shapley_Ames/RSA_contents.html))

**Reference Catalog of Galaxies (RC3):** de Vaucouleurs. 11897 galaxies avec  $m_B \leq 15.5$  et  $cz \leq 15000$  km s<sup>-1</sup>: RC1 (1964): 2599 galaxies, RC2 (1976): 4364 galaxies, RC3 (1991): 23024 gal. Le catalogue contient les positions, magnitudes, tailles et redshifts (si disponibles).

**Uppsala General Catalog (UGC):** Nilson (1973) à partir du Palomar Sky Survey. 12921 galaxies de diamètre apparent  $> 1'$  (+  $m_B \leq 14.5$  issues du CGCG). Le catalogue contient les positions, types, magnitudes, tailles et redshifts (si disponibles). Seulement hémisphère Nord ( $\delta > -2^\circ 30'$ )

**Catalog of Galaxies & Clusters of Galaxies (CGCG):** Zwicky (1961-1968). 29363 galaxies  $m_B \leq 15.7$

**Morphological Catalog of Galaxies (MCG):** Vorontsov-Vel'yaminov (1962-68). 29000 galaxies avec ( $90^\circ > \delta > -33^\circ$ )  $m_B \leq 15.1$  + types morphologiques (classification complexe)

## 1.4 Dénomination de galaxies plus récentes

- X: CXO JHHMMSS.s+DDMMSS objets détectés par Chandra X-Ray Observatory
- XMM JHHMM.m+DDMM objets détectés par l'Observatoire XMM-Newton
- ultra-violet: GALEX JHHMMSS.ss+DDMMSS.ss Galaxy Evolution Explorer
- visible sol: SDSS JHHMMSS.ss+DDMMSS.s Sloan Digital Sky Survey
- 2dFGRS AFFEZNNN (ID suivi du redshift) 2dF Galaxy Redshift Survey
- 2dF GHHMMADDMMMA 2dF Survey (2 degree field)
- visible espace: HST JHHMMSS+DDMMm Hubble Space Telescope
- IR poche: 2MASS JHHMMSSss+DDMMSSs 2Micron All Sky Survey
- IR moyen et lointain: IRAS HHMMm+DDMMa IRAS Point Sources (InfraRed Astronomical Satellite)
- Radio: VLA JHHMMSS+DDMMSS VLA (Very Large Array)

## 1.5. Recherches d'informations sur le WEB

NED: <http://nedwww.ipac.caltech.edu/>

**NASA/IPAC EXTRAGALACTIC DATABASE**

- ▶ Spectra
- ▶ Derived Values - Corrected Velocities, Hubble Flow Distances and Scales
- ▶ Literature filters with Data Content & Topical Keywords
- ▶ 116,564 SDSS DR5 galaxies and QSOs with Redshifts
- ▶ NED Database of Distances, Level 1 (NED-1D)
- ▶ News - Contents and Capabilities
- ▶ Frames

OBJECTS	DATA	LITERATURE	TOOLS	INFO
By Name	Images By Object Name or By Region	References by Object Name	Coordinate Transformation & Extinction Calculator Velocity Calculator	FAQ Introduction
Near Name	Photometry & SEDs	References by Author Name	Cosmology Calculators Extinction-Law Calculators	Features
Near Position	Spectra	Text Search	FTP	NED Source List
Advanced All-Sky	Redshifts	Knowledgebase	X/Y offset to RA/DEC	Team
IAU Format	Positions	Abstracts	Batch Job Submission	Comment
By Refcode	Notes	Thesis Abstracts	Pick Up Batch Job Results	Web Links
	Diameters		Skyplot	Glossary & Lexicon

Interface last updated: 12 Dec 2006

- \* 9.5 million objects
- \* 14.7 million multiwavelength object cross-IDs
- \* 188 thousand associations (candidate cross-IDs)
- \* 1.3 million redshifts
- \* 25.2 million photometric measurements

Database last updated: 12 Dec 2006

- \* 3.6 million diameter measurements
- \* 3.6 million objects linked to 65,000 refereed journal articles
- \* 2.5 million images, maps and external links
- \* 65 thousand notes
- \* 42 thousand abstracts

If your research benefits from the use of NED, we would appreciate the following acknowledgement in your paper: *This research has made use of the NASA/IPAC Extragalactic Database (NED) which is operated by the Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, under contract with the National Aeronautics and Space Administration.*

NASA ipac JPL

ADS: [http://cdsads.u-strasbg.fr/abstract\\_service.html](http://cdsads.u-strasbg.fr/abstract_service.html)  
ou [http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)  
(NASA Astrophysics Data System)

Smithsonian/NASA ADS Astronomy Query Form for

[Sitemap](#) [What's New](#) [Feedback](#) [Basic Search](#) [Preferences](#) [FAQ](#) [HELP](#)

**Hint:** If you want to know how to submit an abstract or insert a comment for your reference, go to the [Feedback](#) link on the query page.

Databases to query:  Astronomy  Physics  arXiv e-prints

Authors: (Last, First M, one per line)  SIMBAD  NED  LPI  IAUC Objects  
 Exact name matching  Object name/position search  
 Require author for selection  Require object for selection  
(  OR  AND  simple logic ) (Combine with:  OR  AND )

Publication Date between  (MM) (YYYY) and  (MM) (YYYY)  
MESSIER 031

Enter Title Words  Require title for selection  
(Combine with:  OR  AND  simple logic  boolean logic )

Enter Abstract Words/Keywords  Require text for selection  
(Combine with:  OR  AND  simple logic  boolean logic )

ADS: [http://cdsads.u-strasbg.fr/abstract\\_service.html](http://cdsads.u-strasbg.fr/abstract_service.html)  
ou [http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)  
(NASA Astrophysics Data System)

Query Results from the ADS Database

[Go to bottom of page](#)

Retrieved 100 abstracts, starting with number 1. Total number selected: 6094.

Sort options

#	Bibcode Authors	Score Title	Date	List of Links Access Control Help
1	<a href="#">2007MNRAS.374.1125M</a> Metz, Manuel; Kroupa, Pavel; Jerjen, Helmut	1.000 The spatial distribution of the Milky Way and Andromeda satellite galaxies	01/2007	A E F X R C U
3	<a href="#">2007ApJ...655L..85M</a> Mackey, A. D.; Huxor, A.; Ferguson, A. M. N.; Tanvir, N. R.; Irwin, M.; Ibata, R.; Bridges, T.; Johnson, R. A.; Lewis, G.	1.000 ACS Photometry of Newly Discovered Globular Clusters in the Outer Halo of M31	02/2007	A E F X R U
4	<a href="#">2007ApJ...654..240R</a> Rosolowsky, E.	1.000 Giant Molecular Clouds in M31. I. Molecular Cloud Properties	01/2007	A E F X R U
5	<a href="#">2007A&amp;A...462..895I</a> Ingrosso, G.; Calchi Novati, S.; de Paolis, F.; Jetzer, Ph.; Nucita, A. A.; Scarpetta, G.; Strafella, F.	1.000 A new analysis of the MEGA M 31 microlensing events	02/2007	A E F X R C U

astro-ph: <http://arxiv.org/find/astro-ph>  
ou <http://fr.arxiv.org/find/astro-ph>

## Search arXiv.org

### Author/title/abstract search

#### Select subject areas to search

Computer Science  Mathematics  Nonlinear Sciences  Physics [archive: astro-ph]  Quantitative Biology

#### Select years to search (default is to search all years)

Past year or the year  or the years from  to

Abstract:	<input type="text"/>	AND	<input type="text"/>
Title:	M31	AND	<input type="text"/>
Abstract:	<input type="text"/>		

Show 25 hits per page

or  selections to default values.

astro-ph: <http://arxiv.org/find/astro-ph>  
ou <http://fr.arxiv.org/find/astro-ph>

Showing results 1 through 25 (of 324 total) for tim31

**1. astro-ph/0702012** [abs, ps, pdf, other] :

Title: Structural Parameters of Mayall II = G1 in M31

Authors: J. Ma (1), R. de Grijs (2), D. Chen (1), S. van den Bergh (3), Z. Fan (1), Z. Wu (1), H. Wu (1), X. Zhou (1), J.Wu (1) ((1)National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences; (2) Department of Physics & Astronomy, The University of Sheffield (3) Dominion Astrophysical Observatory, Herzberg Institute of Astrophysics)

Comments: Accepted for Publication in MNRAS, 9 pages, 4 figures

**2. astro-ph/0701774** [abs, ps, pdf, other] :

Title: A Survey of Compact Star Clusters in the South-West Field of the M31 Disk. Structural Parameters

Authors: I. Sableviciute (1), V. Vanssevicius (1), K. Kodaira (2), D. Narbutis (1), R. Stonkute (1,3), A. Bridzius (1) ((1) Inst. of Physics, Lithuania, (2) The Graduate Univ. for Advanced Studies, Japan, (3) Vilnius Univ. Obs., Lithuania)

Comments: 14 pages, 8 figures, 3 tables  
Journal-ref: Baltic Astron. 15 (2006) 547-560

**3. astro-ph/0701588** [abs, ps, pdf, other] :

Title: Detection of M31 Binaries via High-Cadence Pixel-Lensing Surveys

Authors: D. Kim, S.-J. Chung, M. J. Darnley, J. P. Duke, A. Gould, C. Han, M. A. Ibrahimov, M. Im, Y.-B. Jeon, R. G. Karimov, E. Kerins, C.-U. Lee, A. Newsam, B.-G. Park

Comments: 6 pages, 4 figures

**4. astro-ph/0701066** [abs, pdf] :

Title: An HST Survey of the Disk Cluster Population of M31. I. WFPC2 Pointings

Authors: O. K. Krienke, P.W. Hodge

Comments: 24 pages, 13 figures

Et enfin !...

[Personna](#)

Google™  
France

[Web](#) [Images](#) [Groupes](#) [Actualités](#) [plus »](#)

M31

[Recherche avancée](#)  
[Préférences](#)  
[Outils linguistiques](#)

Rechercher dans :  Web  Pages francophones  Pages : France

[Publicité](#) - [Solutions d'entreprise](#) - [À propos de Google](#) - [Google.com in English](#)

©2007 Google

Google it...

Google  
Images

[Web](#) [Images](#) [Groupes](#) [Actualités](#) [plus »](#)

M31

Rechercher

[Images - Recherche avancée](#)  
[Préférences](#)

Images

Afficher

Toutes les tailles

Résultats 1 - 20 sur un total d'environ 32 400 pour M31. (0,03 secondes)



M31 NGC 224



M31 image by Jason Ware:



m31.jpg



M31, The Andromeda Galaxy  
2500 x 1692 pixels - 737 ko - jpg  
[www.telescopes.cc](http://www.telescopes.cc)



M31.JPG 137821 bytes



... of M31 from the Subaru  
Telescope



m31.jpg



Andromeda M31



TwinOaks Observatory Gallery -  
M31



m31.jpg 234466 bytes