

# *Astrophysique*

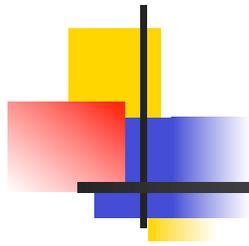
## 18 – Les galaxies (suite)

---



Alain Bouquet

Laboratoire AstroParticule & Cosmologie  
Université Denis Diderot Paris 7, CNRS, Observatoire de Paris & CEA



# **GALAXIES ELLIPTIQUES**

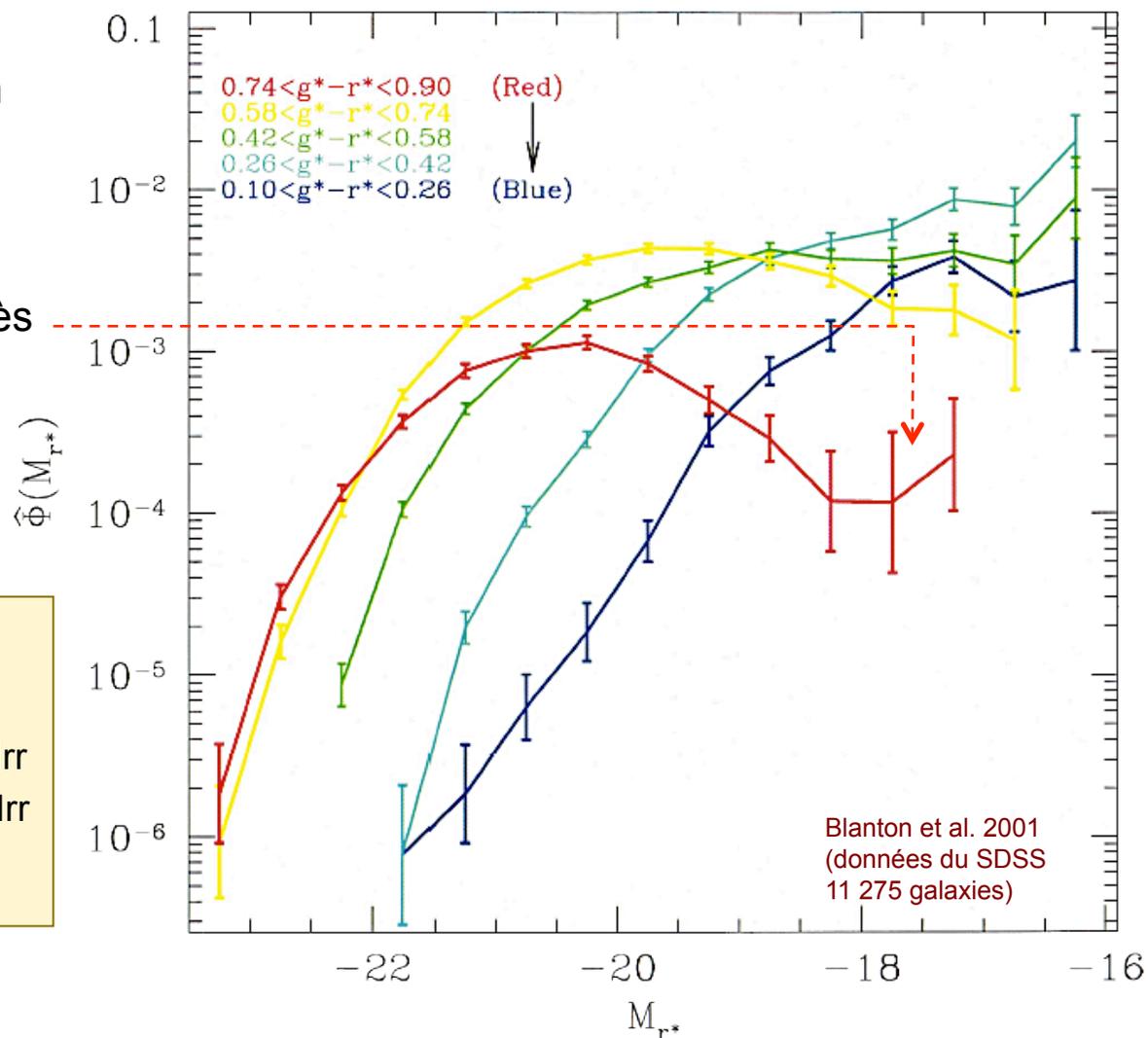
## La galaxie M87 au centre de l'amas de Virgo



# Luminosité des galaxies

- Les galaxies elliptiques sont, en général, plus brillantes que les spirales
- **MAIS** il existe une population très importante de galaxies naines elliptiques et sphéroïdales, aux propriétés très différentes

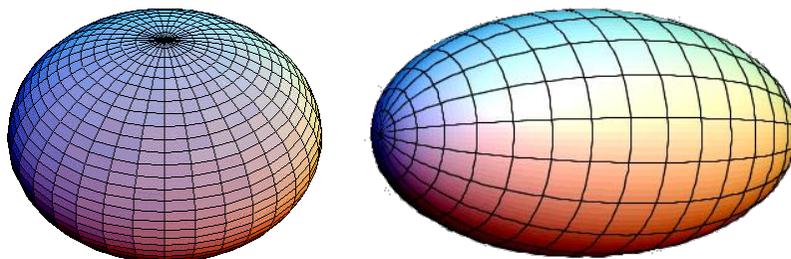
- Proportions :
  - 60% E et S0, 30% S et 10% Irr
  - *Virgo* : 40% E et S0, 60% S et Irr
  - *Coma*: 90% E et S0, 10% S et Irr
  - Ségrégation morphologique



# Caractéristiques des galaxies elliptiques

- Formes

- Aplaties en coussin (oblate)
- Oblongues en ballon de rugby (prolate)



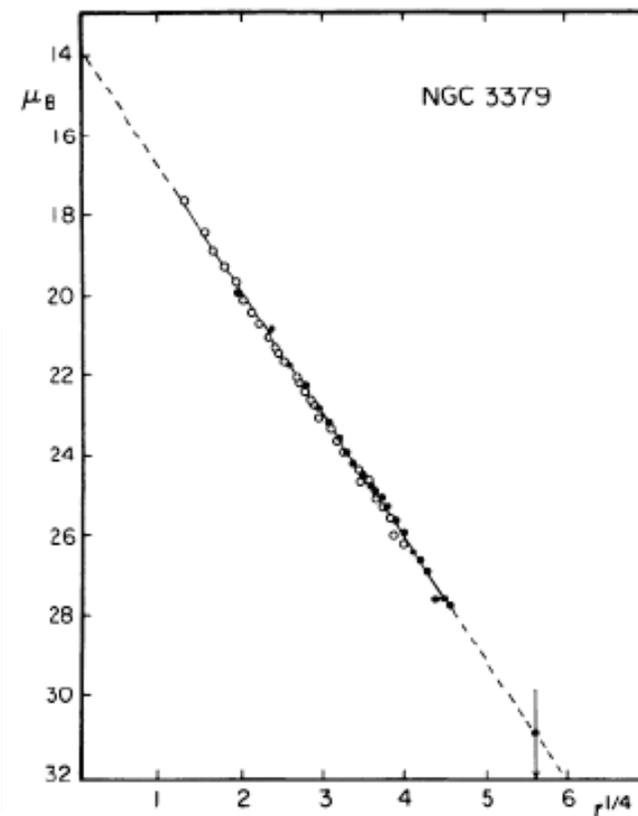
- Masses

- $10^7 - 10^{14} M_{\odot}$
- ↑                      ↑
- Elliptiques naines      Géantes cD

- Spirales
- $10^9 - 10^{12} M_{\odot}$

- Profils de luminosité

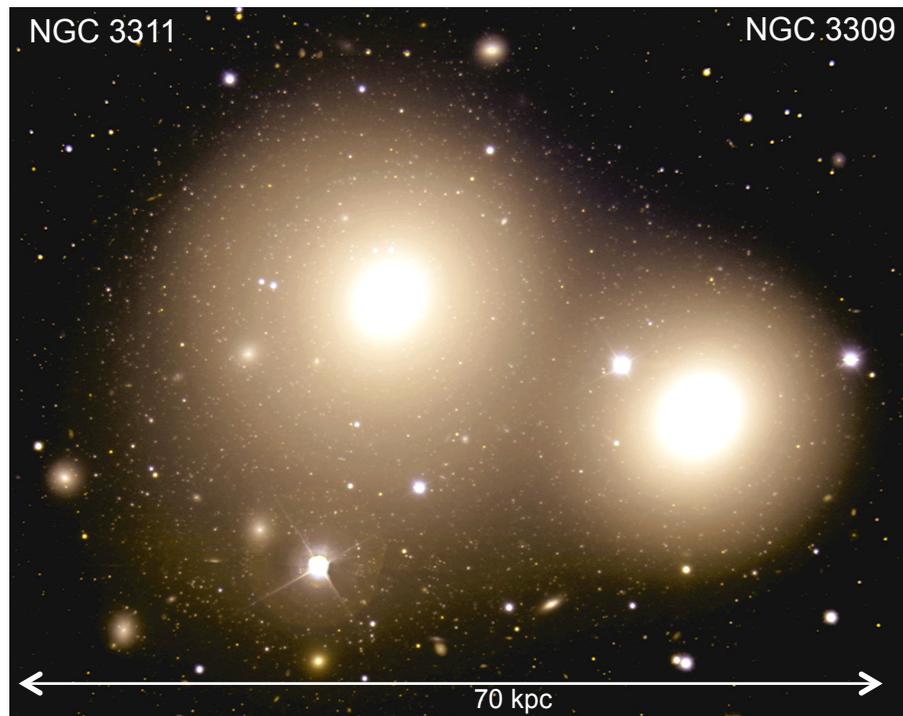
- De Vaucouleurs en  $r^{1/4}$



# Galaxies elliptiques: une famille très diversifiée

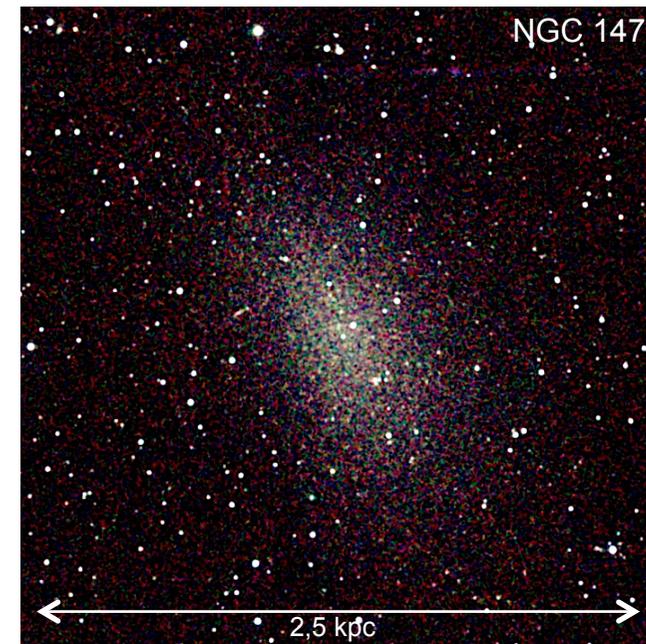
## ■ Galaxies cD

- Exemple : NGC 3311 au centre de l'amas de l'Hydre (D = 47 Mpc, Mag = -20,7)
- Elle est entourée de près de 16 000 amas globulaires

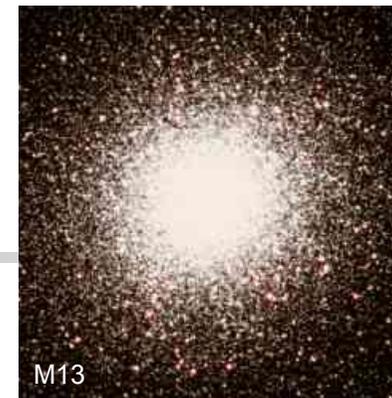


## ■ Elliptiques et sphéroïdales naines

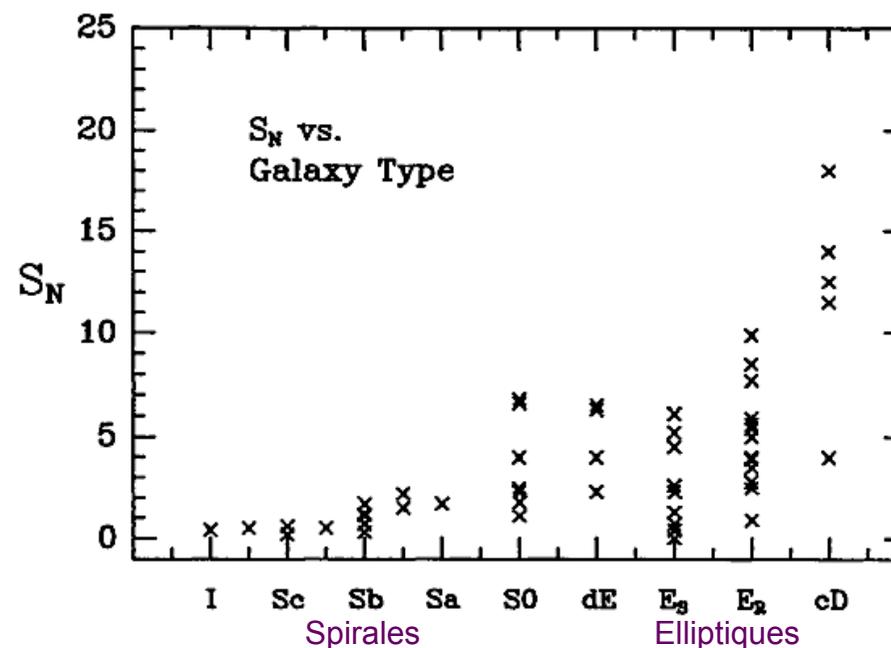
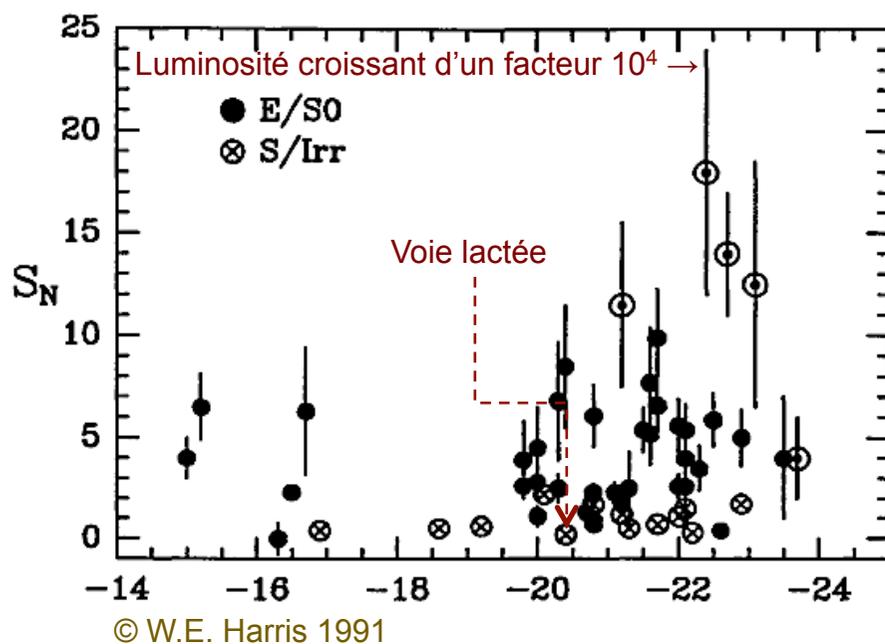
- Exemple : NGC 147, satellite de M31 résolu en étoiles par W. Baade en 1944 (D = 700 kpc, Mag = -13,7)
- Seules les plus proches sont connues, mais ce sont peut-être les plus nombreuses de toutes les galaxies

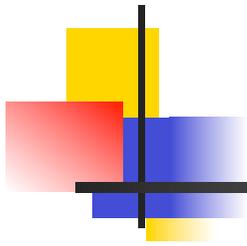


# Amas globulaires



- Le nombre d'amas globulaires autour d'une galaxie augmente avec sa luminosité
  - ⇒ fréquence spécifique  $S_N \equiv \text{Nombre d'amas}/(\text{Luminosité}/10^7 L_\odot)$  NB: Voie lactée  $3 \times 10^9 L_\odot$
- À luminosité donnée, ce nombre est beaucoup plus élevé autour des galaxies elliptiques que des spirales

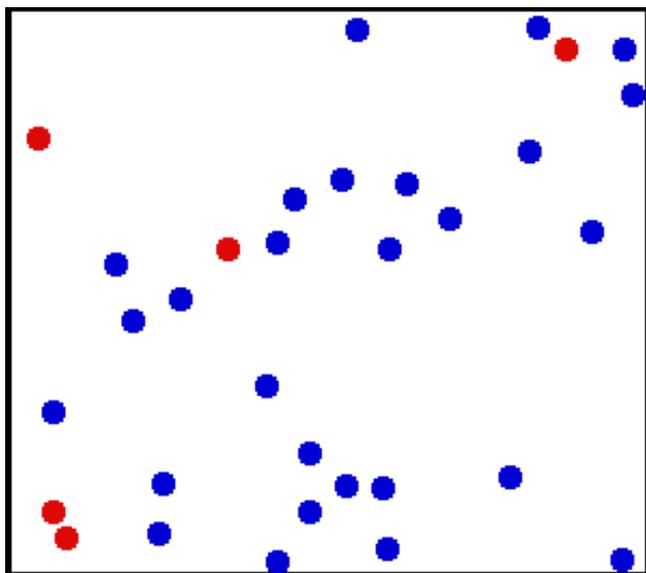




# DYNAMIQUE DES GALAXIES

# Physique statistique

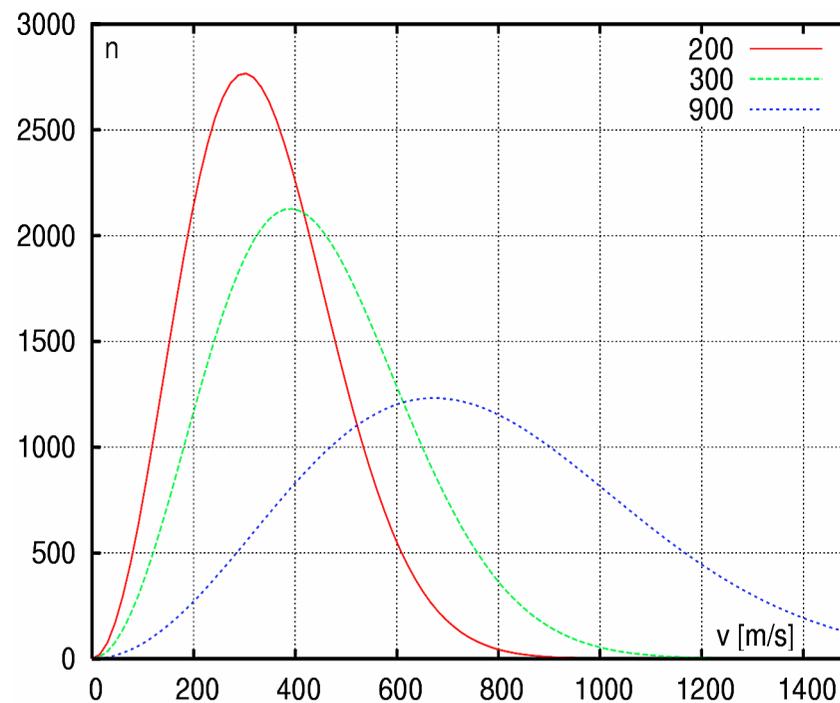
- Maxwell et Boltzmann
  - Mouvement de particules d'un gaz parfait (**sans interaction**) en équilibre thermique



- Température et **dispersion** de vitesse

$$\frac{1}{2} m \langle V^2 \rangle = \frac{3}{2} kT$$

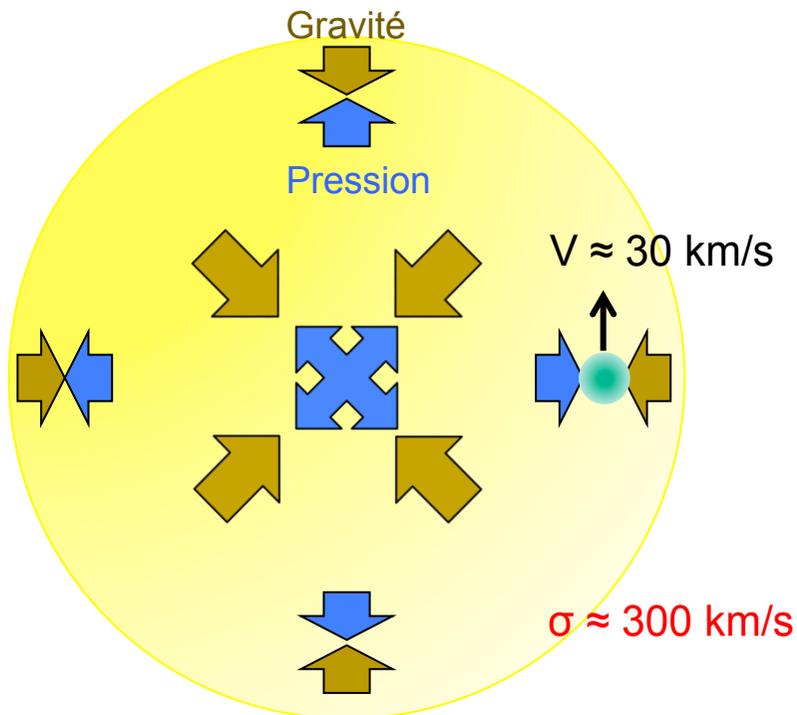
$$\sigma = \sqrt{\langle V^2 \rangle} \Leftrightarrow T \Leftrightarrow P = nkT$$



# Deux types d'équilibre

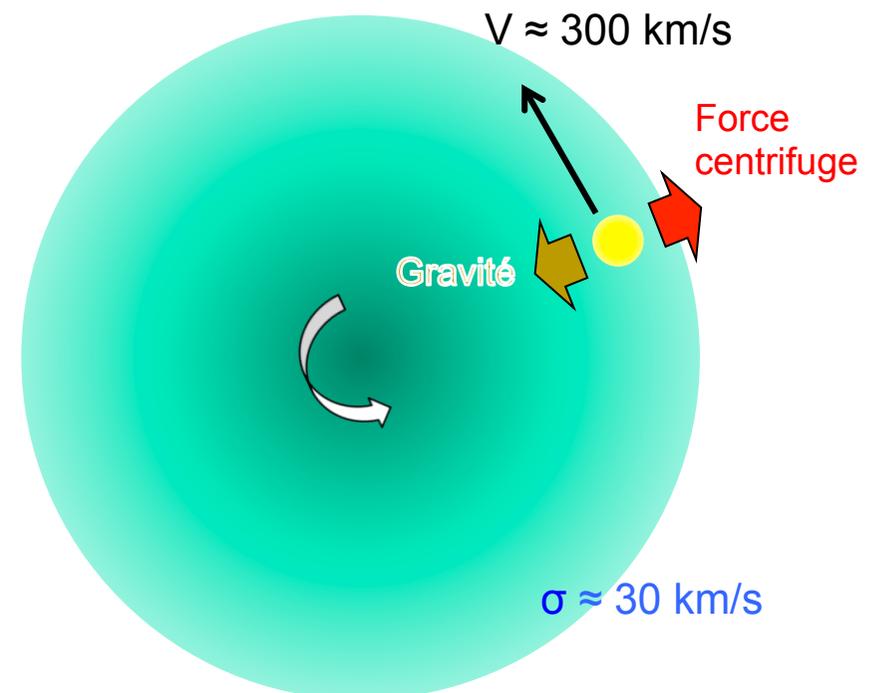
## Galaxies elliptiques

- Gaz chaud  $\Rightarrow$  équilibre gravitationnel
- ☠ ce « gaz » peut être
  - *Vraiment* du gaz
  - *Ou* des étoiles !



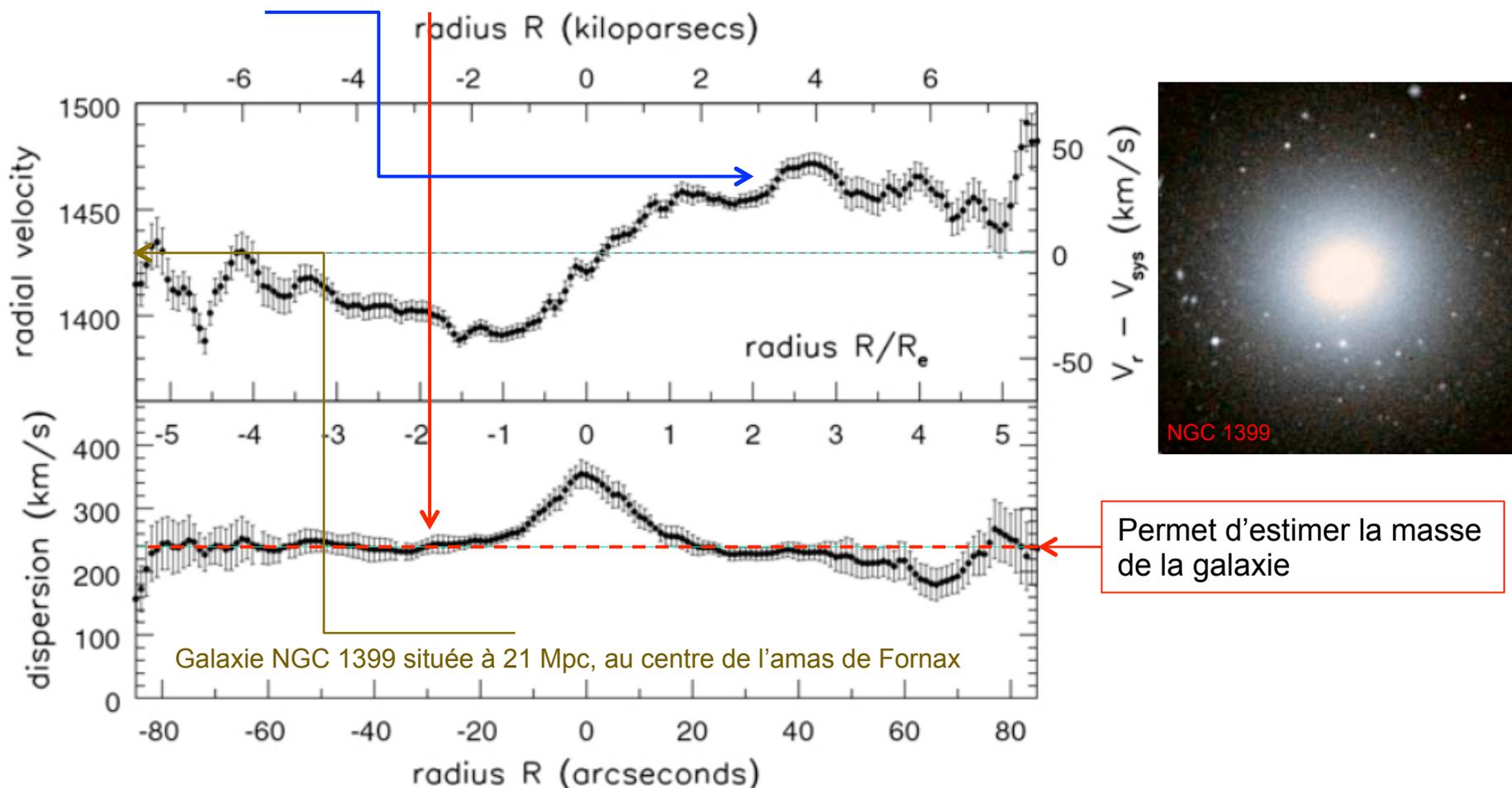
## Galaxies spirales

- Gaz froid  $\Rightarrow$  l'équilibre est *essentiellement* dû à la rotation du disque



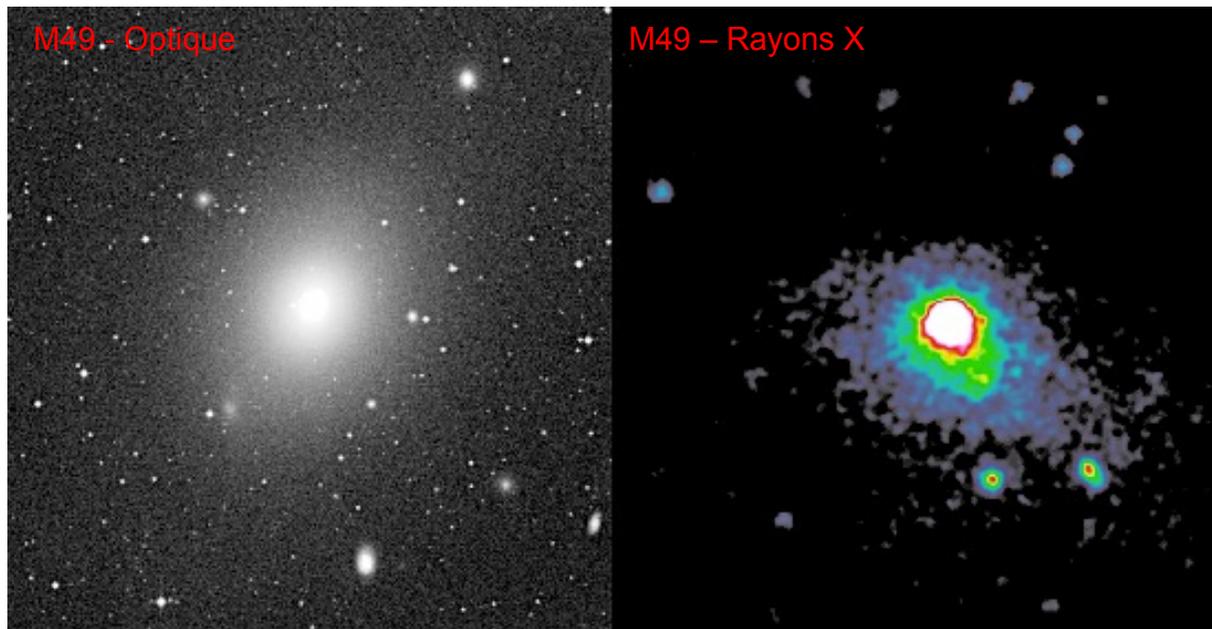
# Dynamique des elliptiques

- **Rotation lente** et **dispersion** maxwellienne des vitesses  $\Rightarrow$  **équilibre dû à la pression**



# Matière noire et gaz

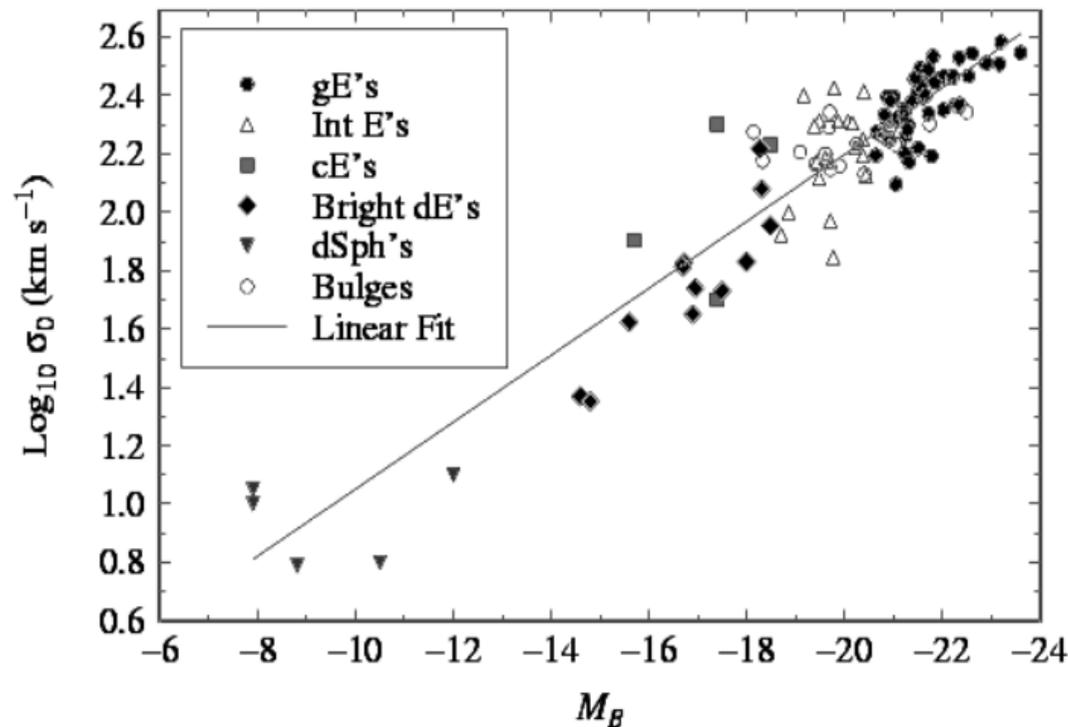
- Les galaxies elliptiques sont pauvres en gaz
- Mais il y en a !
- Émetteur X
  - vitesse  $\sqrt{\langle V^2 \rangle} \approx 300 \text{ km/s}$  ( $10^{-3} c$ )
  - $\Leftrightarrow$  température  $T \approx m_H V^2 / 3k \approx 1 \text{ keV} = 10^7 \text{ K}$
- Matière noire ?
  - étoiles  $\Rightarrow M/L \approx 3$
  - observations  $\Rightarrow M/L \approx 10$  à  $20$
  - voire parfois  $M/L \approx 100$
  - masse de gaz chaud  $\approx 10^8$  à  $10^9 M_\odot$
  - $\Rightarrow$  **autre composante**



## Relation de Faber-Jackson (1976)

- Relation *empirique* entre luminosité  $L$  et dispersion de vitesse  $\sigma$
- $\Rightarrow$  méthode de mesure des distances (similaire à Tully-Fisher)

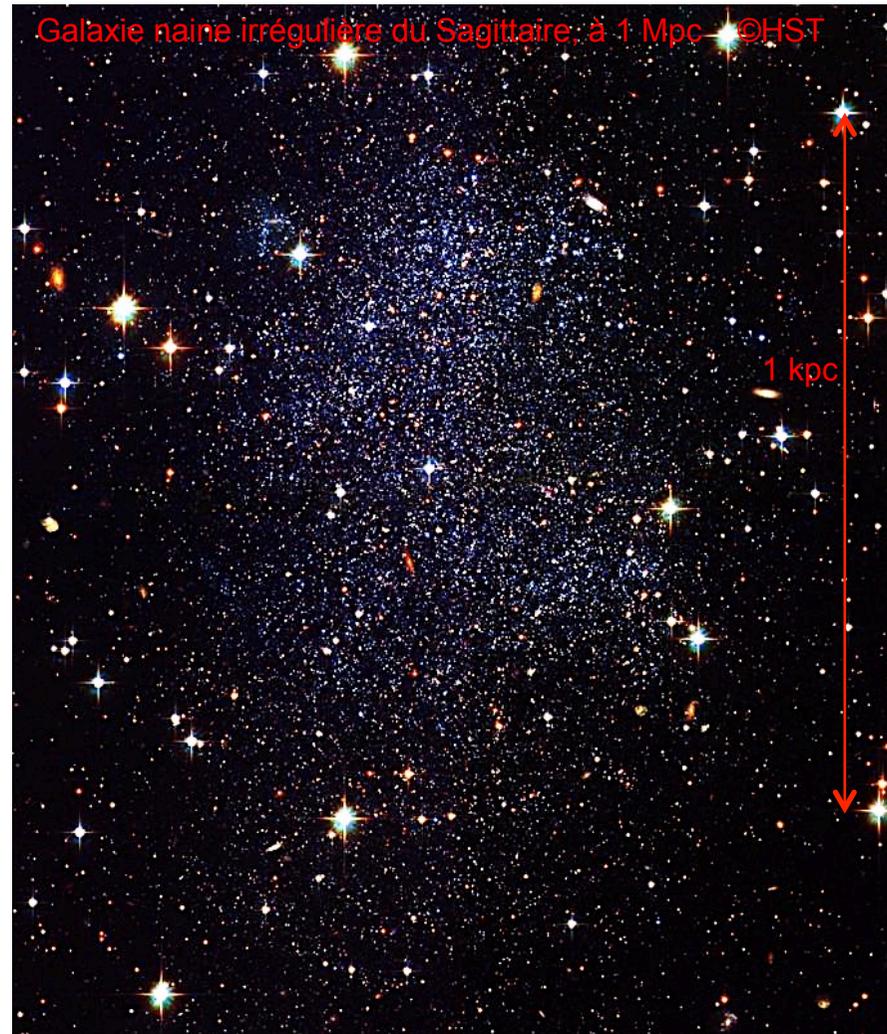
$$L \propto \sigma^4$$

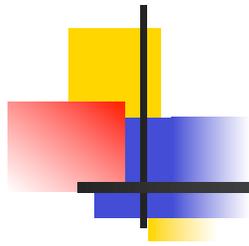


- « Plan fondamental »
- Second paramètre : le diamètre (isophotal, ou celui qui contient la moitié de la lumière totale)
- Ou – de manière équivalente – la luminosité de surface moyenne  $\mu$
- $\Rightarrow$  relation **plus précise** entre  $L$ ,  $\sigma$  et  $\mu$

## Les galaxies, c'est plus compliqué qu'on le pense...

- Galaxies de faible brillance de surface
  - i.e. *moins* brillantes que le fond du ciel nocturne ( $\mu \sim 22$ )
  - rapport M/L très élevé ( $>25$ )
  - $\Rightarrow$  beaucoup de gaz et/ou de matière noire ?
  - étoiles jeunes mais de faible métallicité
- Galaxies actives
  - Galaxies de Seyfert
  - Quasars
  - Noyaux actifs de galaxies
- Interactions entre galaxies

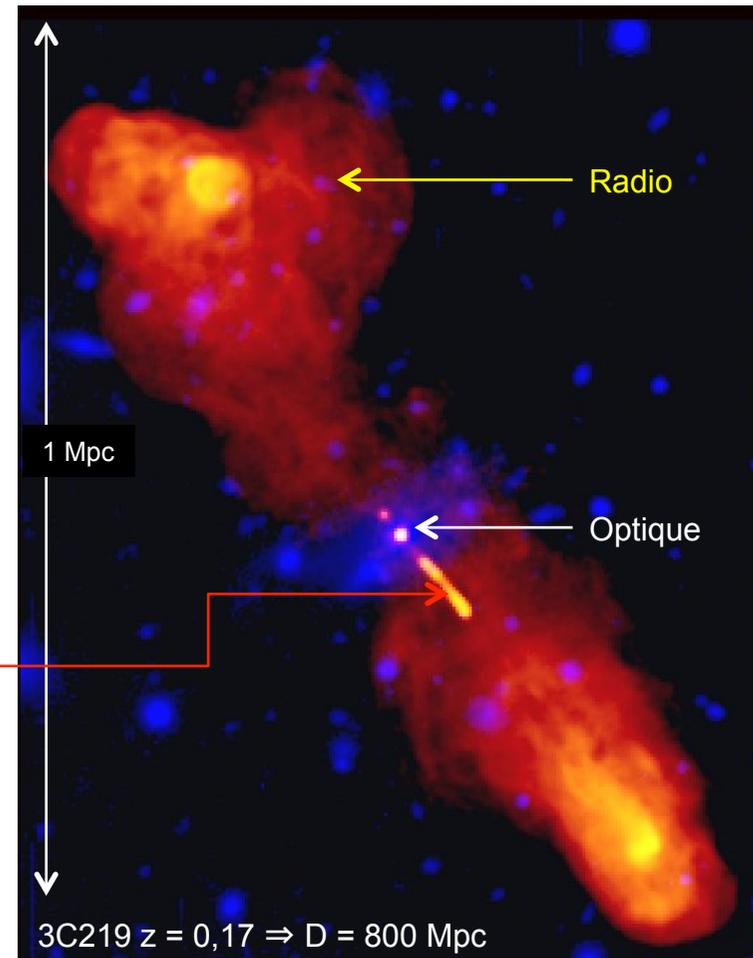




# **GALAXIES ACTIVES ET QUASARS**

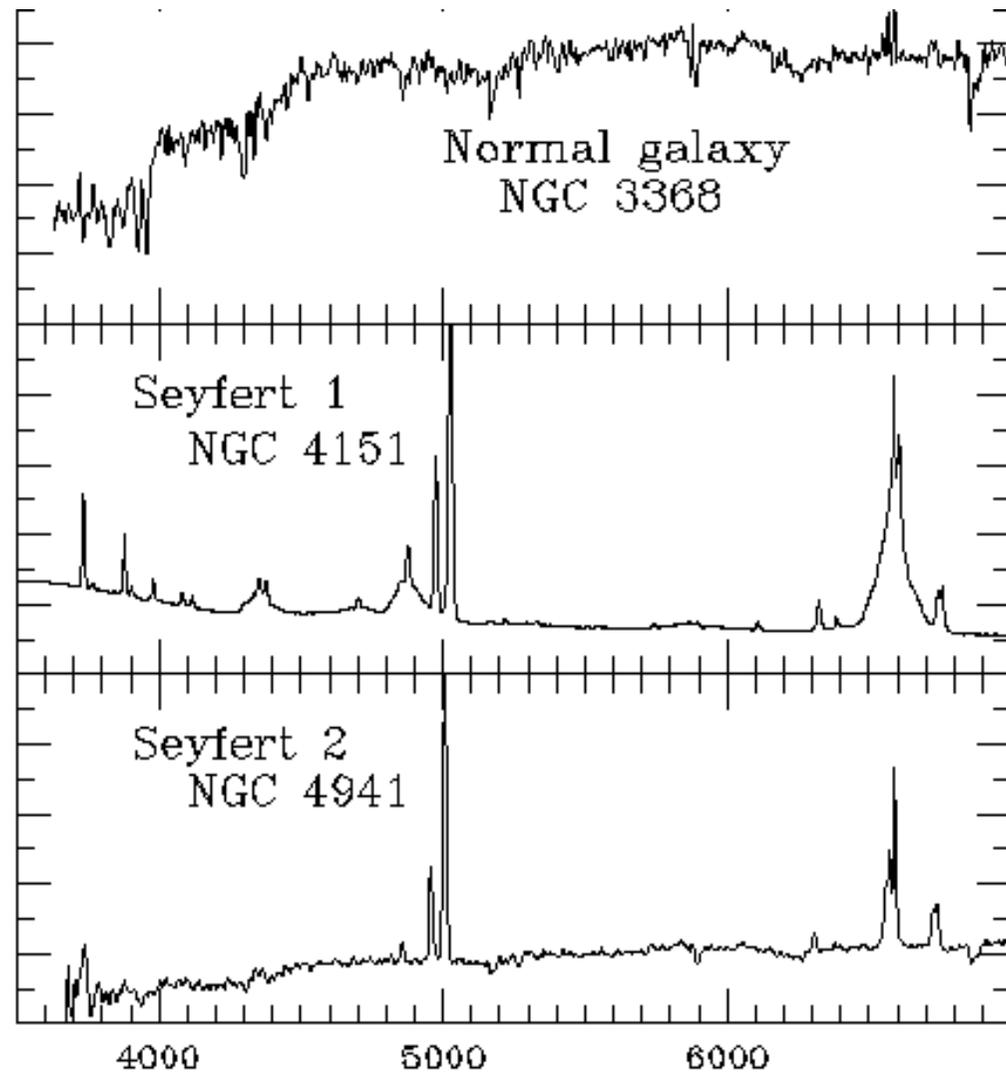
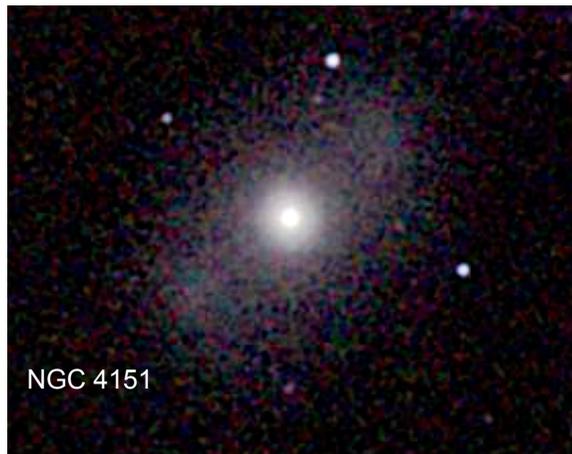
# Radio-galaxies

- Galaxies (elliptiques pour la plupart) extrêmement lumineuses en radio
- Émission radio sous forme de **deux lobes** ( $\pm$  symétriques) beaucoup plus **étendus** que la contrepartie optique
- Taille  $\sim$  Mpc  $\Rightarrow$  échelles de temps  $\sim$  dizaines (voire centaines) de millions d'années
- Spectre radio  $\Rightarrow$  émission synchrotron (électrons spiralant dans un champ magnétique)
- Présence fréquente de jets partant du coeur

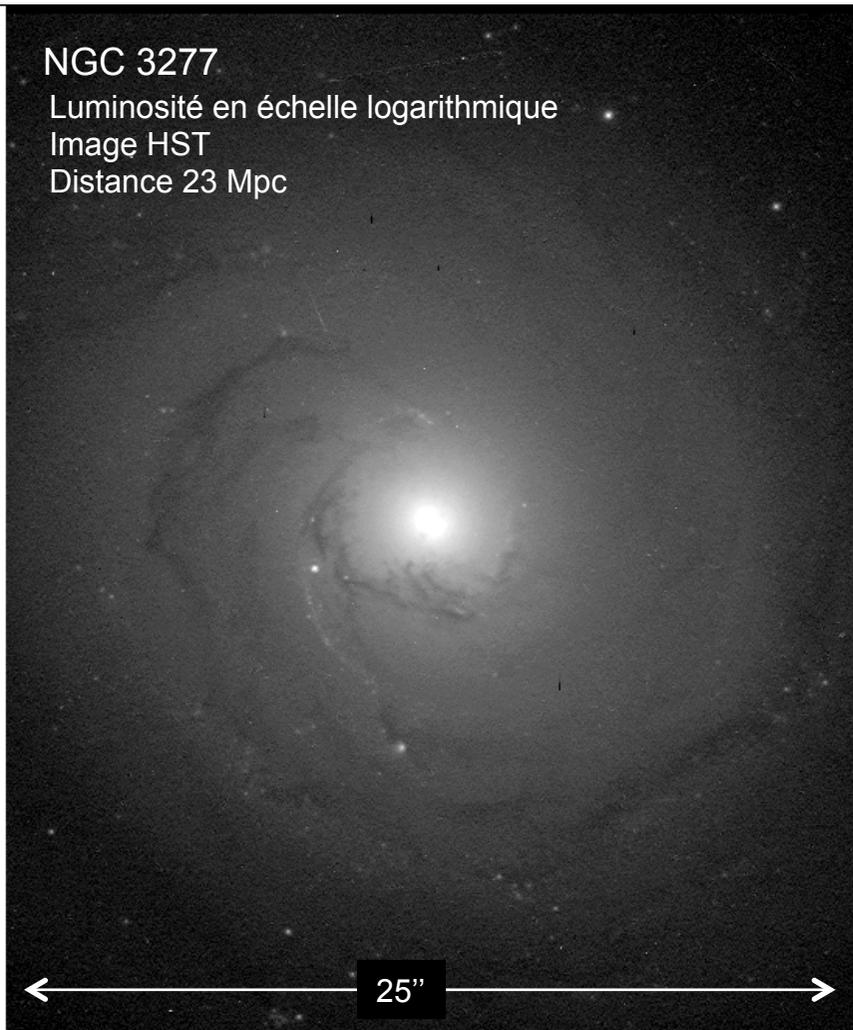
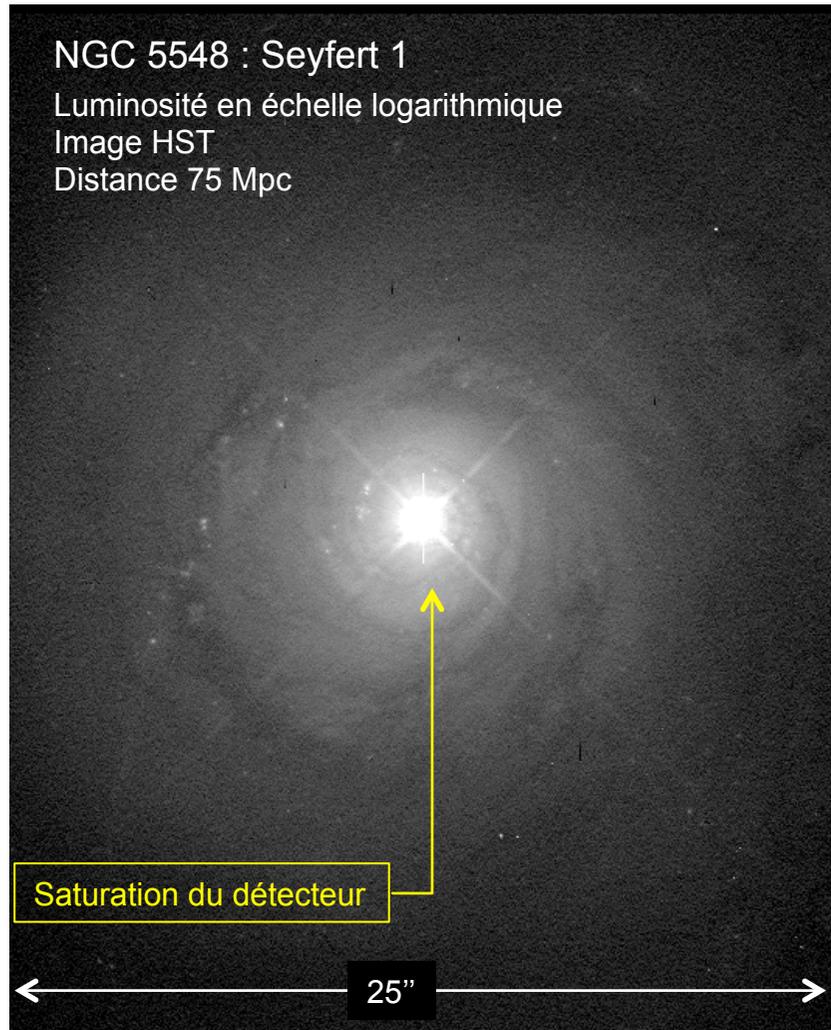


# Galaxies de Seyfert

- Particularités
  - noyau très brillant
  - fortes raies d'émission
  - raies fines → Seyfert 1 et 2
  - raies larges → Seyfert 1
  - variations rapides en quelques mois

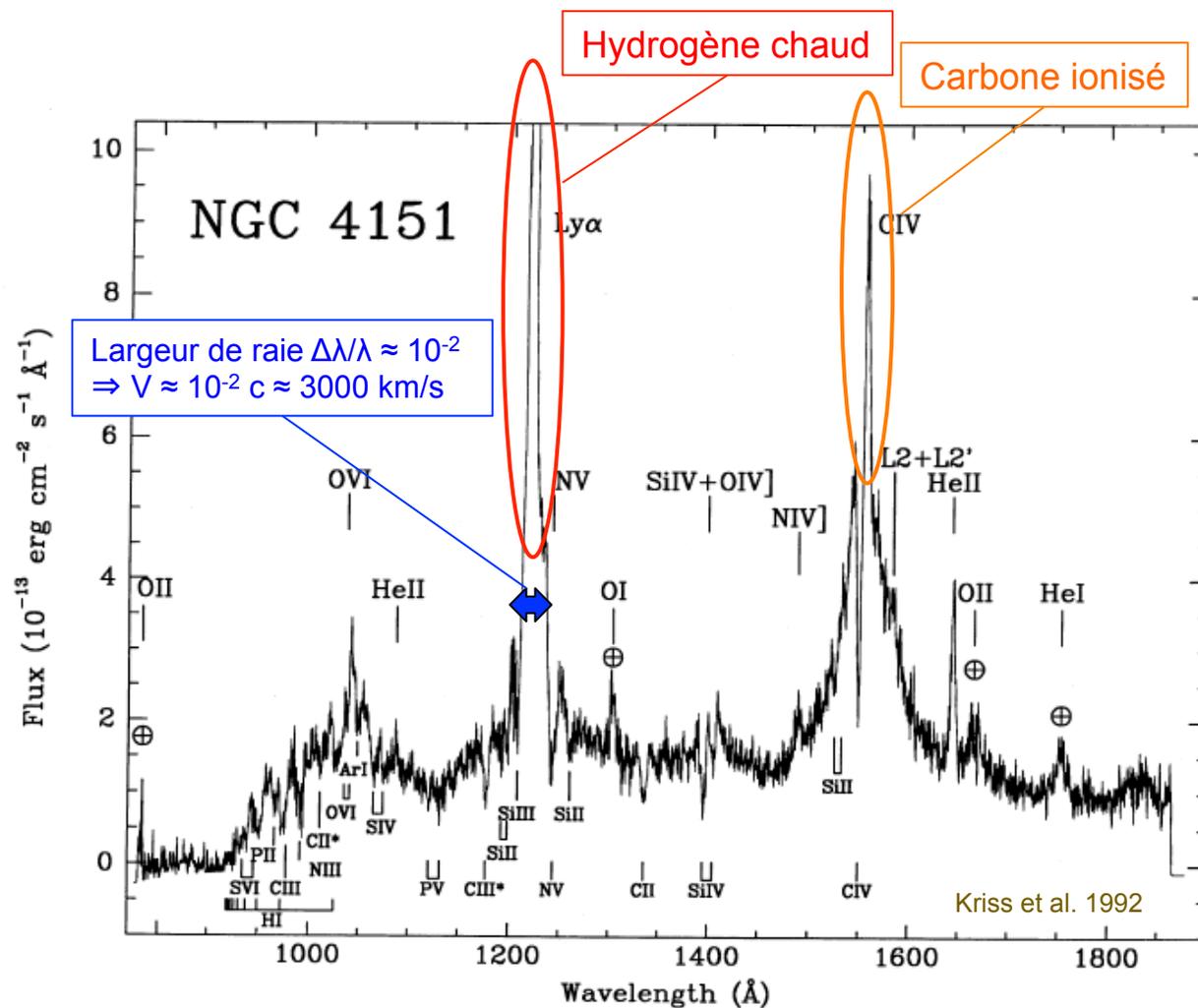


## Comparaison Seyfert % galaxie « normale »



# Galaxies de Seyfert

- 10% des galaxies spirales
- Caractéristiques
  - noyau très brillant
  - fortes raies d'émission
  - ⇒ hautes températures
  - Seyfert 1: raies larges (⇒ région centrale?)
  - Seyfert 1&2: raies fines (⇒ région périphérique?)
  - variations rapides  
 < 1 an ⇒ taille < 1 al



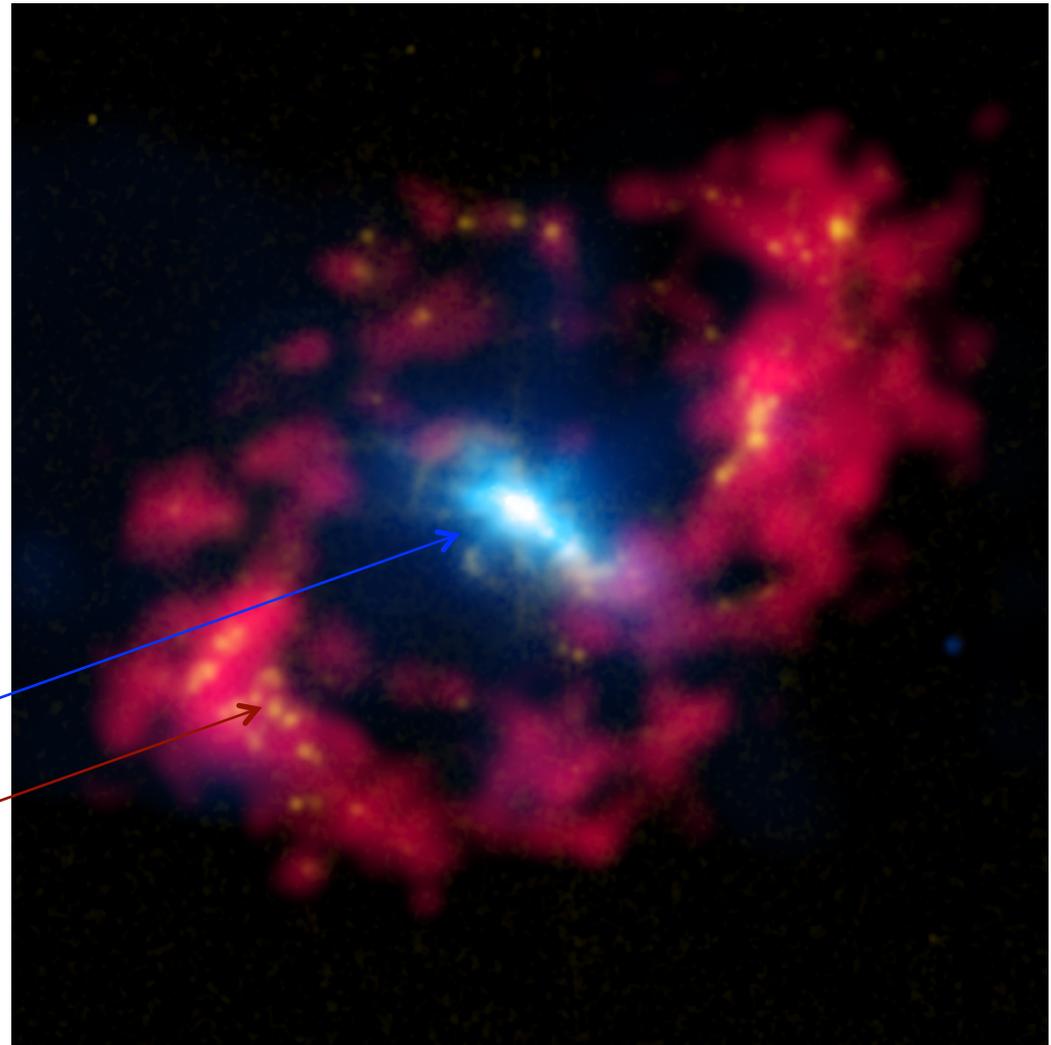
# Galaxie active

- NGC 4151 « L'œil de Sauron »



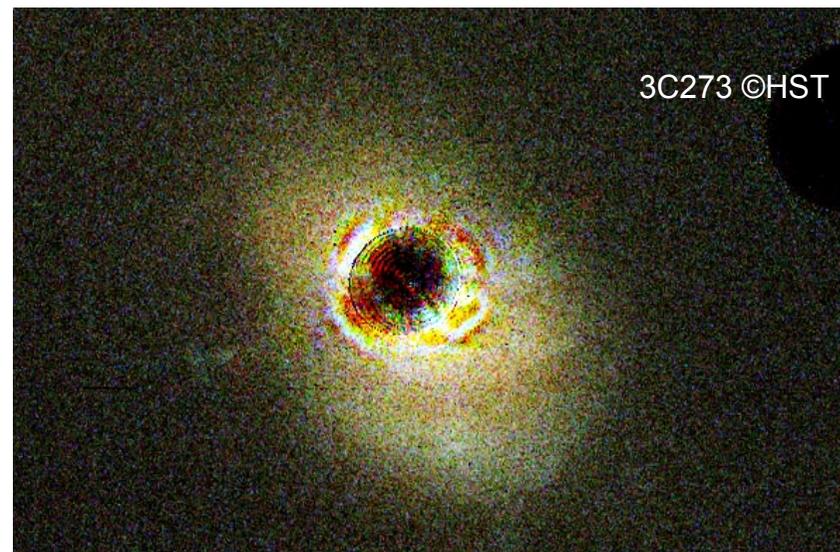
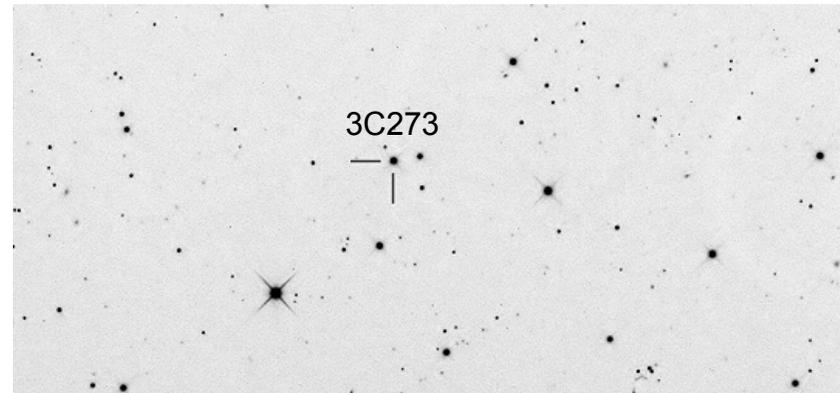
Émission X (Chandra)

Émission radio



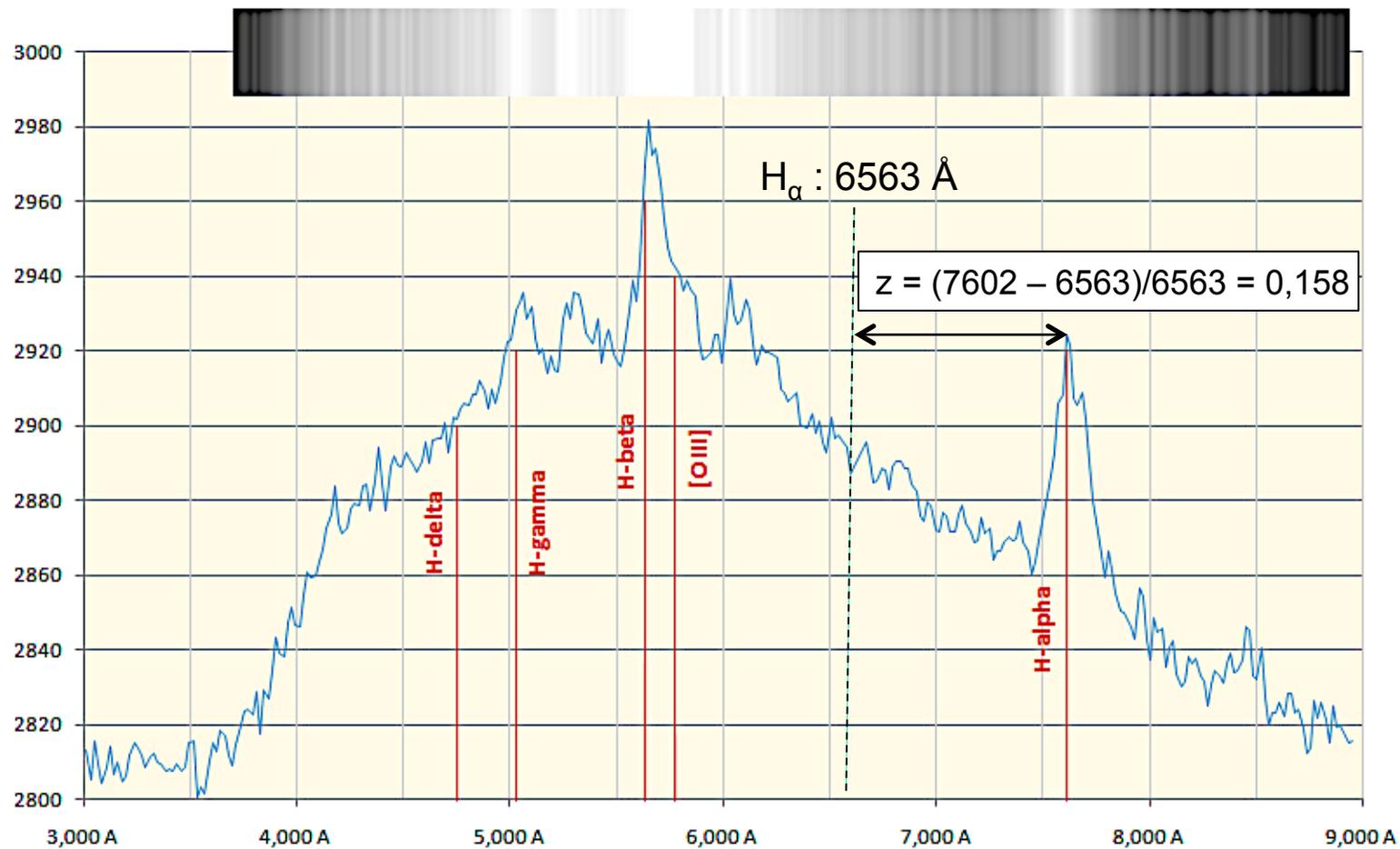
# Quasars

- Années 1950 : centaines de sources radio intenses sans contrepartie optique visible
- 1960 : 3C48 reliée à une pâle étoile bleue, mais au spectre très étrange avec un grand nombre de raies d'émission inconnues
- 1963 : Maarten Schmidt obtint un spectre de 3C273 au télescope du Mont Palomar
- Il identifia les raies de l'hydrogène, mais décalées de 16% vers le rouge
  - loi de Hubble:  $z = 0,16 \Rightarrow$  distance = 700 Mpc
  - magnitude apparente +13  $\Rightarrow$  magnitude absolue -26
  - $\Rightarrow$  pas une étoile mais une galaxie, extrêmement brillante qui plus est !
  - 3C48 se révèle avoir un décalage  $z = 0,48$
- SDSS : 200 000 quasars jusqu'à  $z = 6,5$
- La majorité des quasars n'a pas d'émission radio décelable



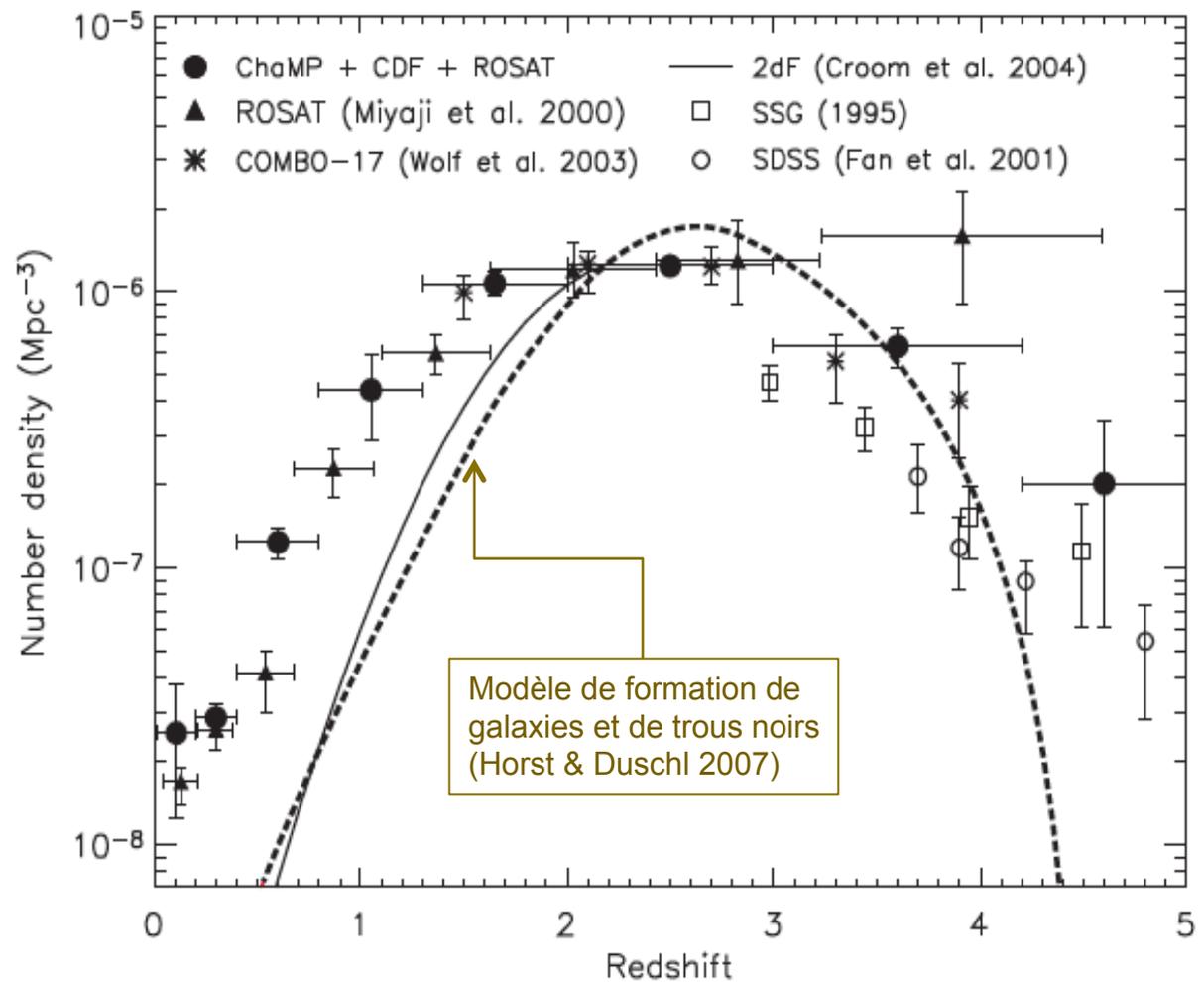
# Quasars

- Spectre de 3C273



## L'évolution du nombre de quasars avec le temps

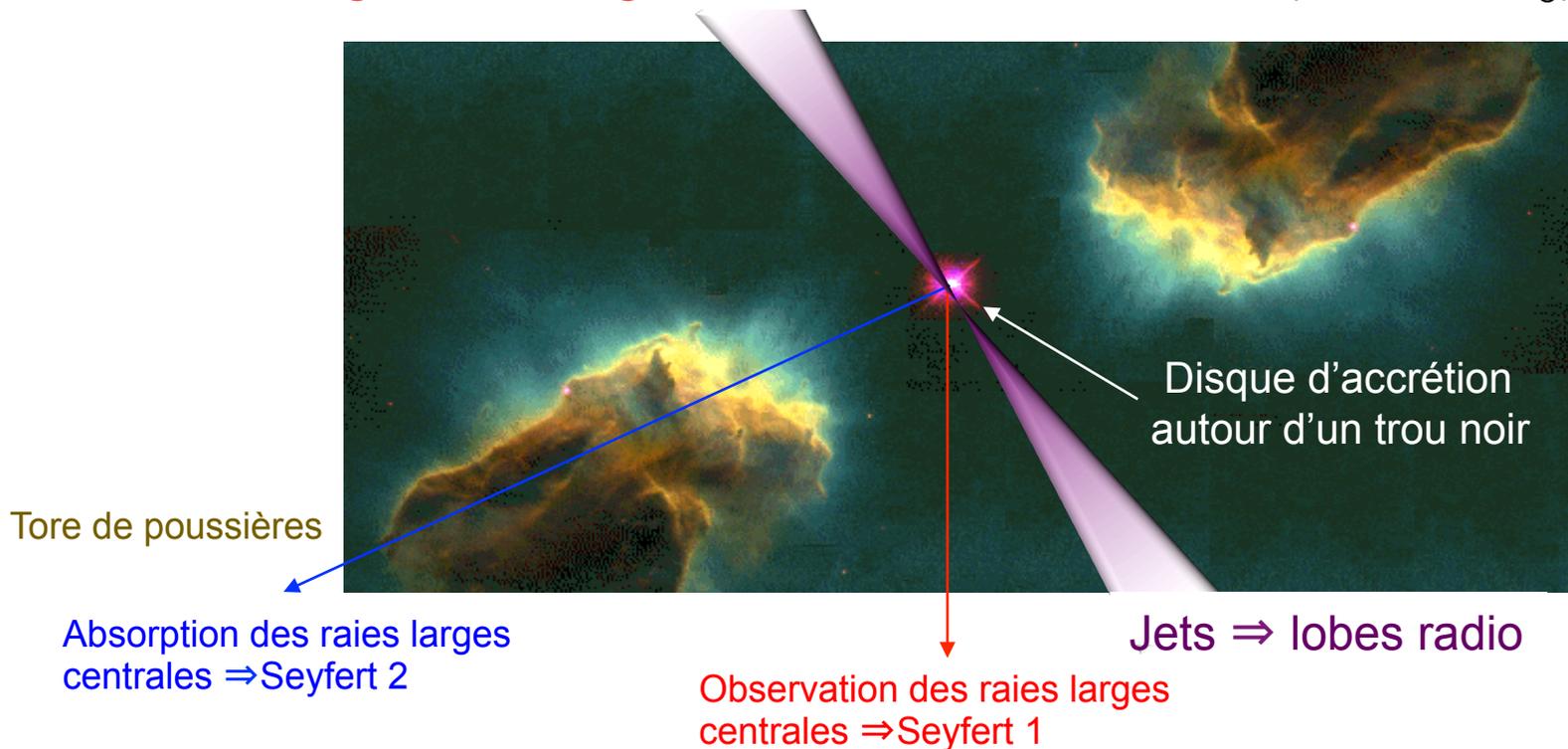
- La densité de quasars était bien plus grande dans le passé
- Elle est passée par un maximum vers  $z = 2,3$   
(âge de l'univers :  $3 \times 10^9$  ans)
- ⇒ l'univers a changé



# Galaxies actives

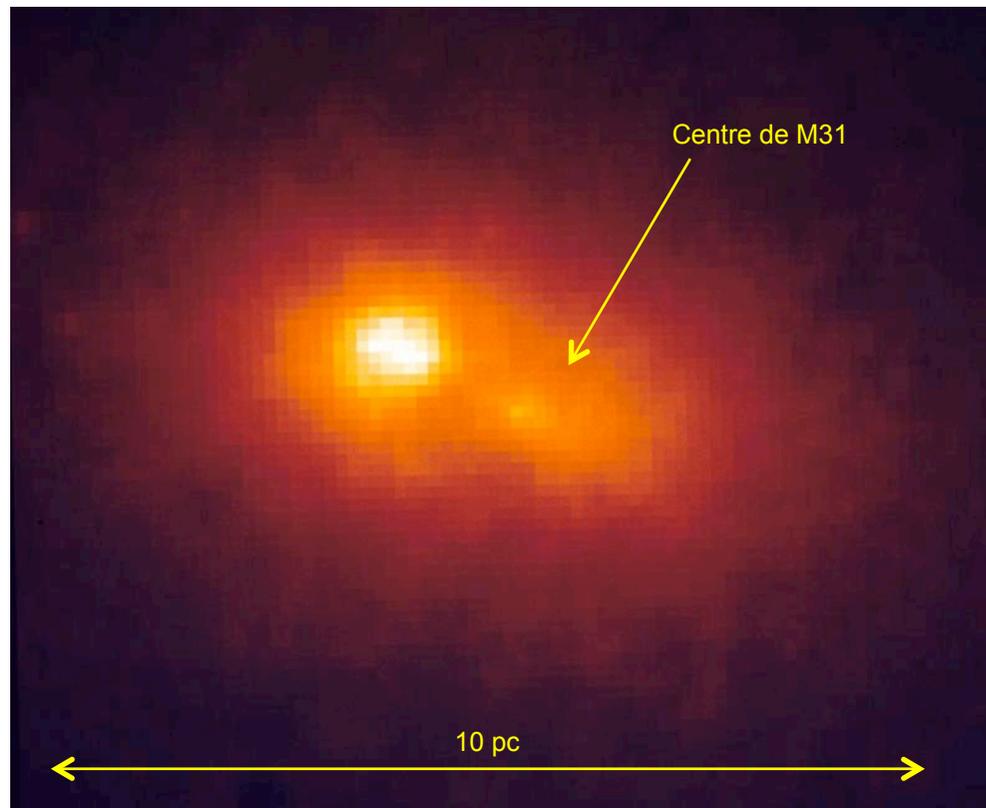
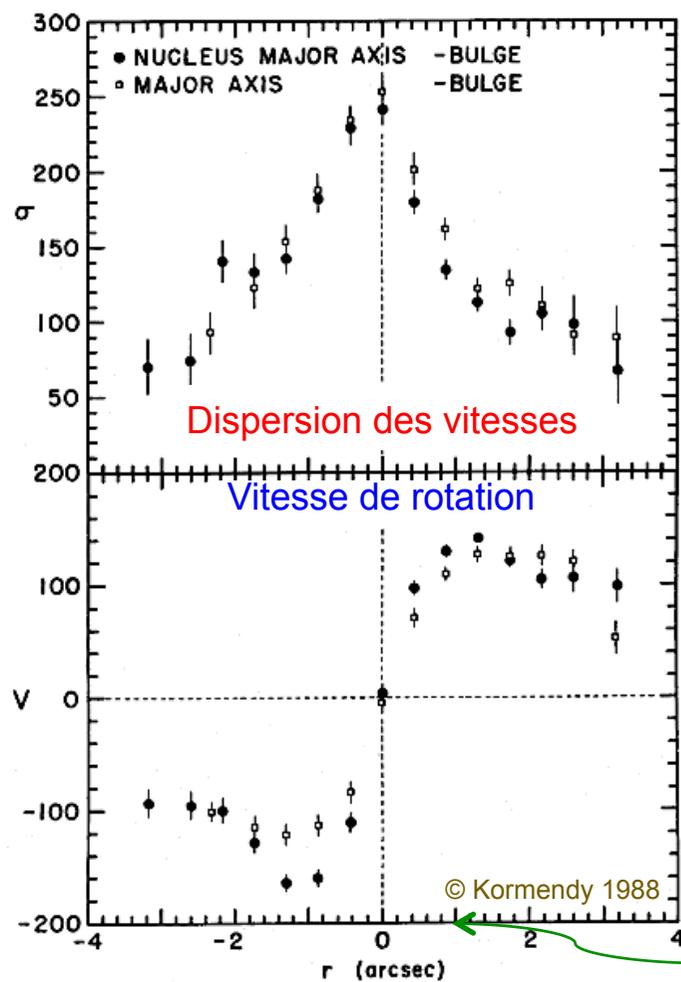
- En fait galaxies de Seyfert, quasars (radio ou pas) et radio-galaxies sont *peut-être* le même objet, mais vu sous des angles différents et/ou dans un environnement différent :

**une galaxie hébergeant un trou noir central massif ( $10^8$  à  $10^{11} M_{\odot}$ )**



# Trous noirs centraux

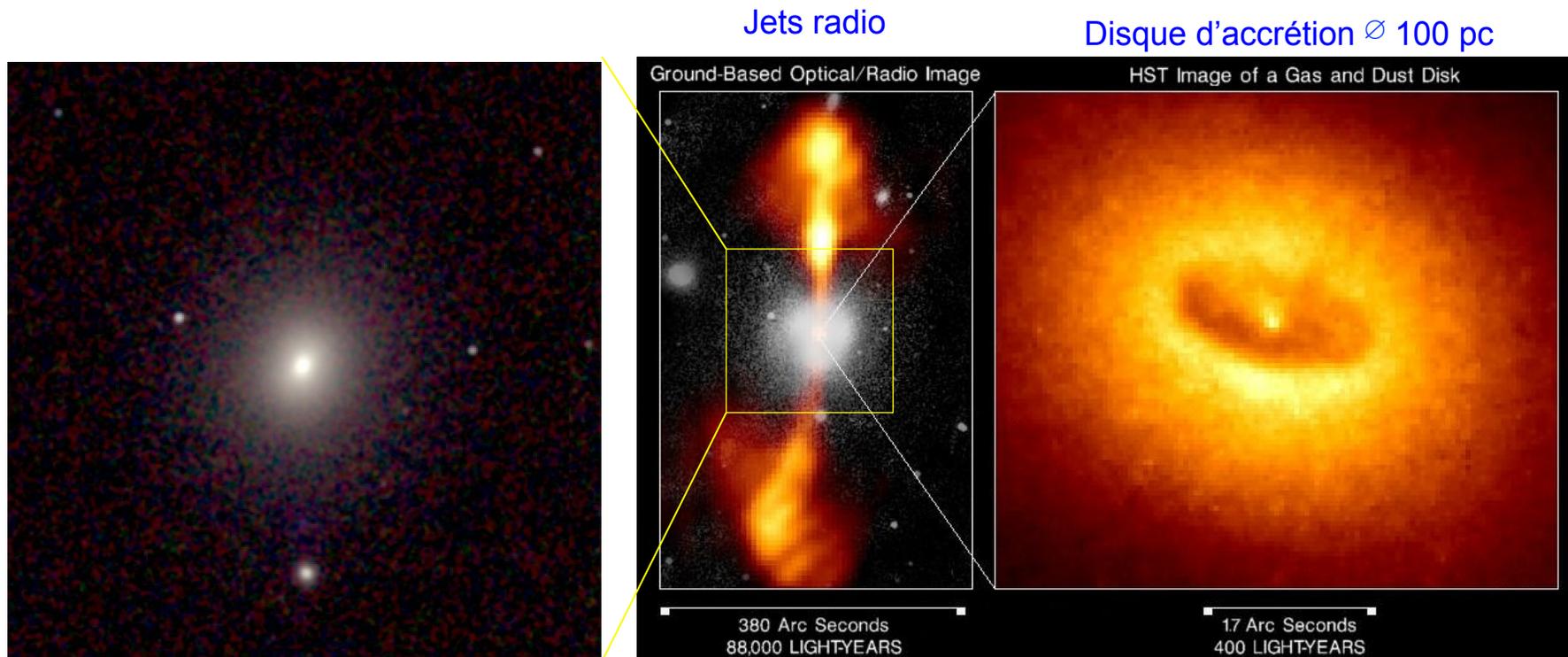
- Un trou noir et un double noyau au centre de la galaxie d'Andromède M31

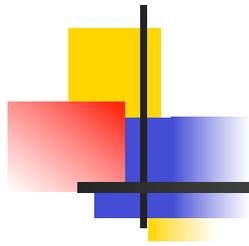


1" à 700 kpc = 3 pc

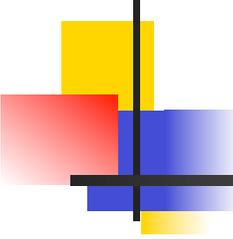
# Trou noir et jets radio

- Galaxie elliptique NGC 4261
  - Disque d'accrétion  $\Rightarrow$  trou noir central de 400 millions de  $M_{\odot}$
  - Émission de deux jets polaires  $\Rightarrow$  lobes radio intenses





# **INTERACTIONS ENTRE GALAXIES**

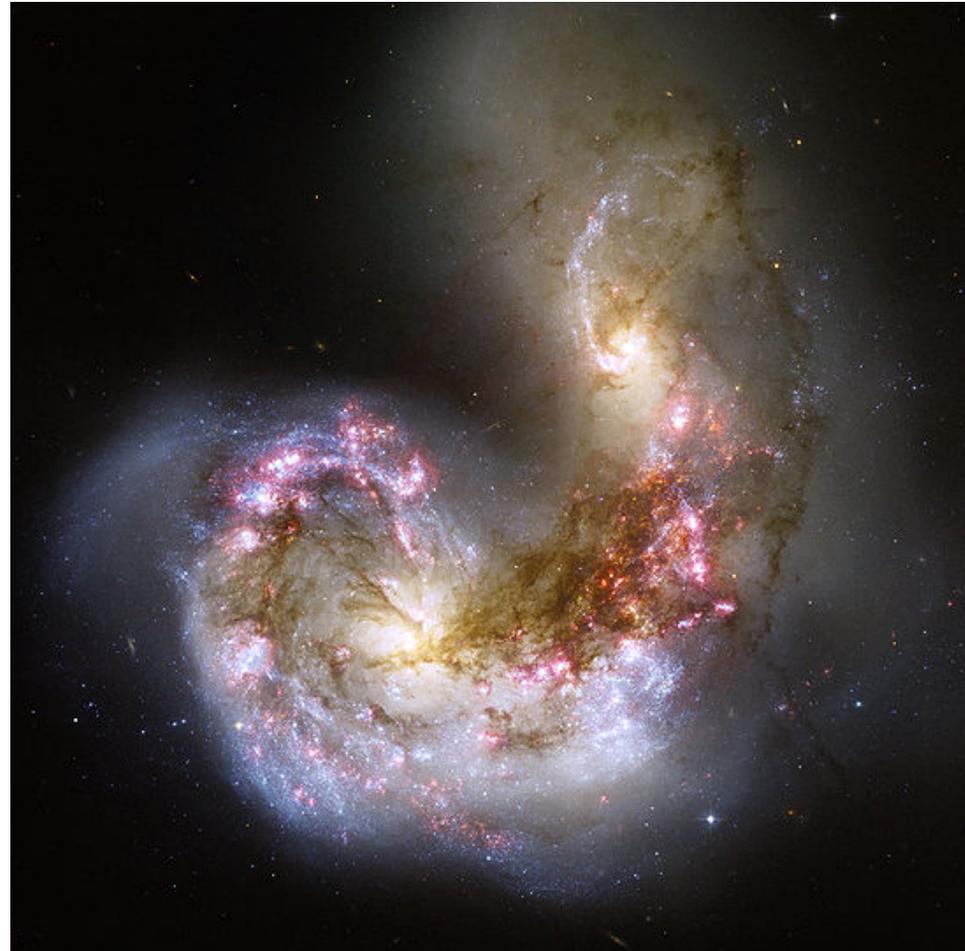


## Les Antennes

- NGC 4038 et NGC 4039

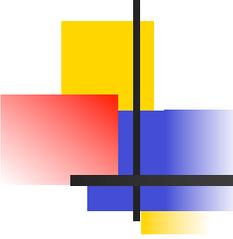


16 mars 2011



*Alain Bouquet – Astrophysique 18 - Les galaxies (suite)*

28



## Simulation numérique

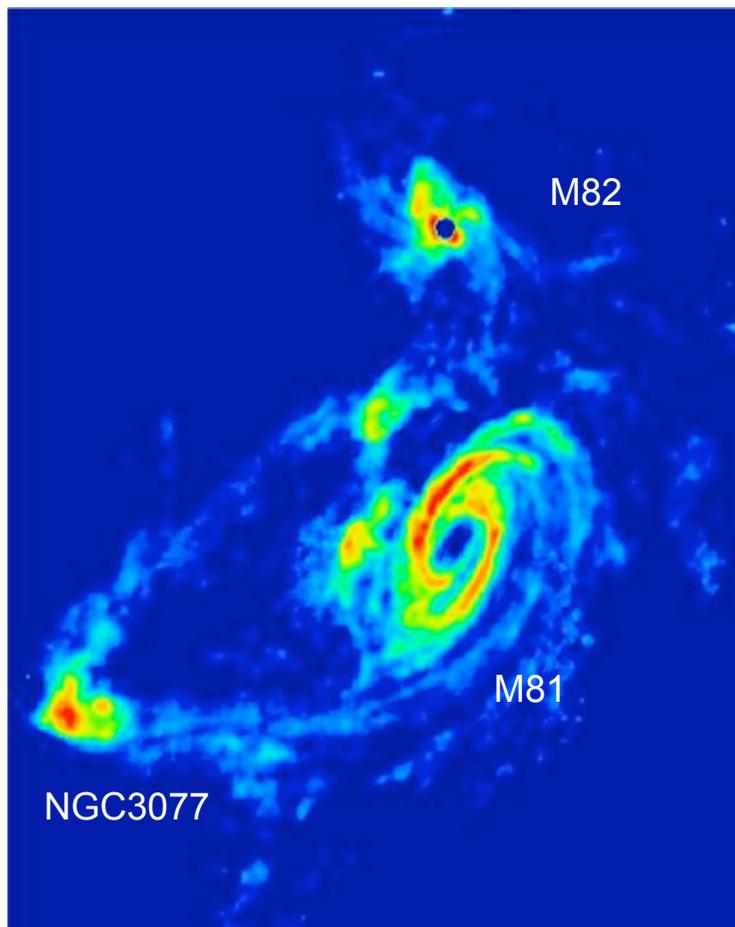
---

**Pittsburgh Supercomputer Center Simulation**  
**"The Formation of the Antennae Pair"**

**Credit: Joshua E. Barnes (1988) University of Hawaii**

# Interactions

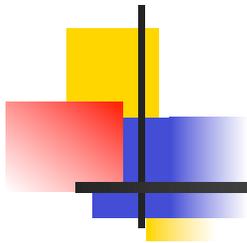
- Groupe de M81 (à 3.6 Mpc)



- Effets de marée

- ⇒ courant de gaz (hydrogène neutre) entre les galaxies
- ⇒ bouffée de formation d'étoiles au centre des galaxies





Merci de votre attention !

