



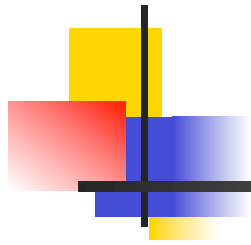
Astrophysique

18 – Les galaxies (suite)



Alain Bouquet

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



GALAXIES ELLIPTIQUES

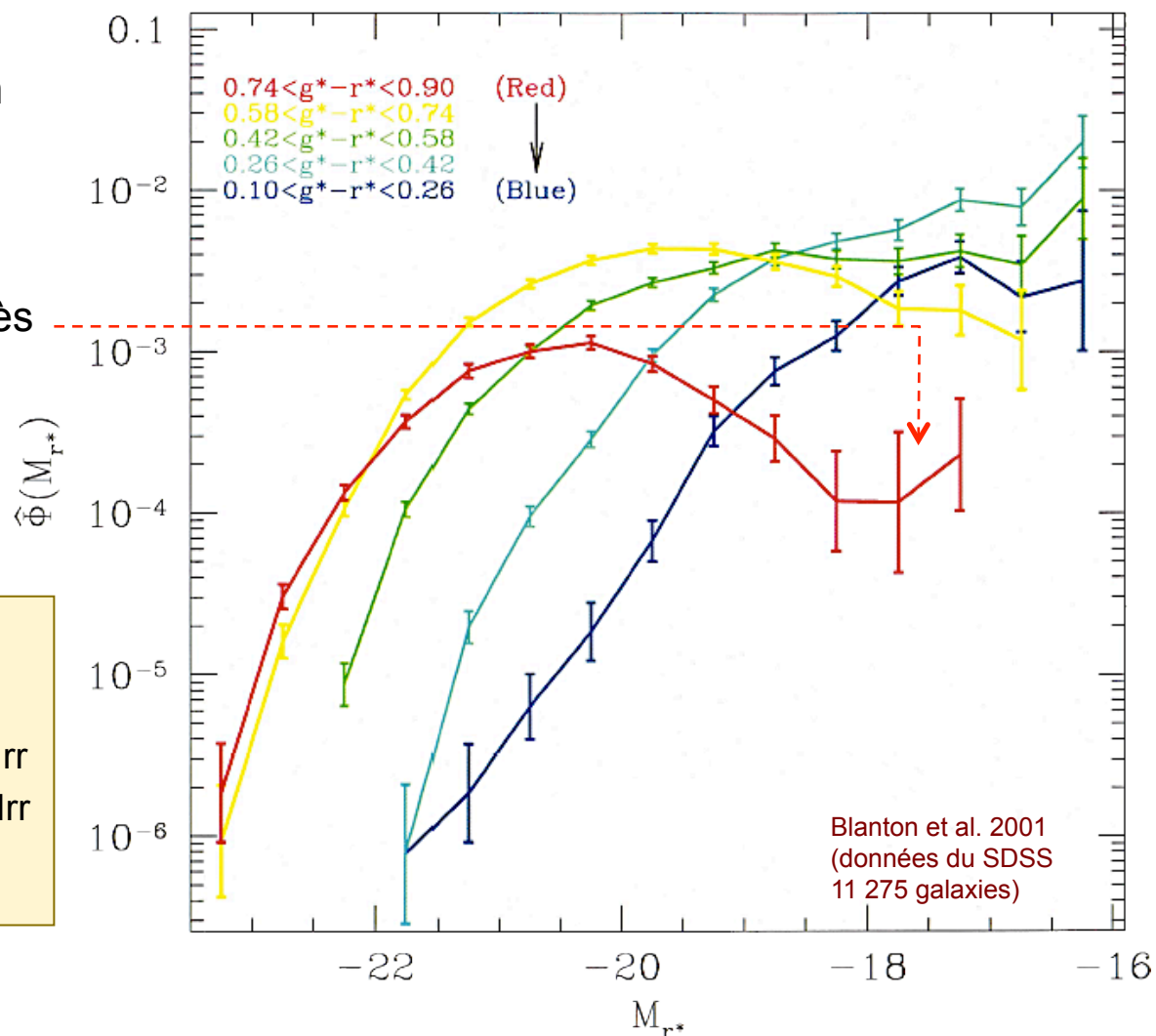
La galaxie M87 au centre de l'amas de Virgo



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

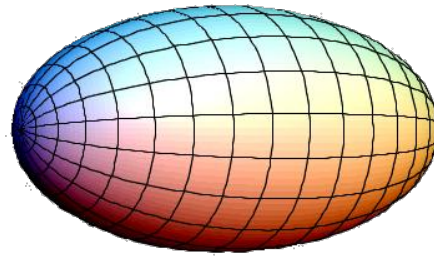
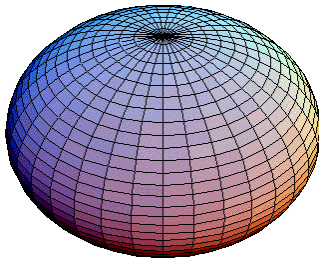
- Proportions :
 - 60% E et S0, 30% S et 10% Irr
 - *Virgo* : 40% E et S0, 60% S et Irr
 - *Coma*: 90% E et S0, 10% S et Irr
 - Ségrégation morphologique



Caractéristiques des galaxies elliptiques

■ Formes

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



■ Masses

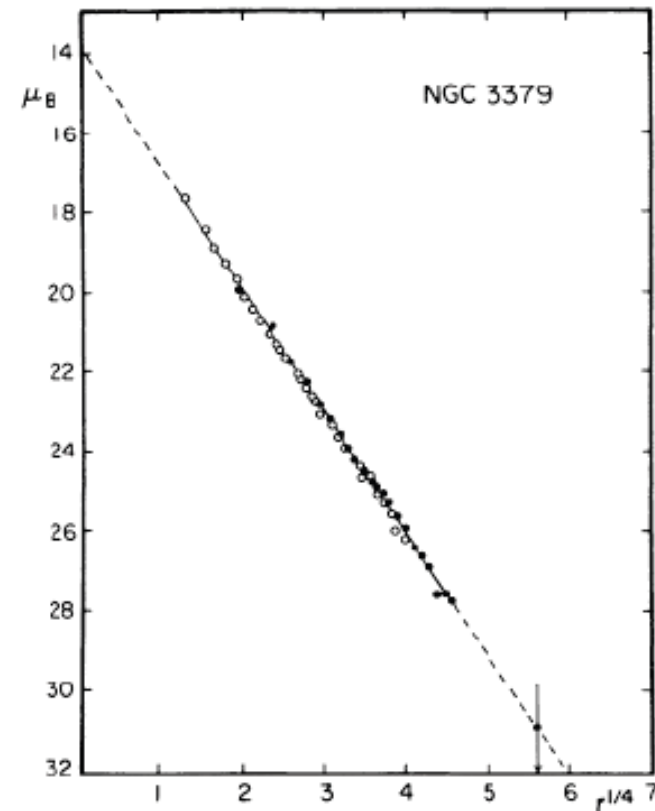
- $10^7 - 10^{14} M_{\odot}$
- ↑ ↑
Elliptiques naines Géantes cD

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



■ Profils de luminosité

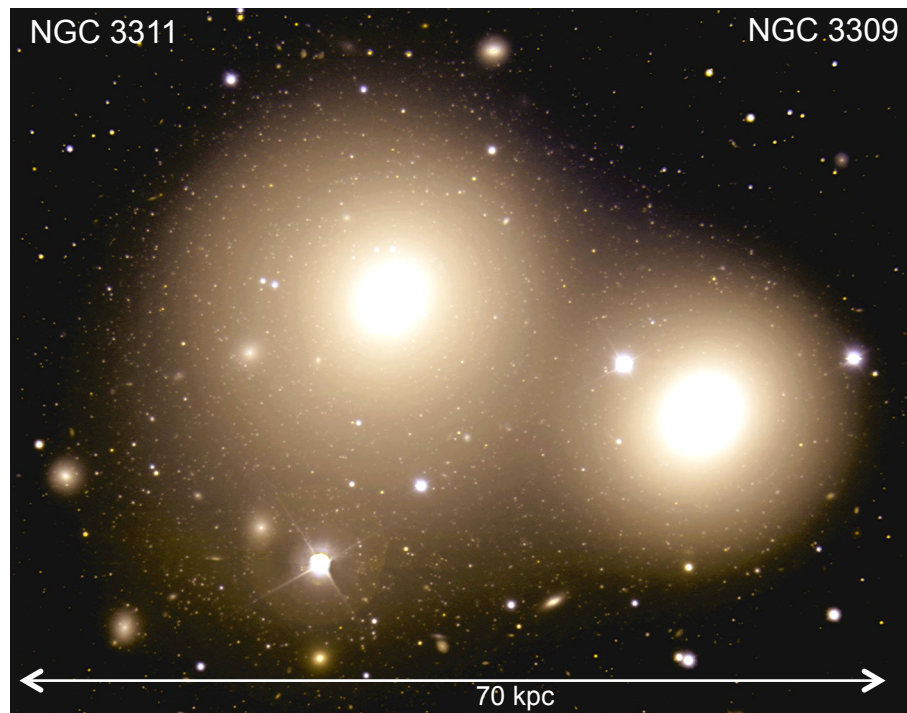
- De Vaucouleurs en $r^{1/4}$



Galaxies elliptiques: une famille très diversifiée

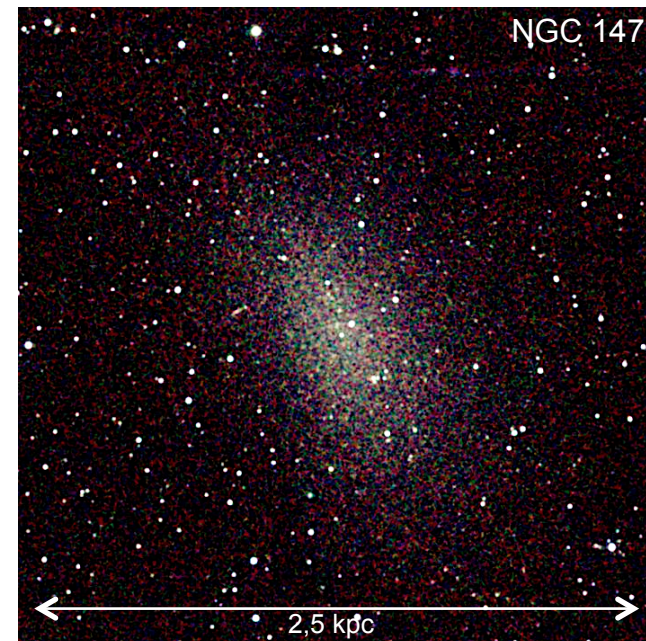
■ Galaxies cD

- 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

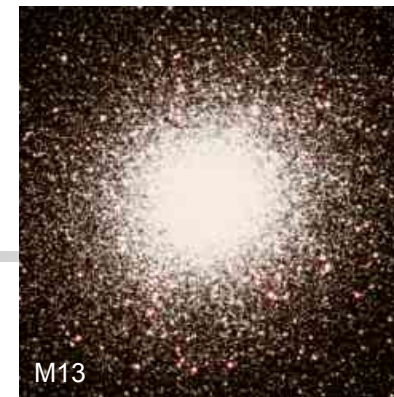


■ Elliptiques et sphéroïdales naines

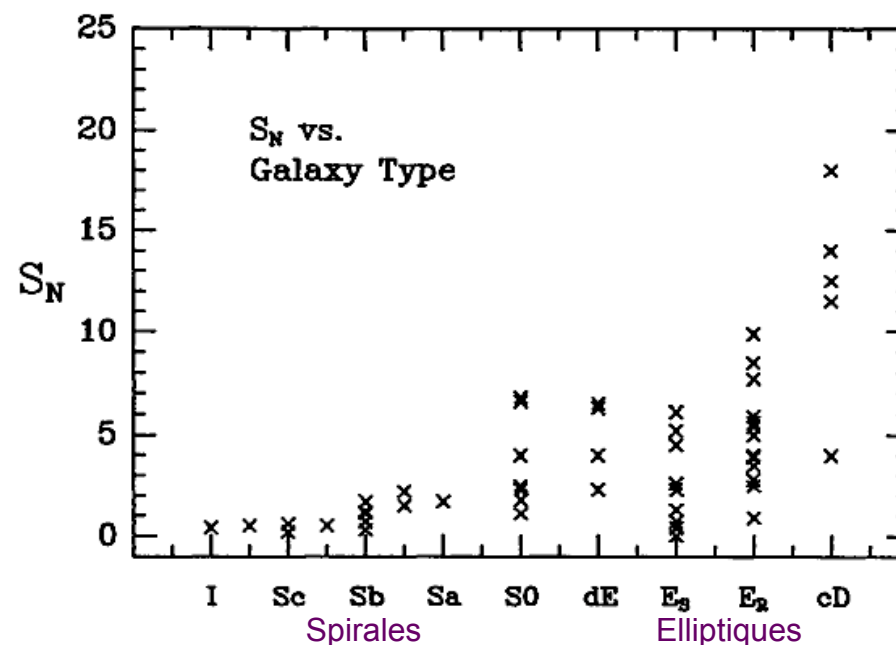
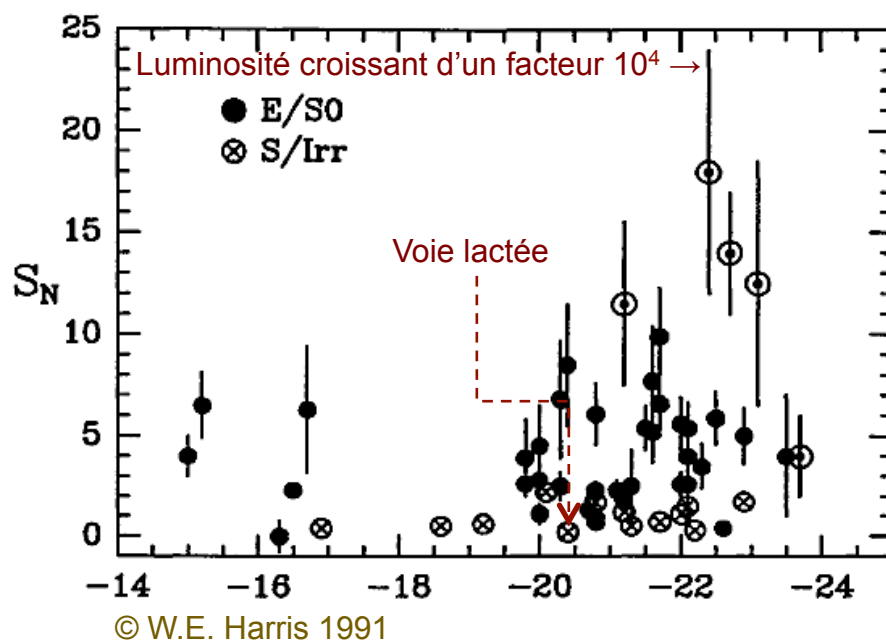
- Exemple : NGC 147, satellite de M31 résolu en étoiles par W. Baade en 1944 (D = 700 kpc, Mag = -13,7)
- Seules les plus proches sont connues, mais ce sont peut-être les plus nombreuses de toutes les galaxies

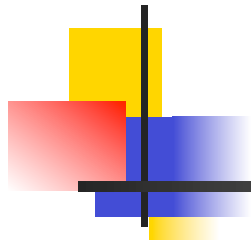


Amas globulaires



- 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

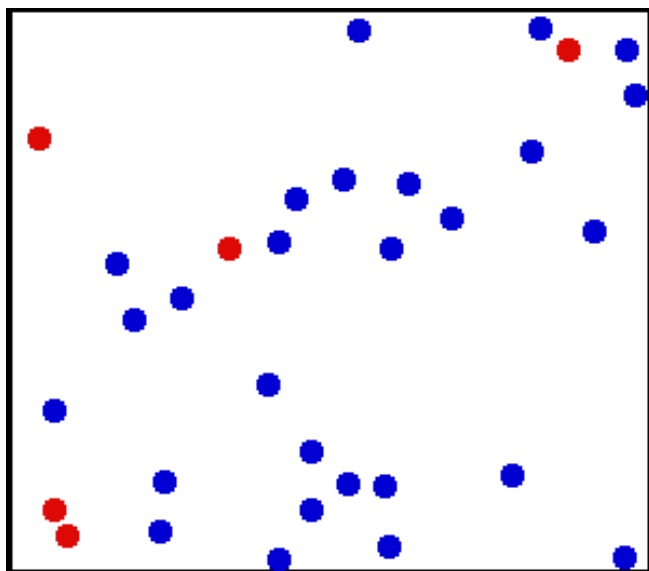




DYNAMIQUE DES GALAXIES

Physique statistique

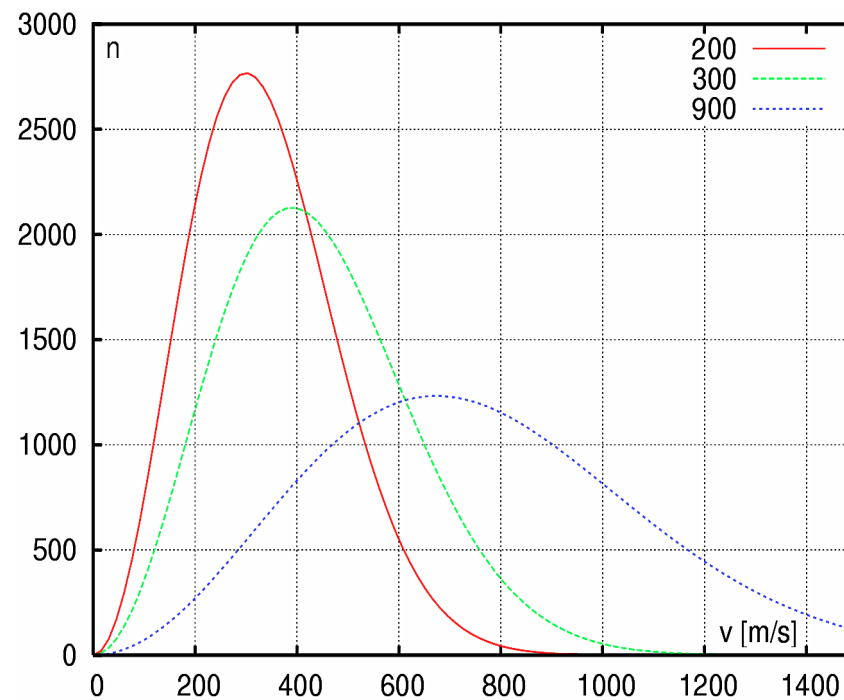
- Maxwell et Boltzmann
 - Mouvement de particules d'un gaz parfait (**sans interaction**) en équilibre thermique



- Température et **dispersion** de vitesse

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

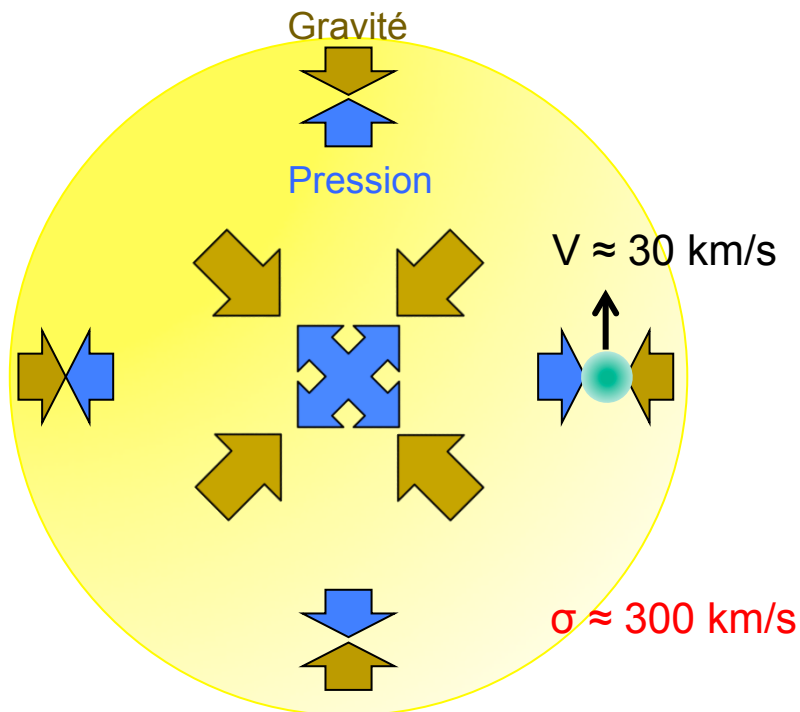
$$\sigma = \sqrt{\langle V^2 \rangle} \Leftrightarrow T \Leftrightarrow P = nkT$$



Deux types d'équilibre

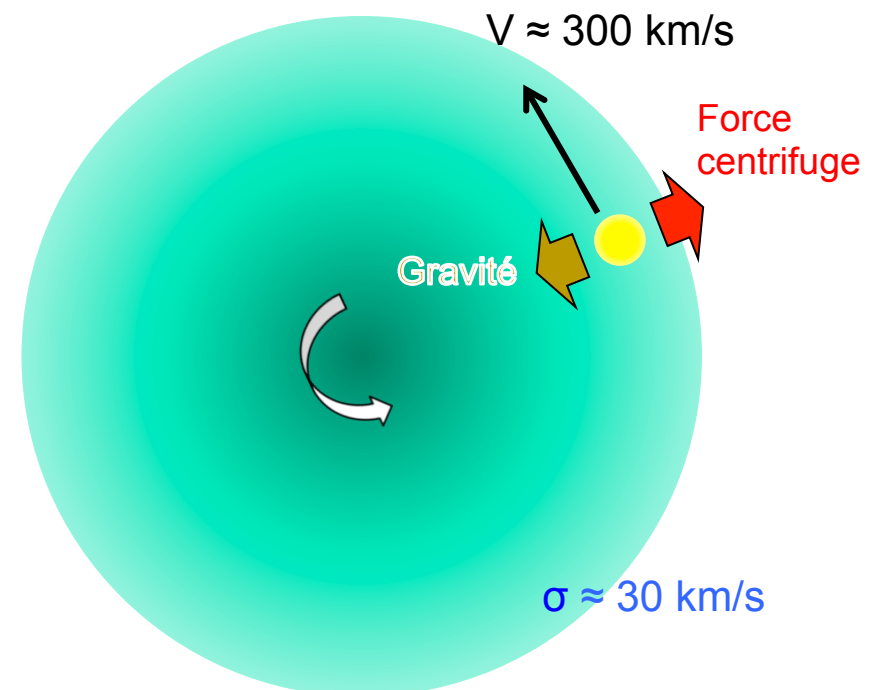
Galaxies elliptiques

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



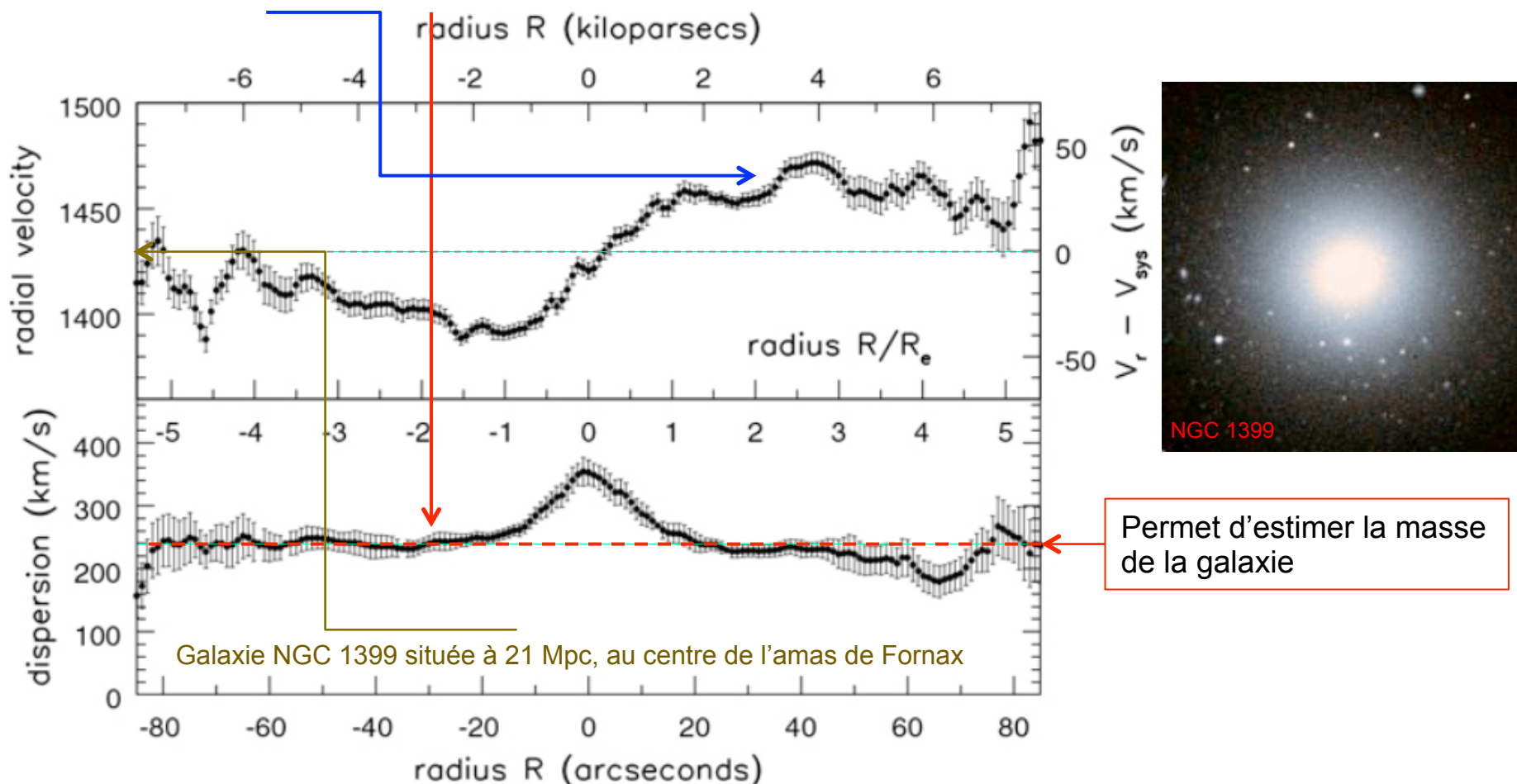
Galaxies spirales

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



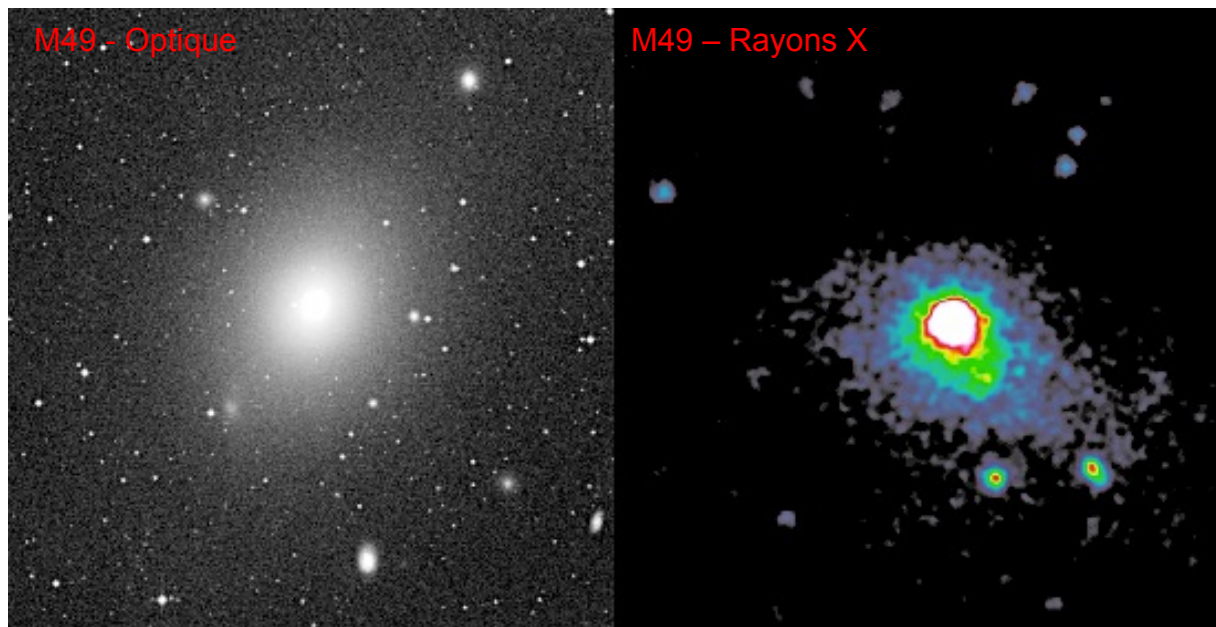
Dynamique des elliptiques

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



Matière noire et gaz

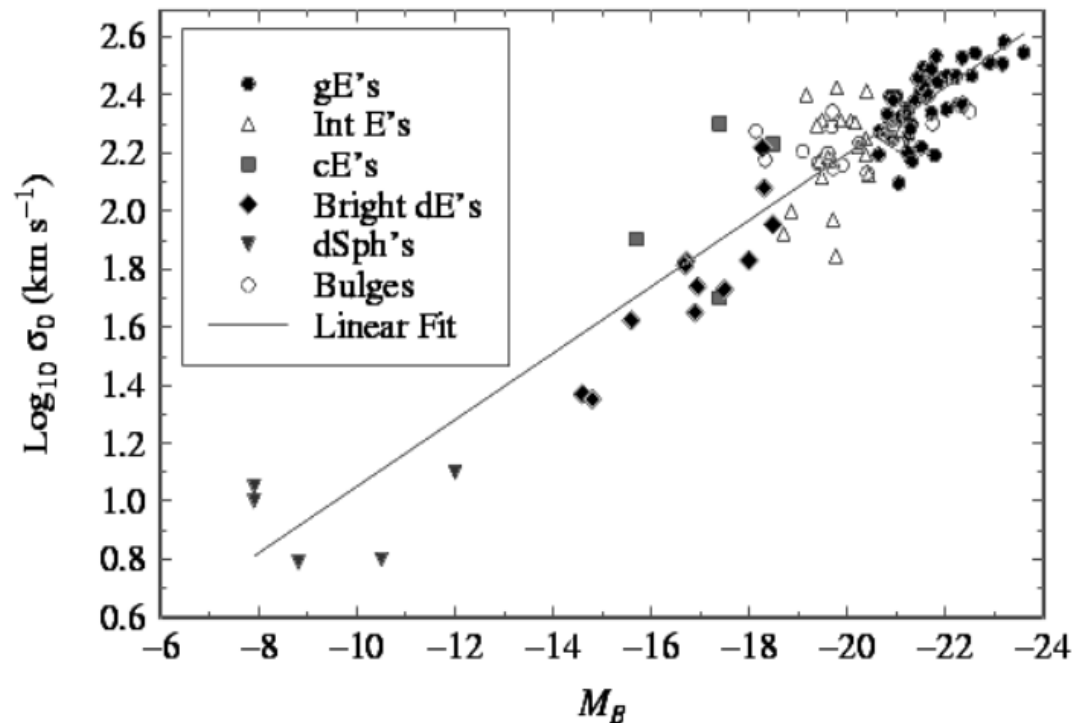
- Les galaxies elliptiques sont pauvres en gaz
- Mais il y en a !
- Émetteur X
 - vitesse $\sqrt{\langle V^2 \rangle} \approx 300 \text{ km/s}$ ($10^{-3} c$)
 - \Leftrightarrow température $T \approx m_H V^2 / 3k \approx 1 \text{ keV} = 10^7 \text{ K}$
- Matière noire ?
 - étoiles $\Rightarrow M/L \approx 3$
 - 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 σ
- \Rightarrow méthode de mesure des distances (similaire à Tully-Fisher)

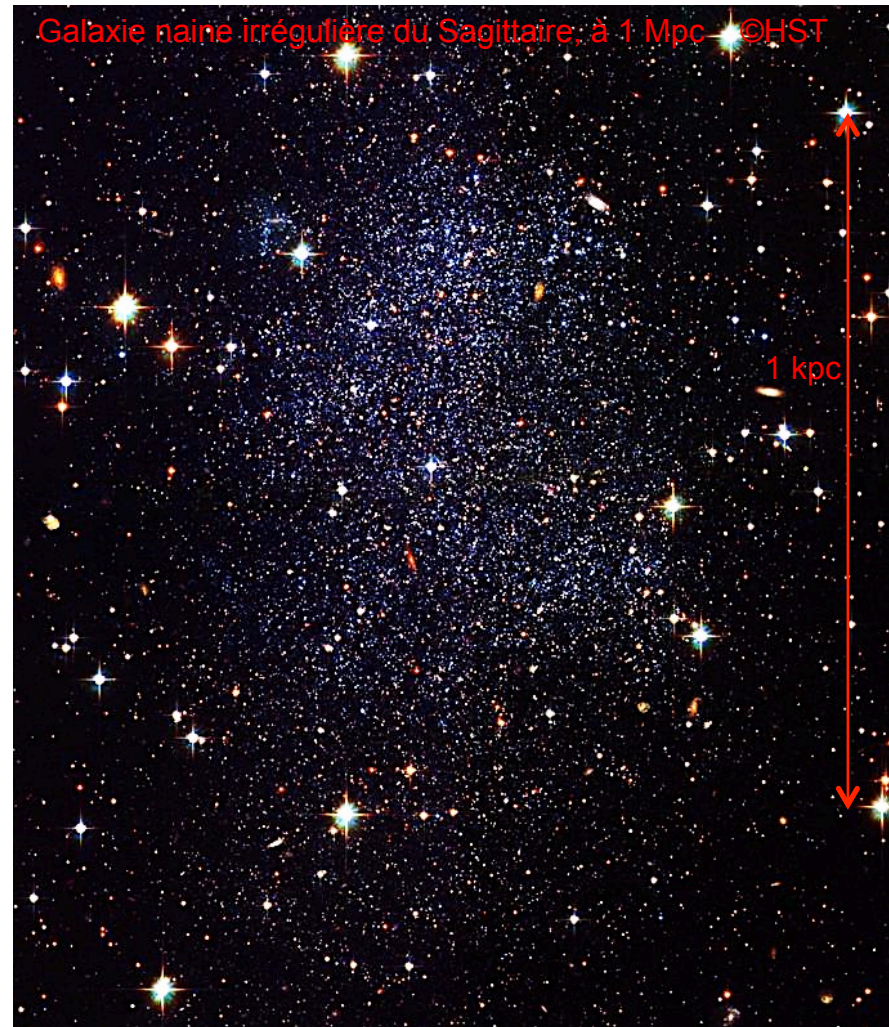
$$L \propto \sigma^4$$

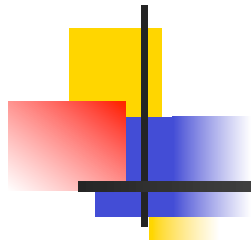


- « Plan fondamental »
- Second paramètre : le diamètre (isophotal, ou celui qui contient la moitié de la lumière totale)
- Ou – de manière équivalente – la luminosité de surface moyenne μ
- \Rightarrow relation **plus précise** entre L , σ et μ

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

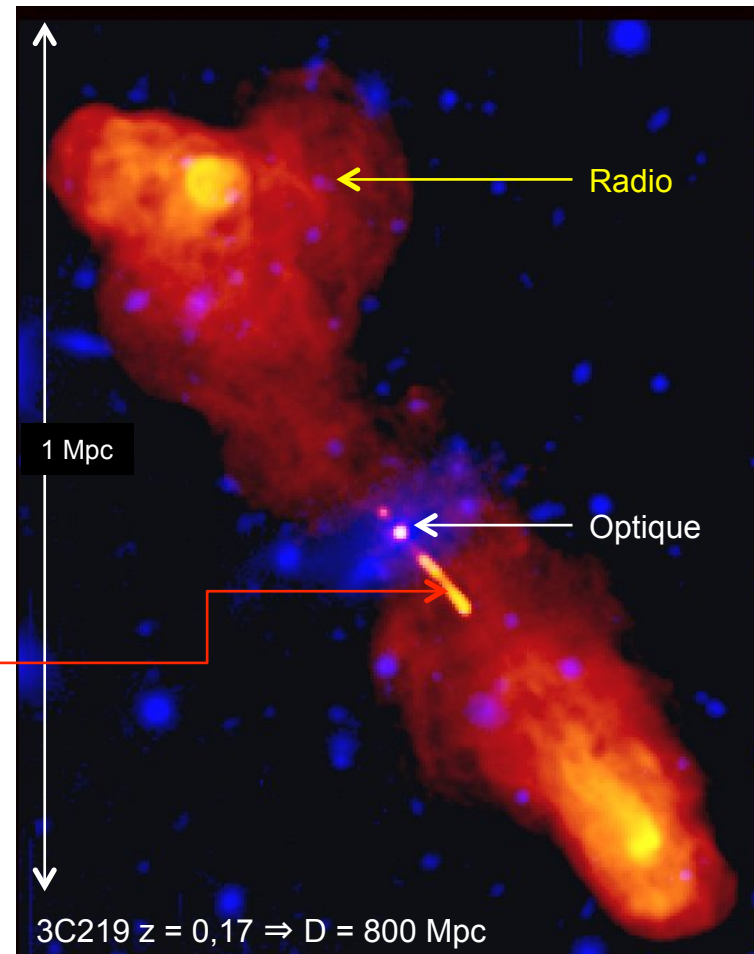




GALAXIES ACTIVES ET QUASARS

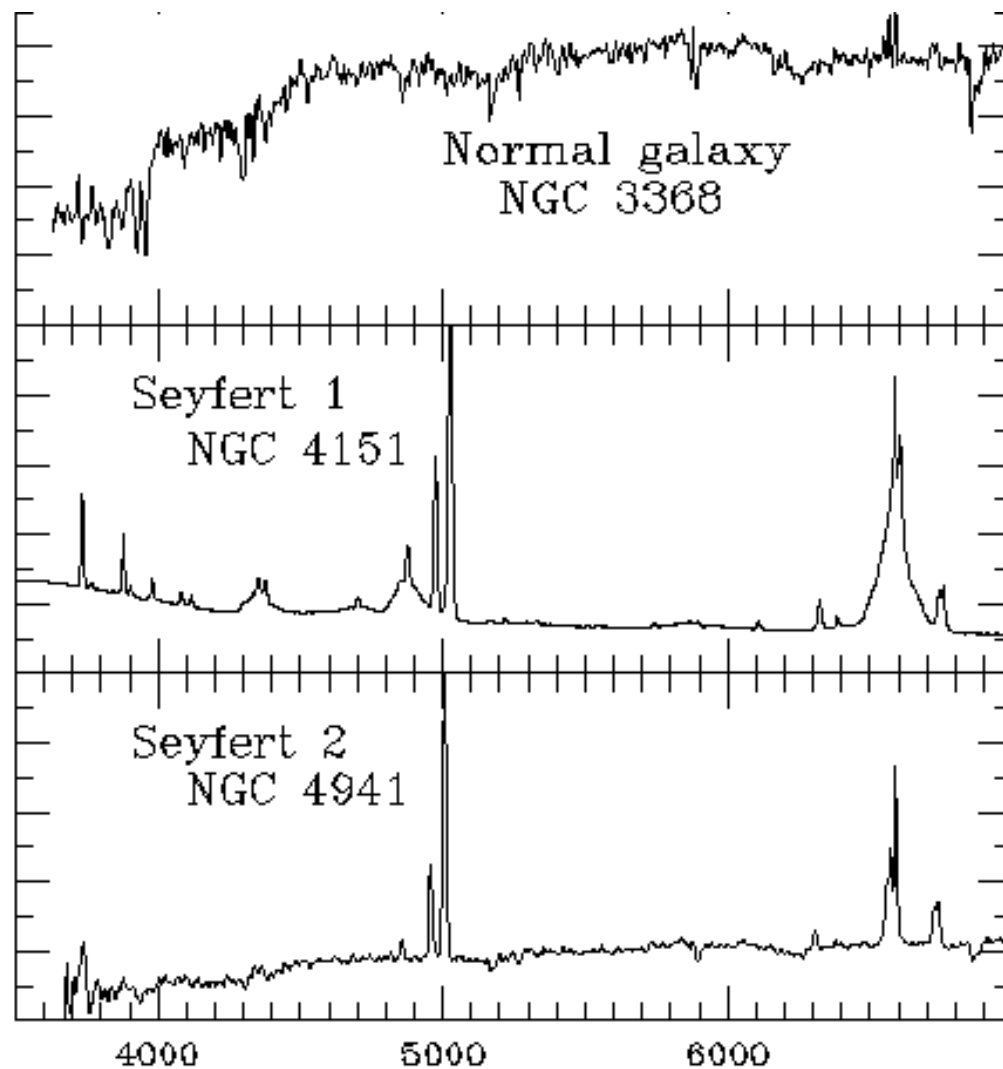
Radio-galaxies

- 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

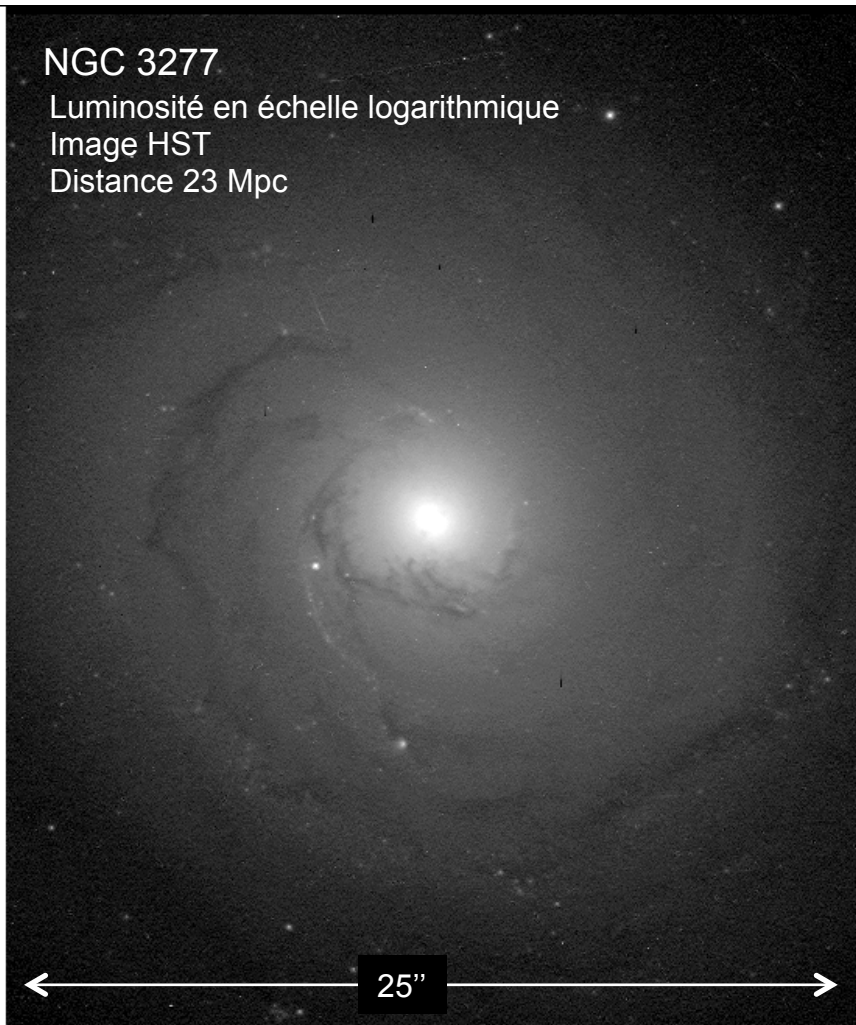
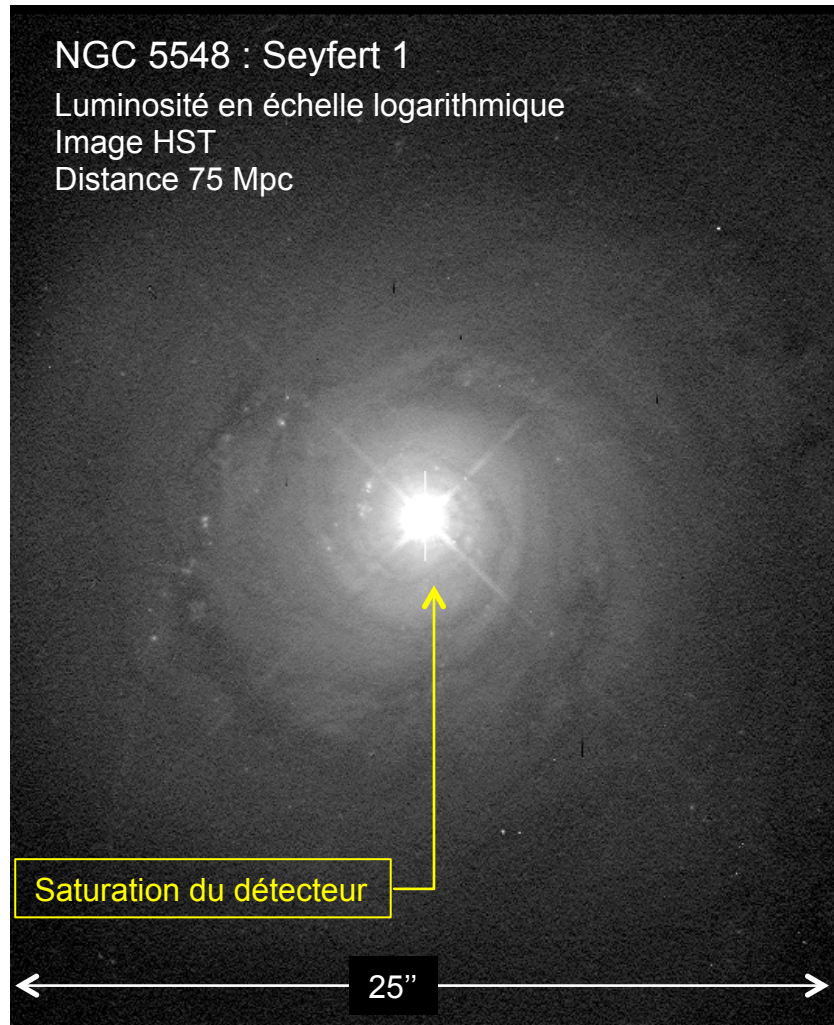


Galaxies de Seyfert

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

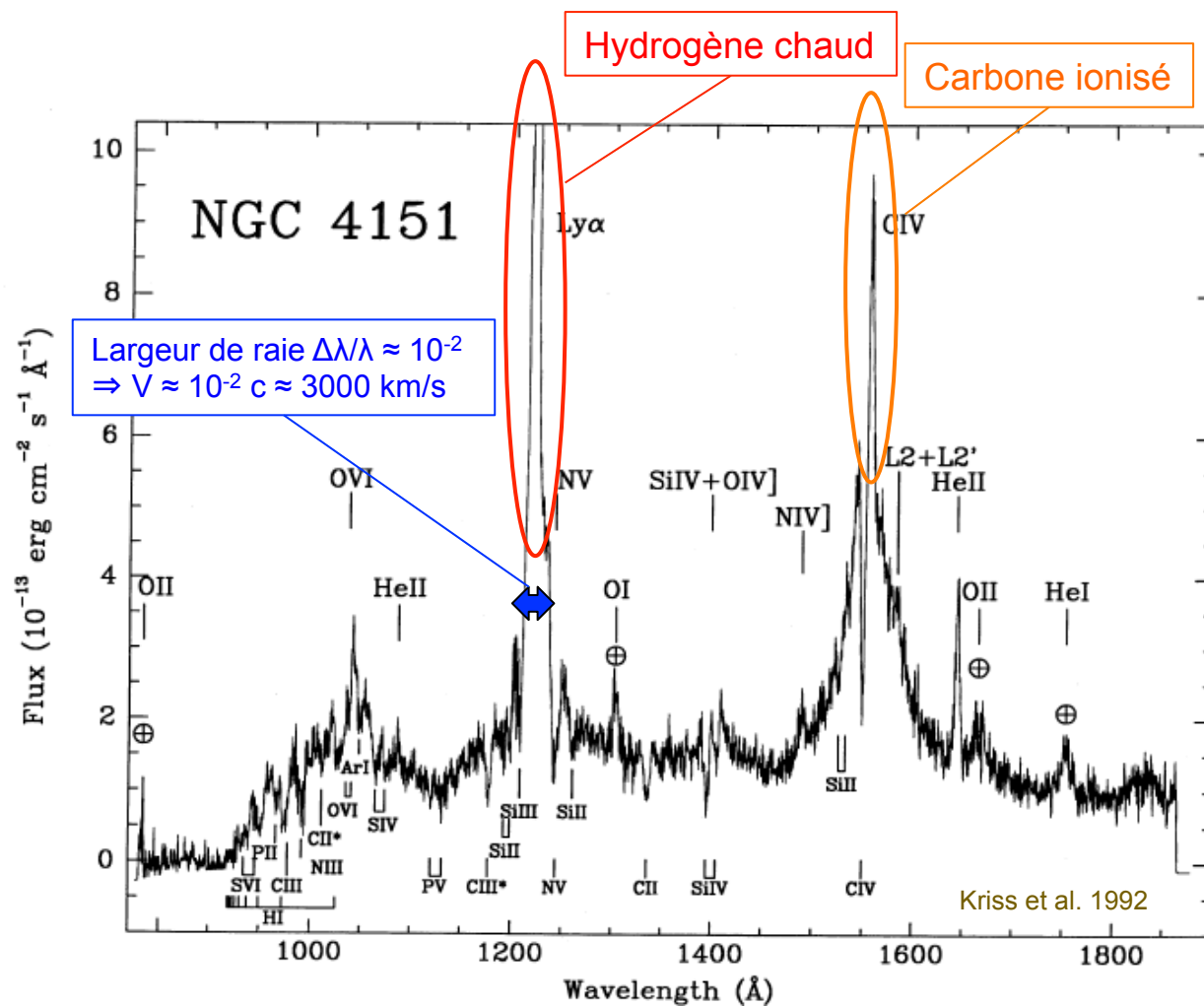


Comparaison Seyfert % galaxie « normale »



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
 $< 1 \text{ an} \Rightarrow \text{taille} < 1 \text{ al}$



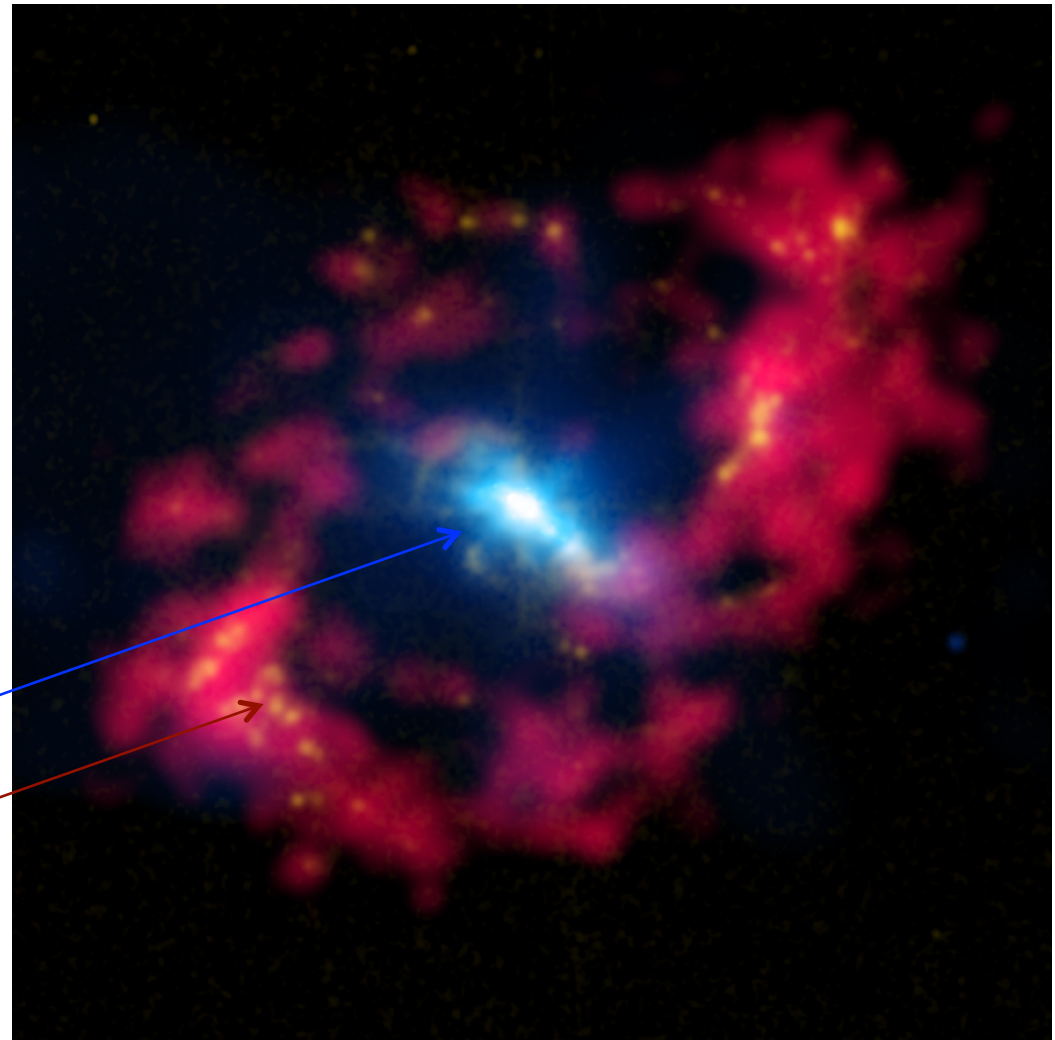
Galaxie active

- NGC 4151 « L'œil de Sauron »



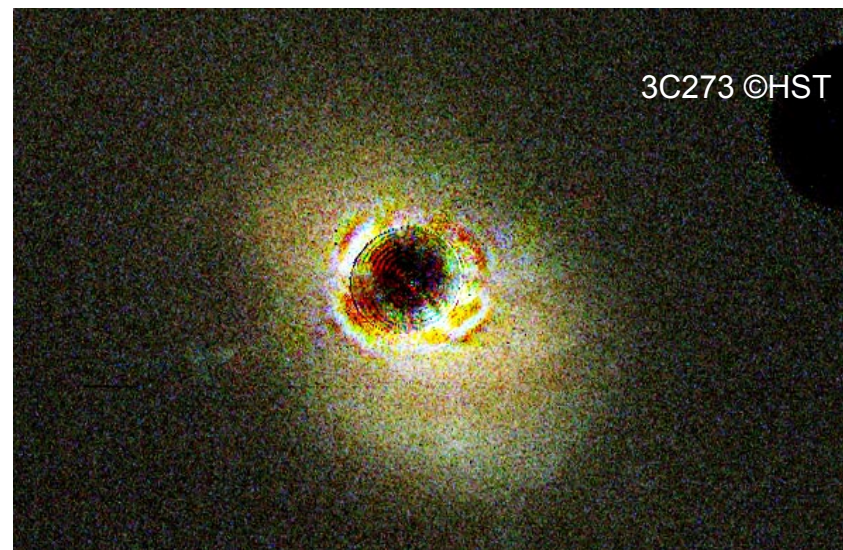
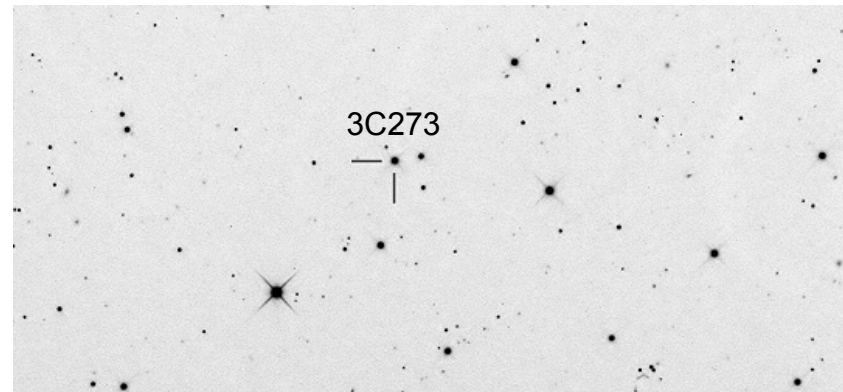
Émission X (Chandra)

Émission radio



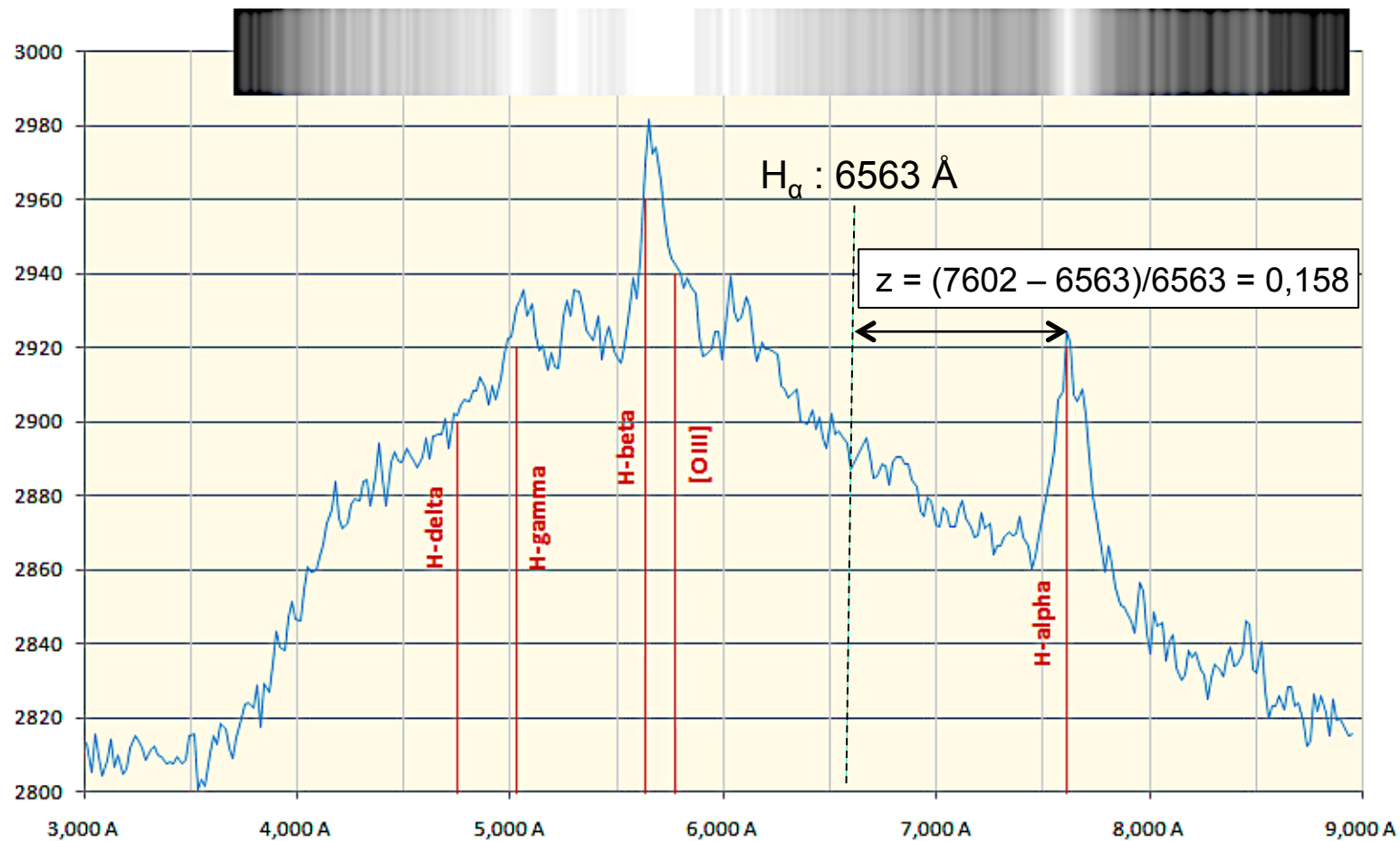
Quasars

- 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



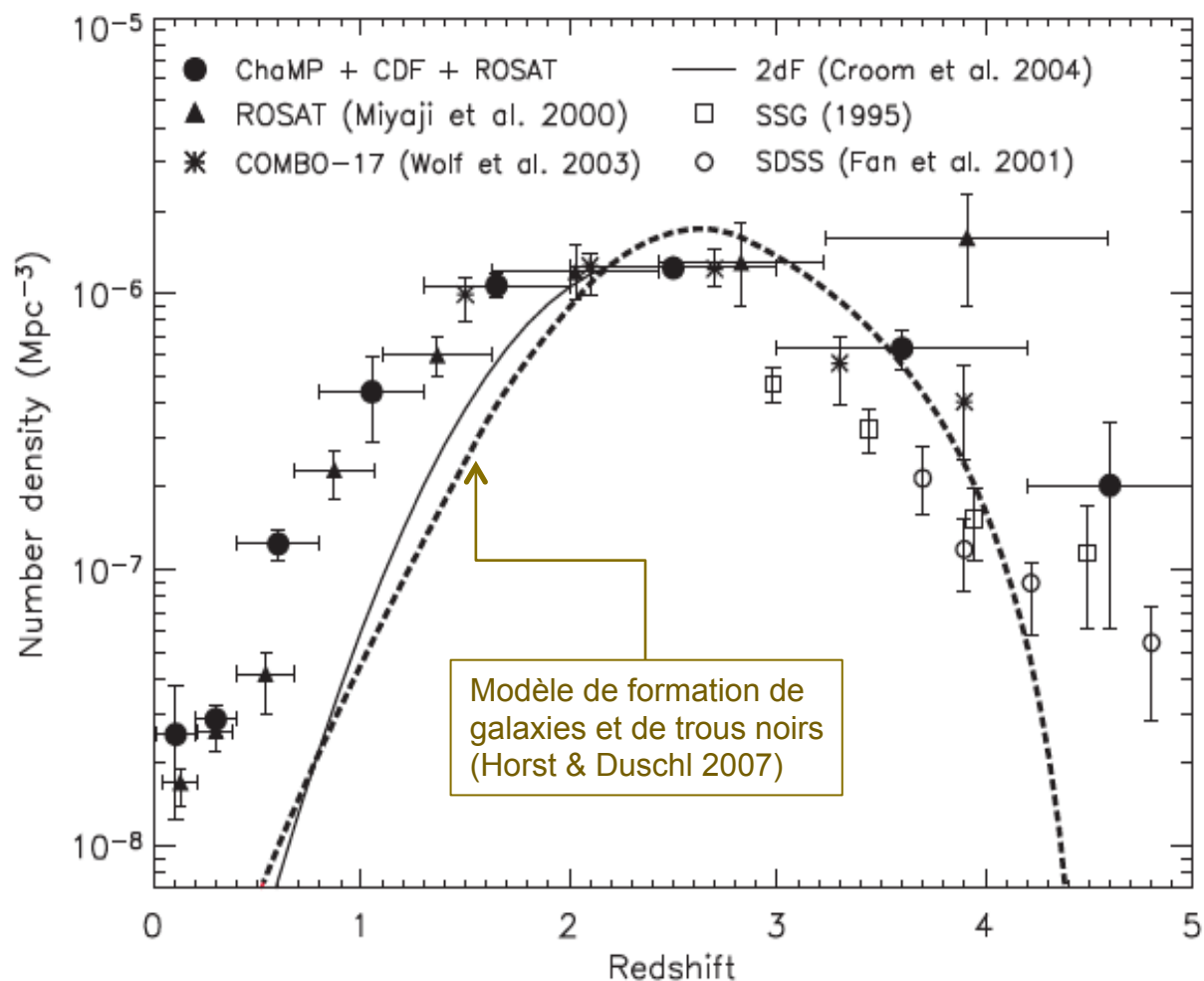
Quasars

■ Spectre de 3C273



L'évolution du nombre de quasars avec le temps

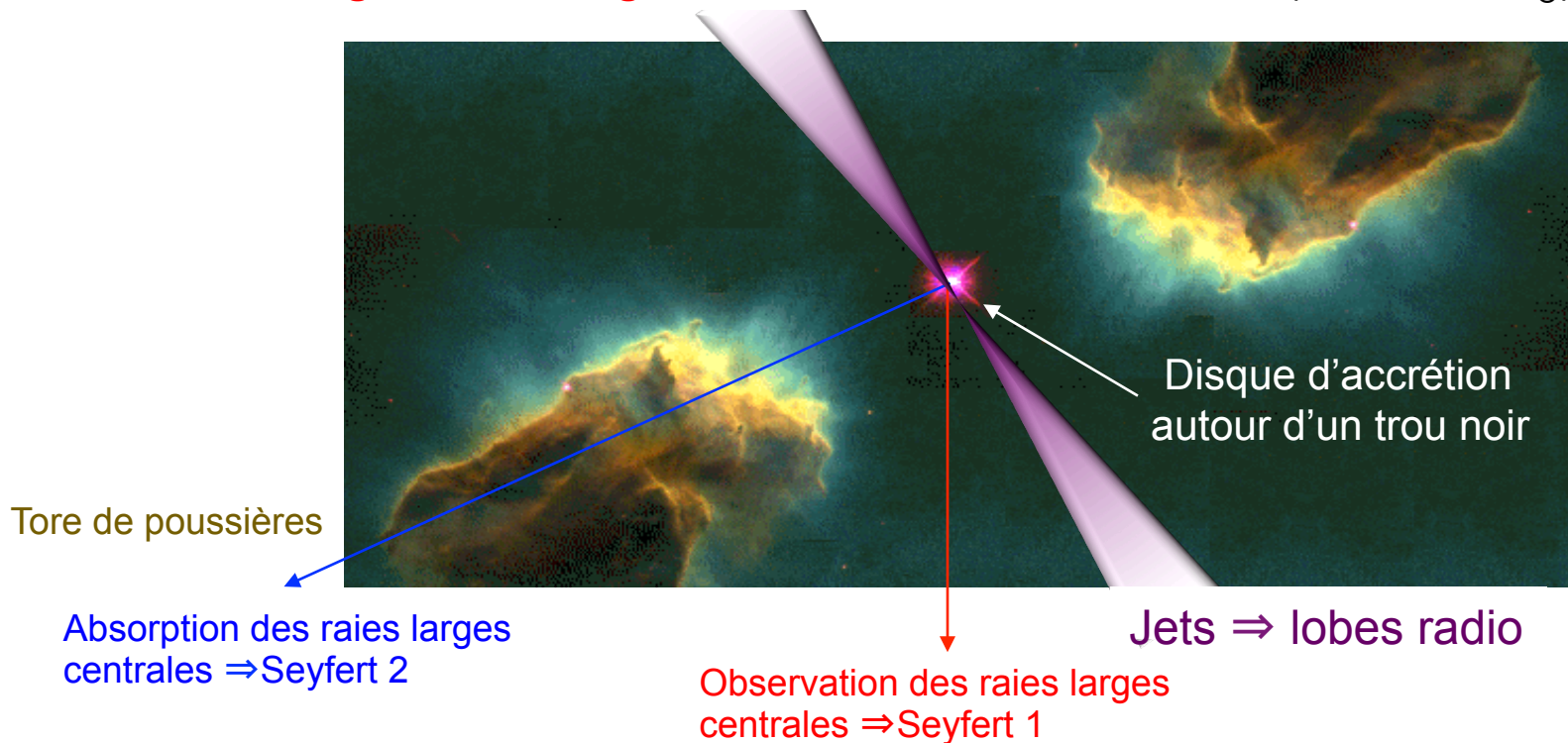
- La densité de quasars était bien plus grande dans le passé
- Elle est passée par un maximum vers $z = 2,3$
(âge de l'univers : 3×10^9 ans)
- ⇒ l'univers a changé



Galaxies actives

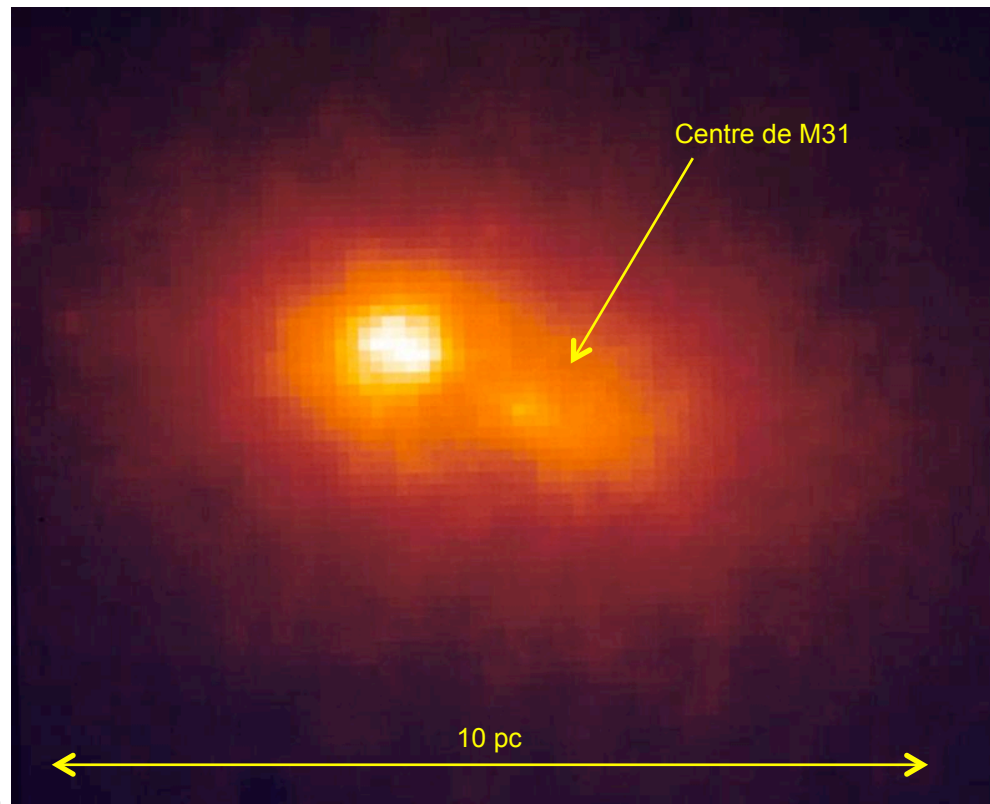
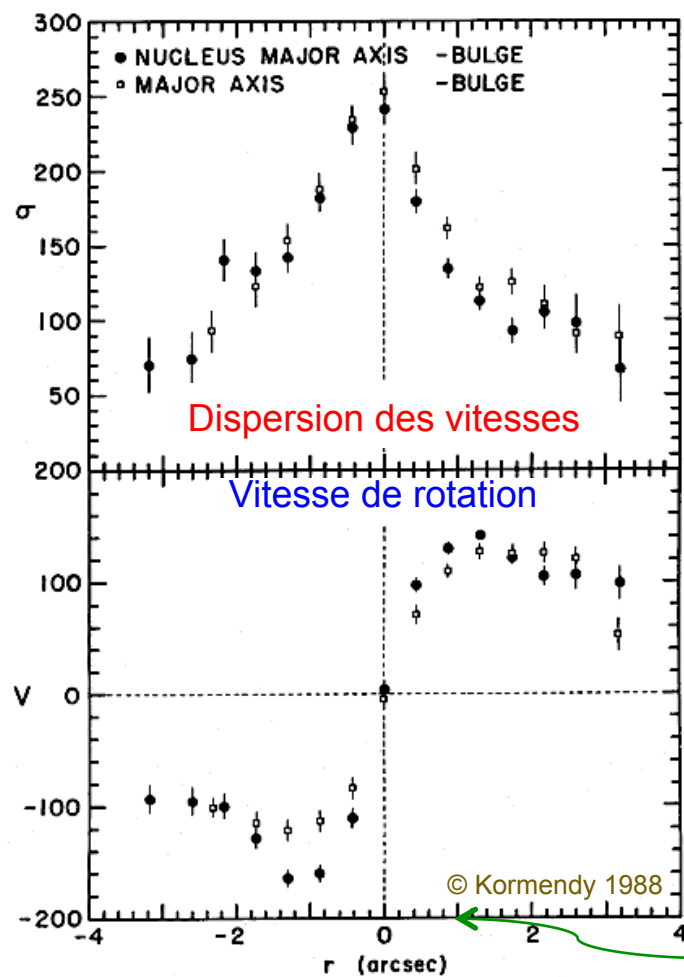
- En fait galaxies de Seyfert, quasars (radio ou pas) et radio-galaxies sont *peut-être* le même objet, mais vu sous des angles différents et/ou dans un environnement différent :

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



Trous noirs centraux

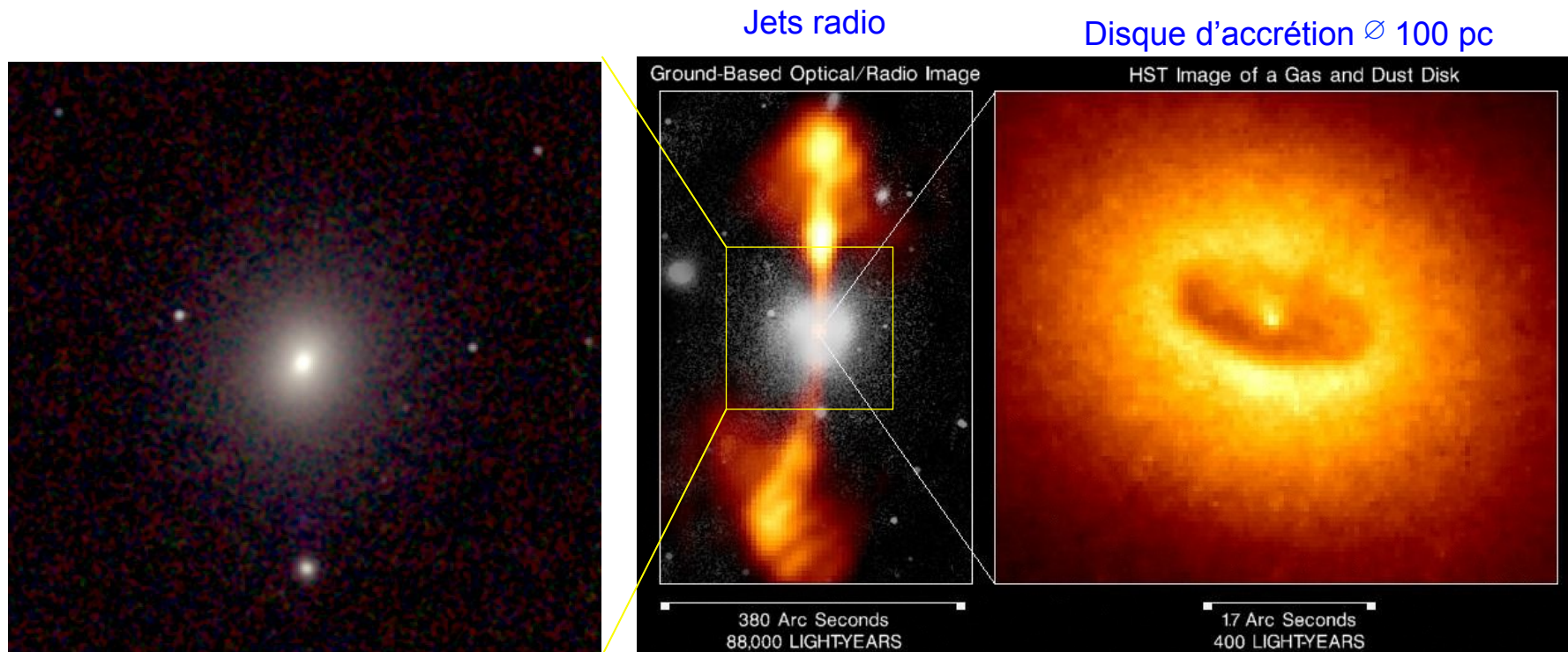
- Un trou noir et un double noyau au centre de la galaxie d'Andromède M31

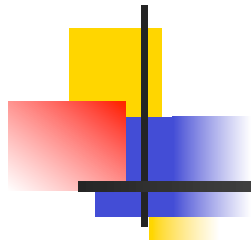


1" à 700 kpc = 3 pc

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



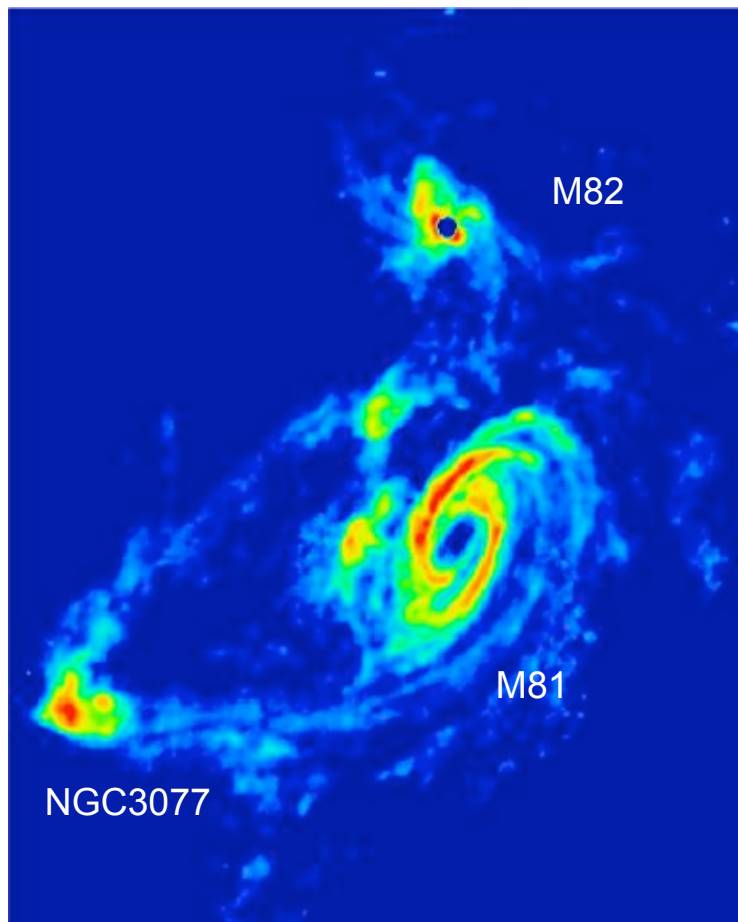
Simulation numérique

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

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

Interactions

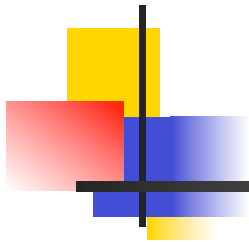
- Groupe de M81 (à 3.6 Mpc)



- Effets de marée

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





Merci de votre attention !

