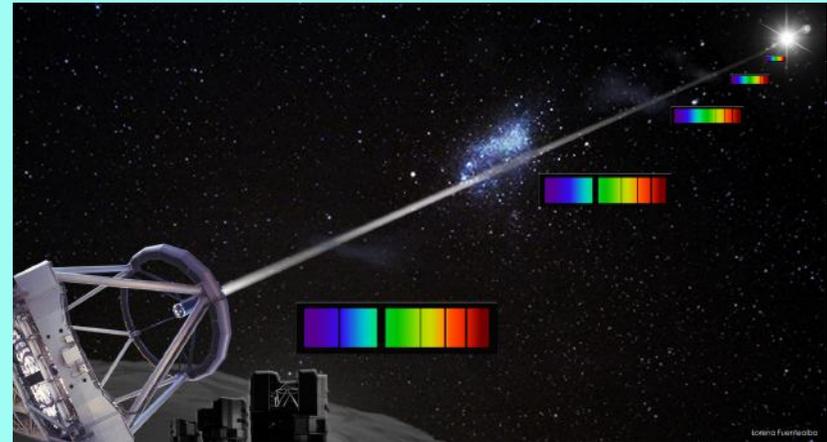


L'Univers lointain

Patrick Boissé

Université Pierre et Marie Curie, IAP

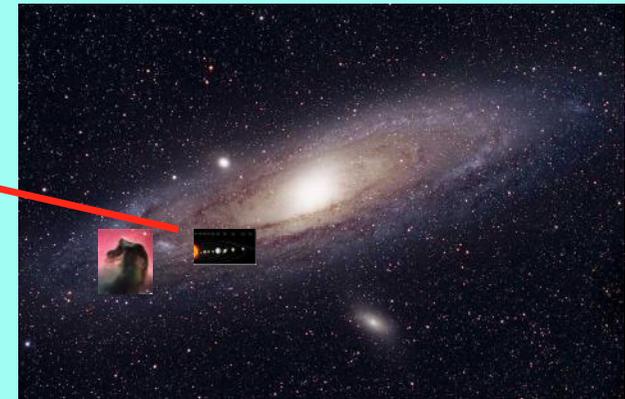
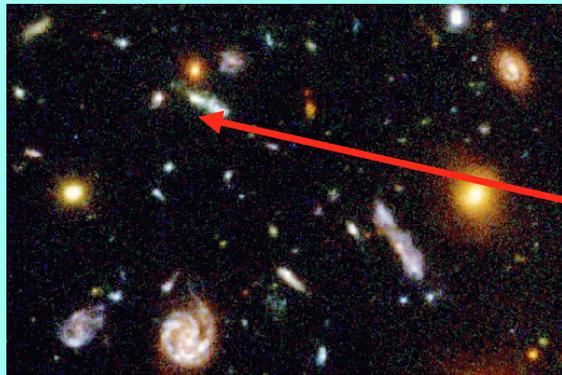


- L'expansion de l' Univers, relation V, d, t
- Distribution des galaxies dans l'espace: amas, filaments, vides
- Quasars, supernovae, sursauts gamma
- Le gaz intergalactique révélé par les quasars
- La formation des galaxies



Se situer dans l'Univers

- système solaire : Terre, lune, planètes, soleil (≈ 10 min-lumière)
- voisinage solaire: étoiles, nuages de gaz (quelques 10-100 a. l.)
- notre Galaxie, la voie lactée ($\approx 100\ 000$ a. l.)
- galaxies proches (millions d' a. l.)
- galaxies lointaines et quasars (milliard d' a. l.)



6 février 2014

L'Univers lointain

2

Les galaxies : « atomes » de l'Univers

Une galaxie =

- ≈ 100 milliards d'étoiles
- du gaz
- un trou noir massif au centre
- un halo de matière noire

Sextette de Seyfert



Objet de Hoag



ESO325-G004



NGC 1300



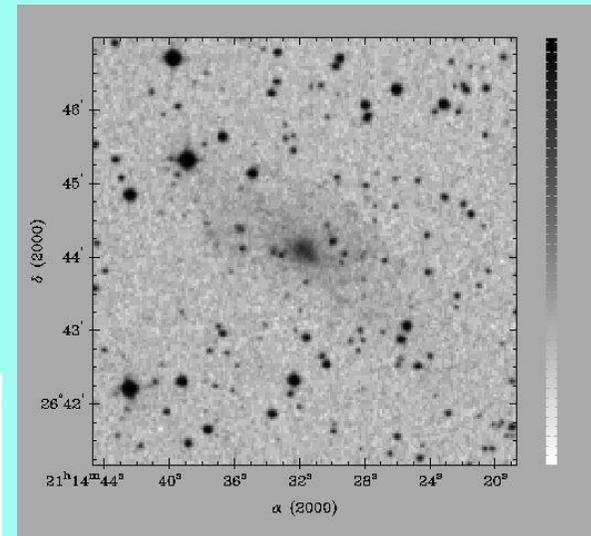
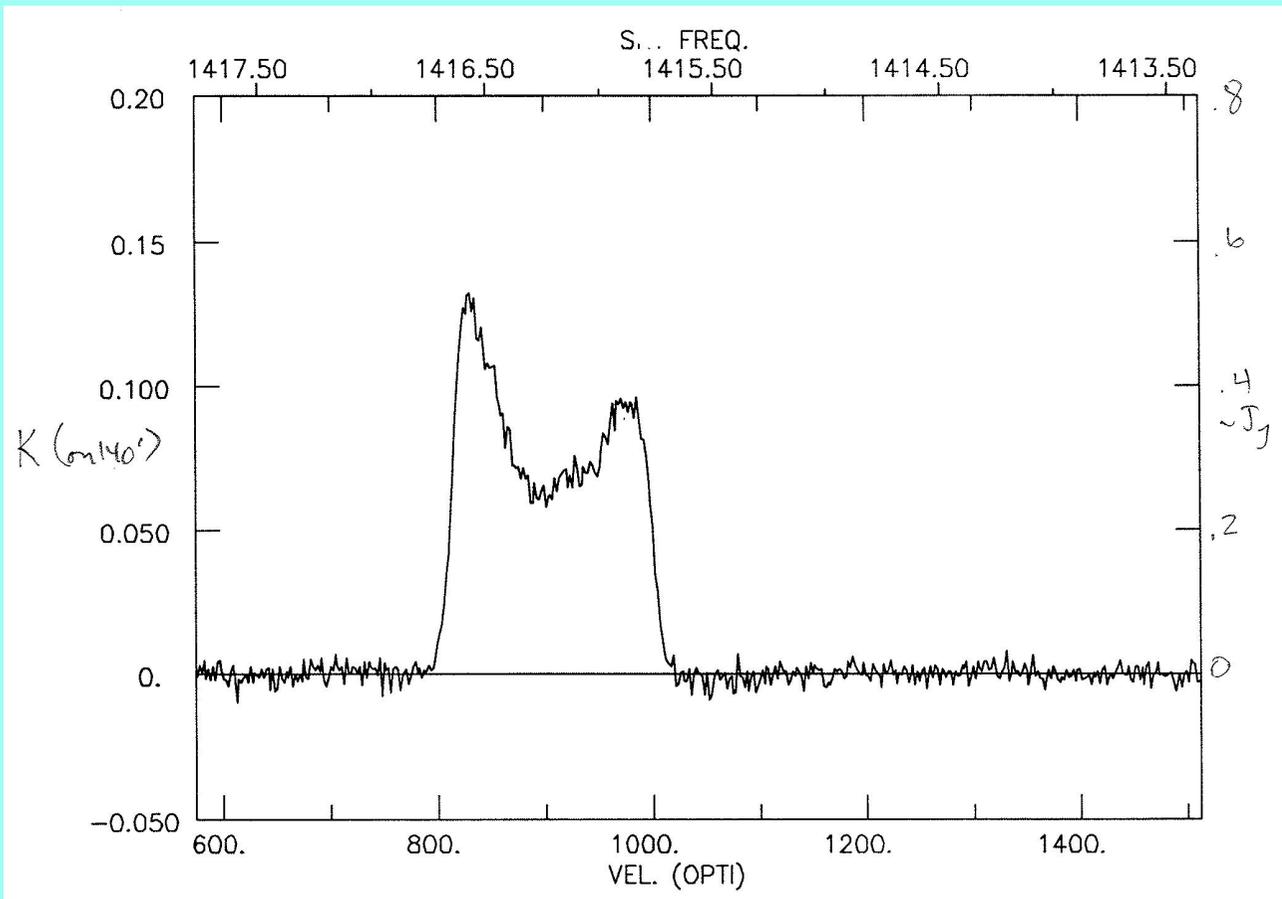
6 février 2014

L'Univers lointain

3

Fuite des galaxies : l'expansion de l'Univers

Exemple : la galaxie UGC 11707, mesure radio



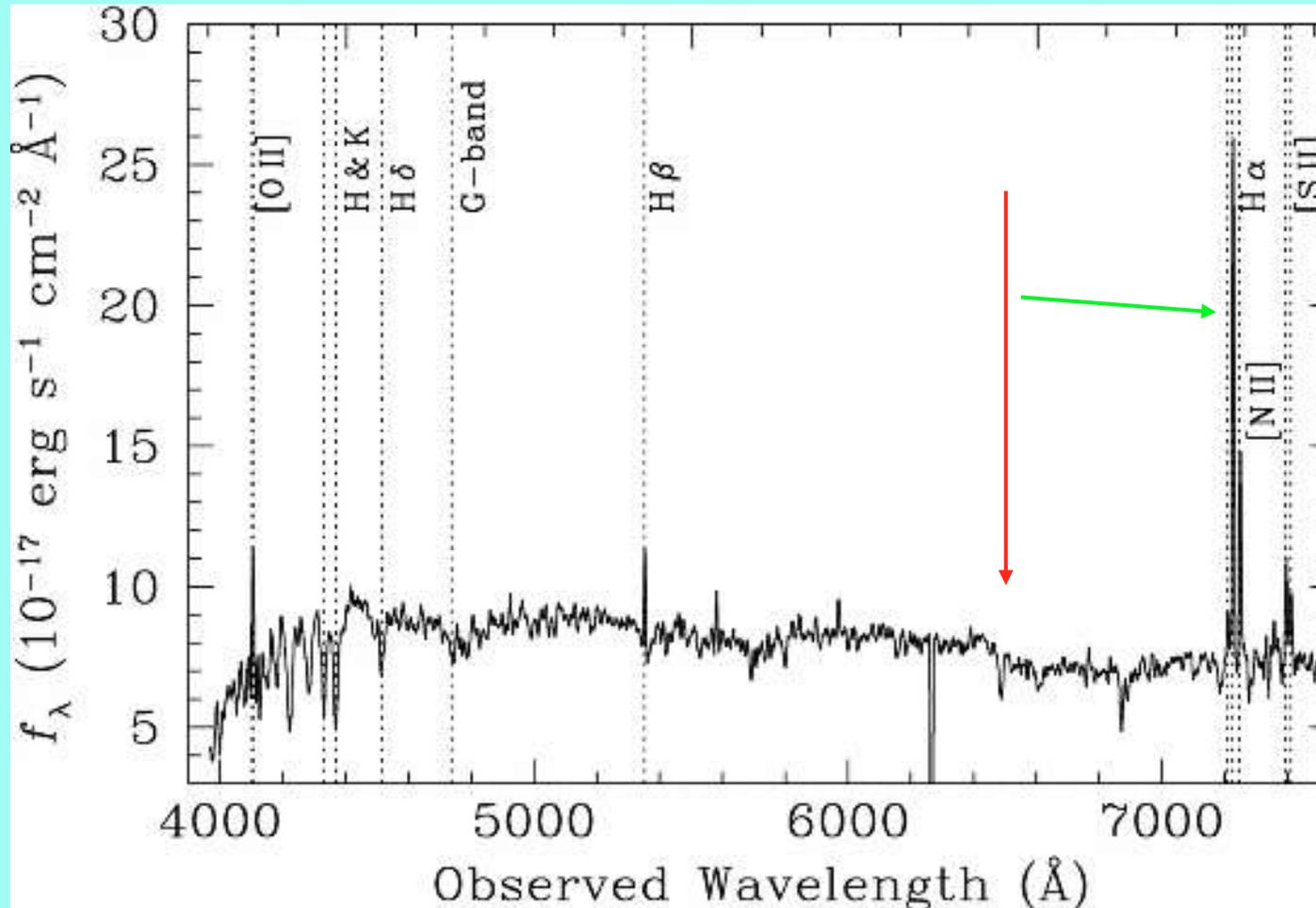
$V \approx 900 \text{ km/s}$

$\Delta V \approx 200 \text{ km/s}$

Fuite des galaxies : mesure optique

Mesure des raies d'absorption ou d'émission : $V \approx 30\,000$ km/s

Michael Richmond



Mouvement des galaxies

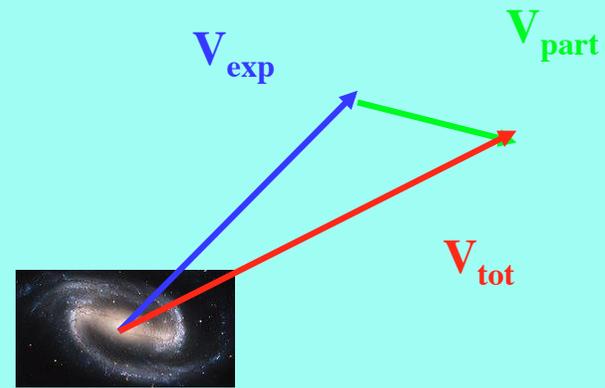
Mouvement général de fuite

cf points sur un ballon gonflé

+

Mouvement « particulier »

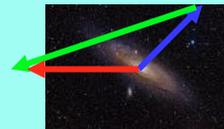
(par ex dans un groupe)



Effet Doppler :

$$\lambda_{obs} = (1 + z) \lambda_{labo}$$

$$v_{obs} = v_{labo} / (1 + z)$$



Loi de Hubble (1929)

$$V_{exp} \approx cz \approx H_0 D \quad (V \ll c)$$

V_{exp} ou $z \rightarrow D$ et Δt

Observateur



Distribution des galaxies dans l'Univers

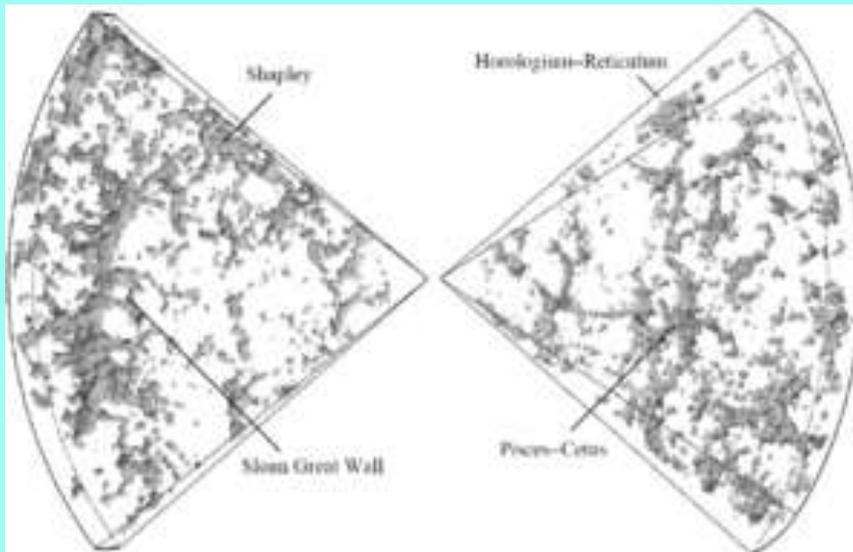
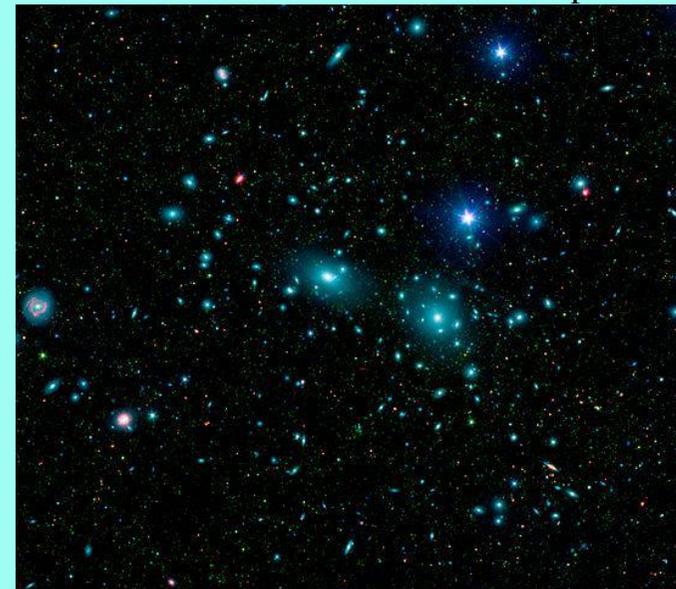
Pas du tout homogène :

- groupes
- amas
- filaments
- ... et régions vides

Sextette de Seyfert

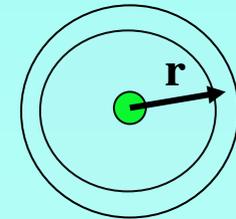


Coma/wikipedia

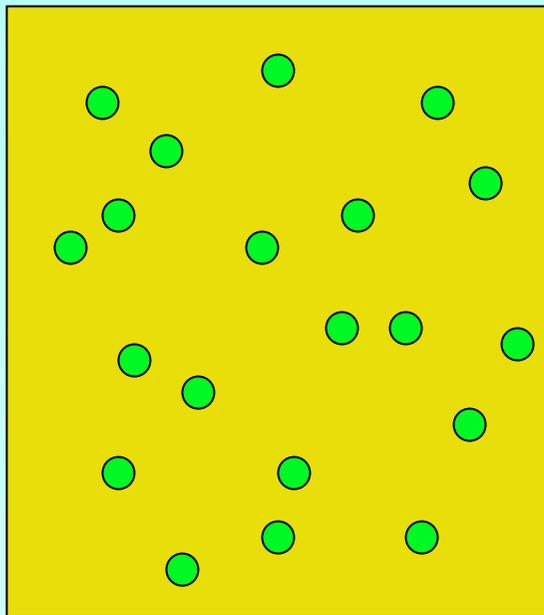


Distribution des galaxies dans l'Univers

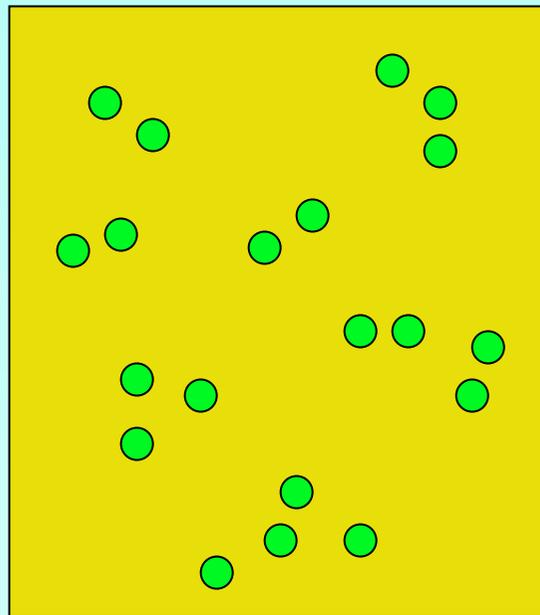
Mesure objective du « regroupement » :
la fonction de corrélation à deux points, $\xi(r)$



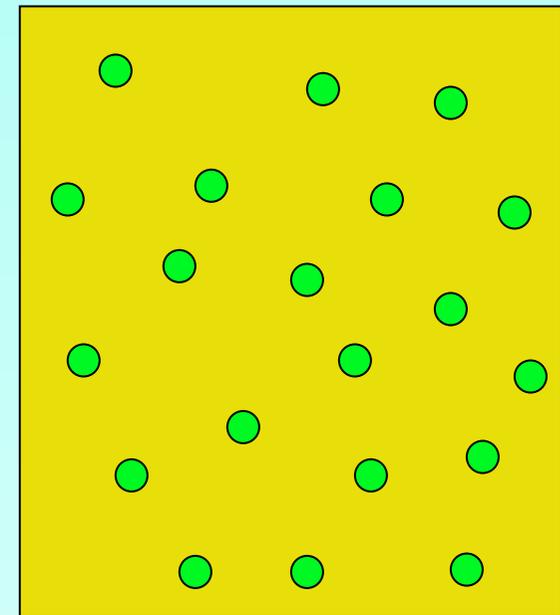
$\xi(r) \approx 0$



$\xi(r) > 0$



$\xi(r) < 0$

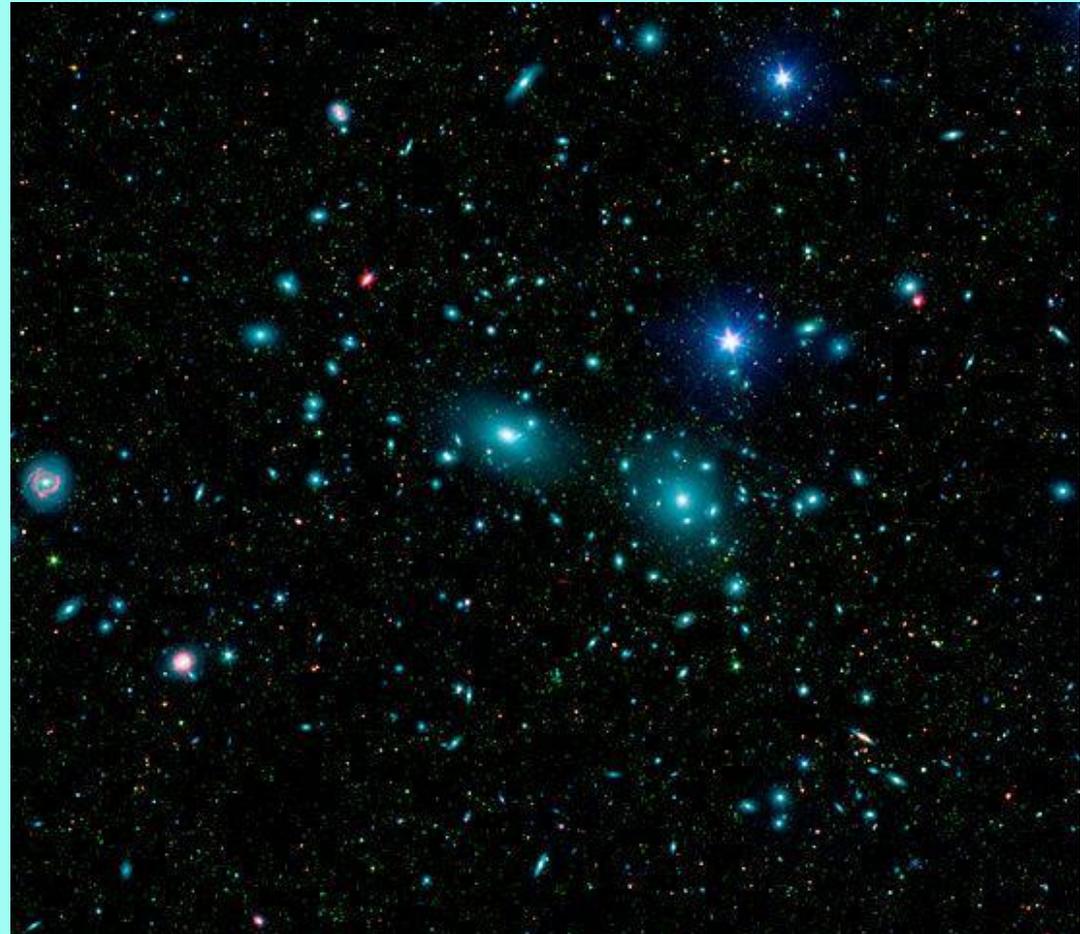


Portrait d'un amas de galaxies : Coma (A1656)

lumière visible

Amas Coma/wikipedia

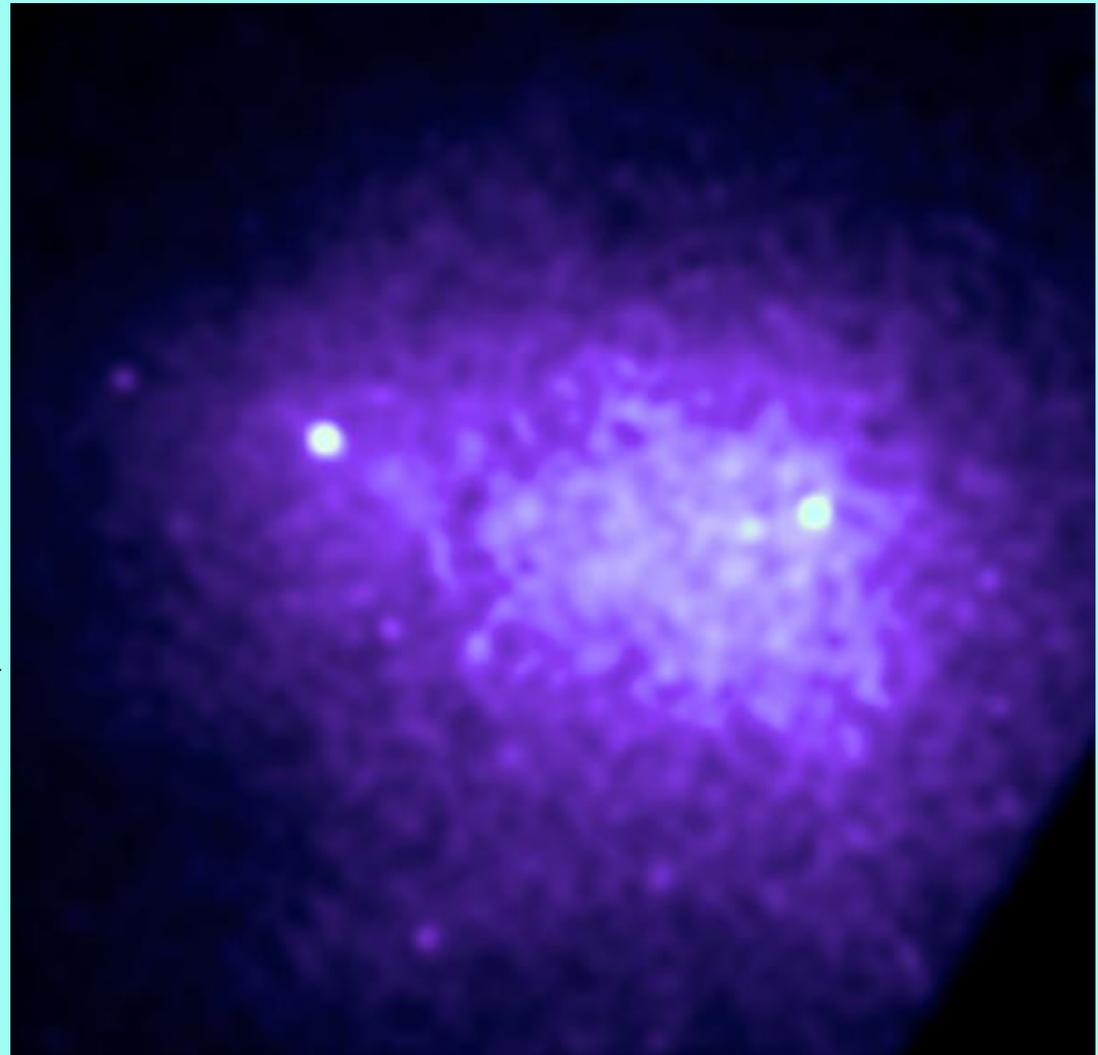
- Galaxie(s) elliptique(s) géantes au centre
- \approx x 100 galaxies
- vitesses particulières élevées (\approx 1000km/s)
- théorème du Viriel
--> matière noire
Zwicky (1933)



Portrait d'un amas de galaxies : Coma rayons X

Coma/Chandra

- Emission diffuse
+ sources
- gaz très chaud:
100 millions de degrés !
- équilibre « hydrostatique »
gravitation/pression
--> matière noire !



6 février 2014

Les amas : des télescopes gravitationnels

Un exemple remarquable : Abel 370 ($z = 0,375$)



Modélisation des images --> matière noire !

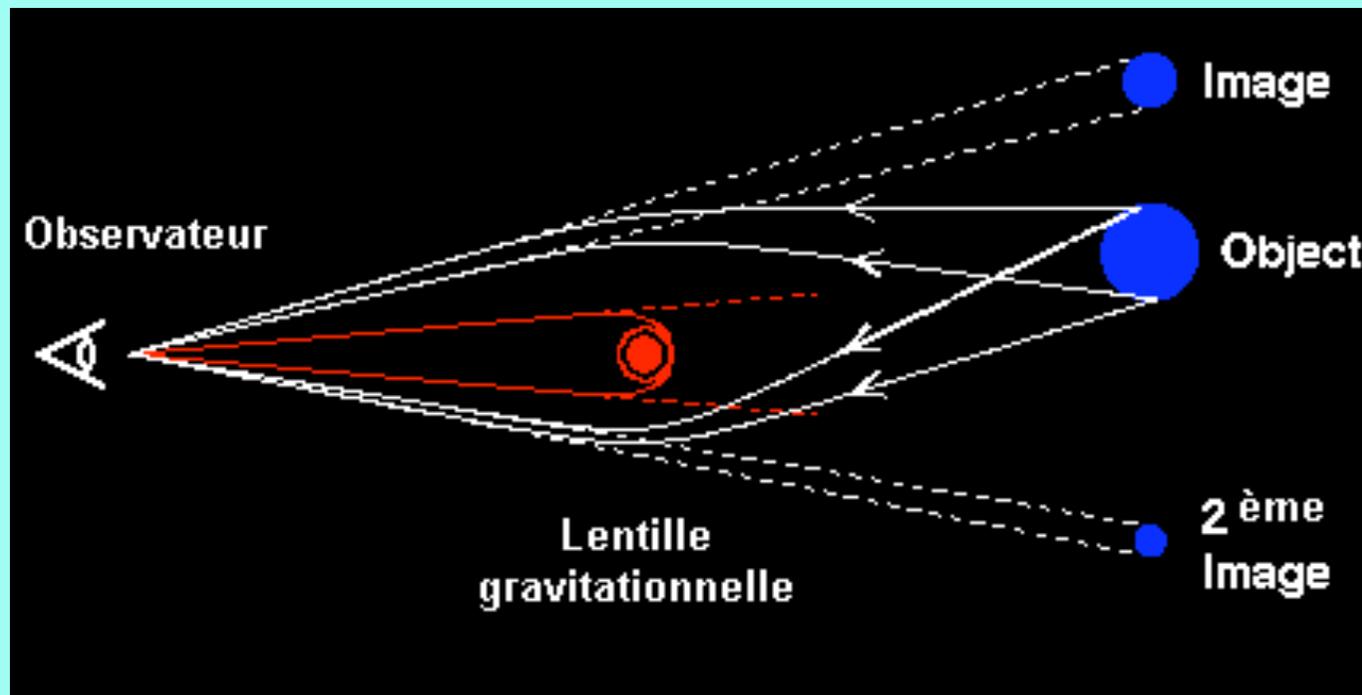
Les amas : des télescopes gravitationnels

Déflexion de la lumière (RG, Einstein 1915)

--> image(s) amplifiée(s)/déformée(s) de galaxies d'arrière-plan
optimum pour $z_g \approx z_{\text{lentille}} / 2$

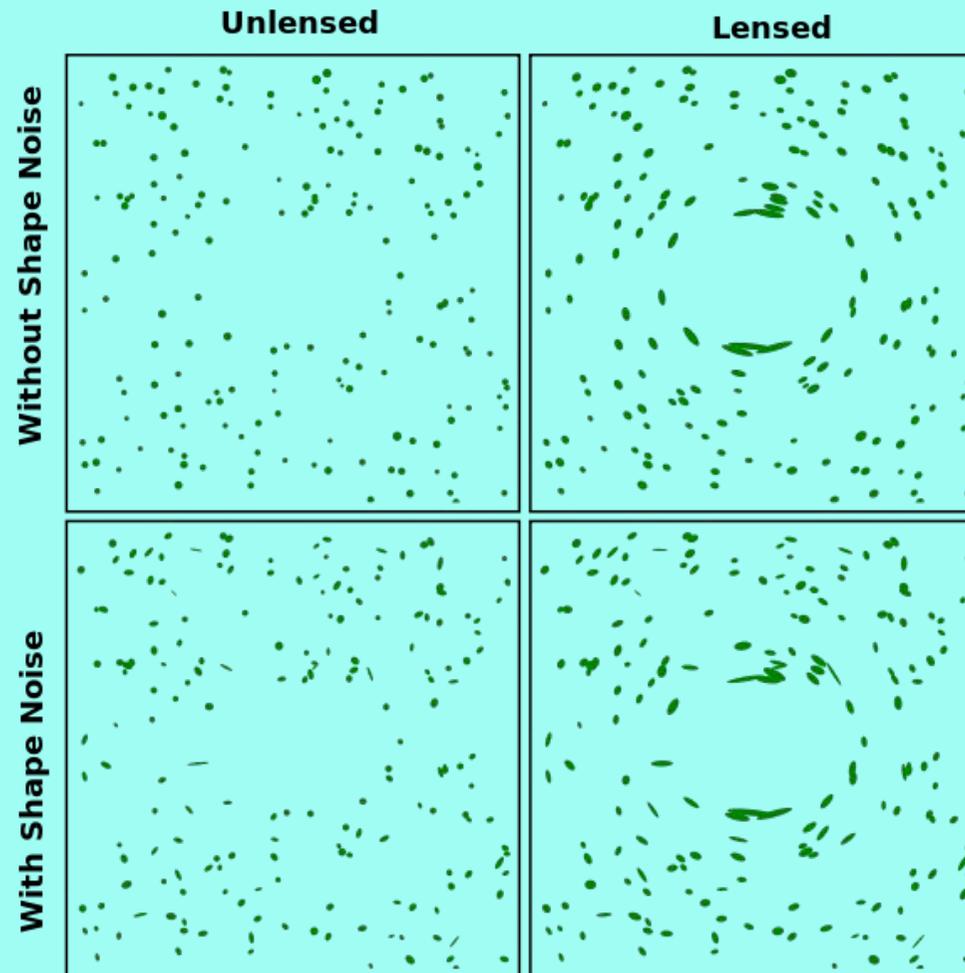
amas

Galaxies lointaines



Cartographier la matière noire

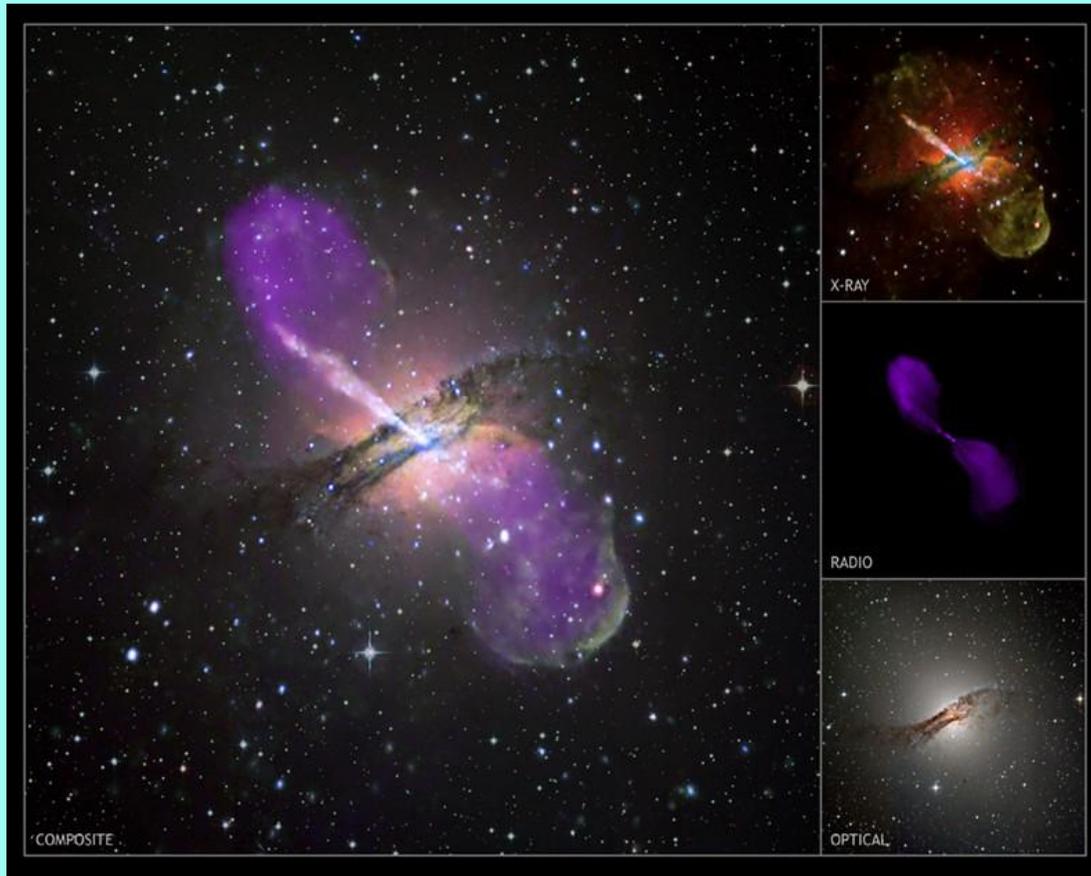
Principe: mesurer la déformation des galaxies d'arrière-plan



La découverte des quasars

Identification des sources radio (≈ 1960)

Centaurus A



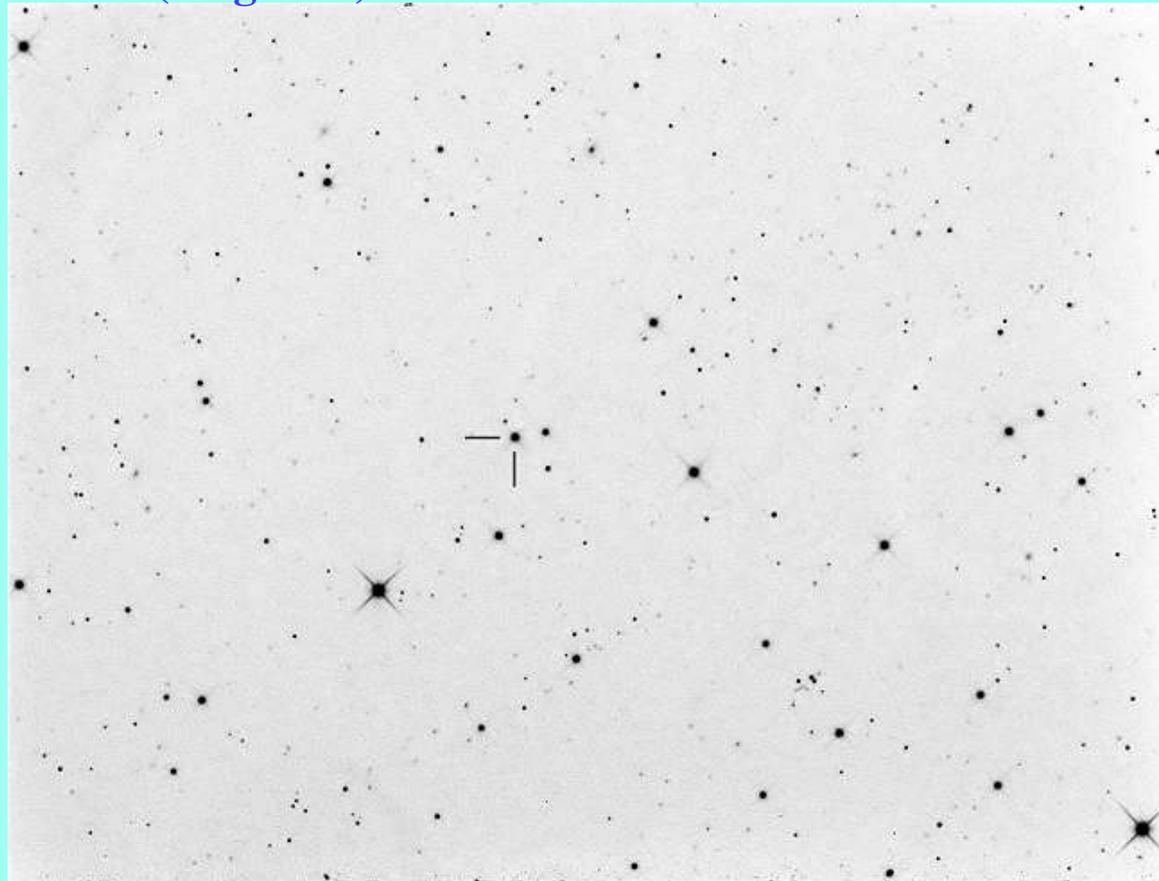
Radiogalaxies (Cent. A)

La découverte des quasars

ou quasi-stellar objects (QSOs)

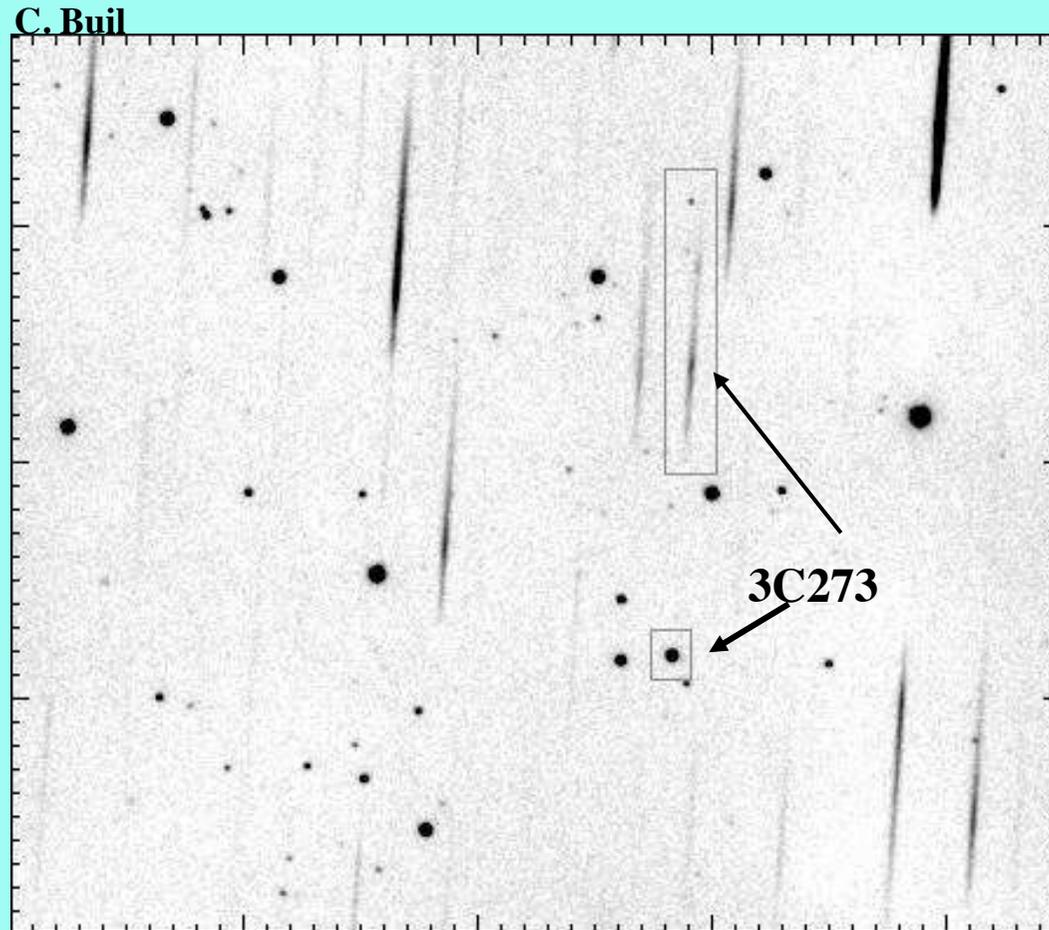
Objets d'apparence stellaire: « quasi-stars » ou quasars

3C273 (mag ≈ 12)



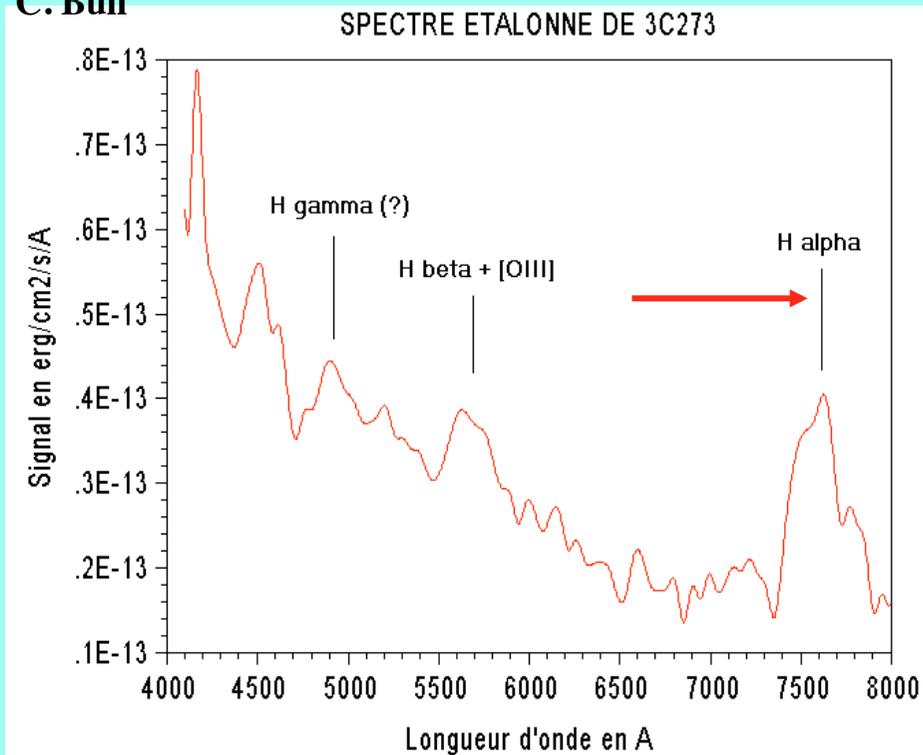
Nature et distance des quasars ?

--> spectroscopie (étoiles radio ? autre type d'objets ?)



Caractéristiques des quasars

C. Buil

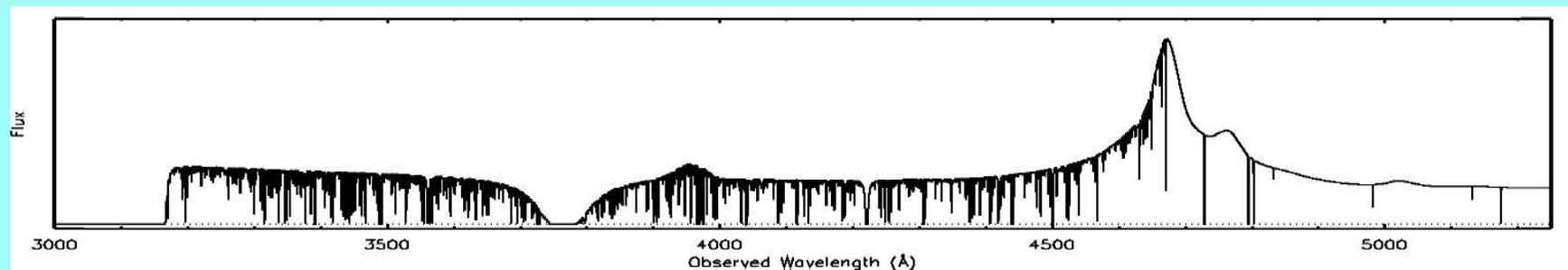


Raies d'émission décalées

$z = 0,158$ (M. Schmidt 1963)

+ raies d'absorption

$z \approx 2,9$

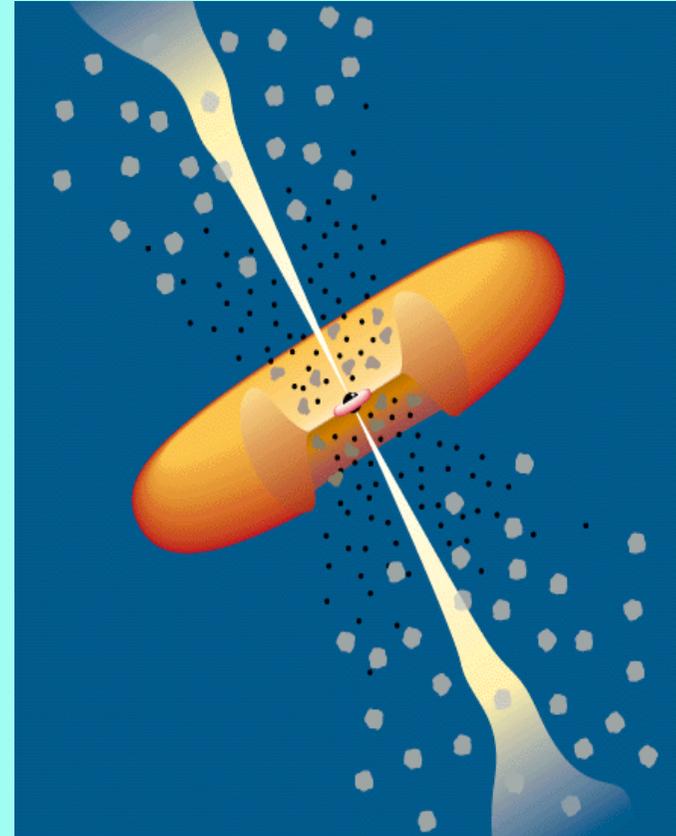
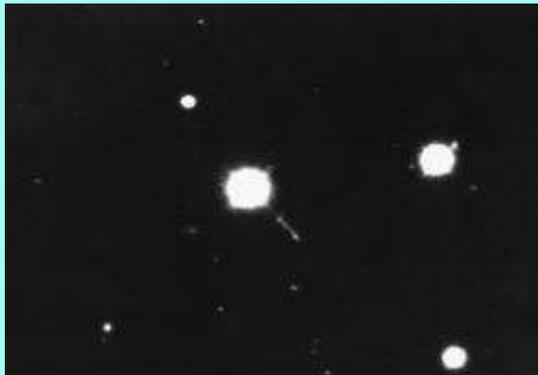


Qu'est-ce qu'un quasar ?

Quasar = noyau actif d'une galaxie

- trou noir supermassif
- disque d'accrétion (rayonnement continu)
- nuages ionisés en mouvement (raies)
- jets (radio, visible)

3C273/jet



Faible fraction des galaxies « actives »

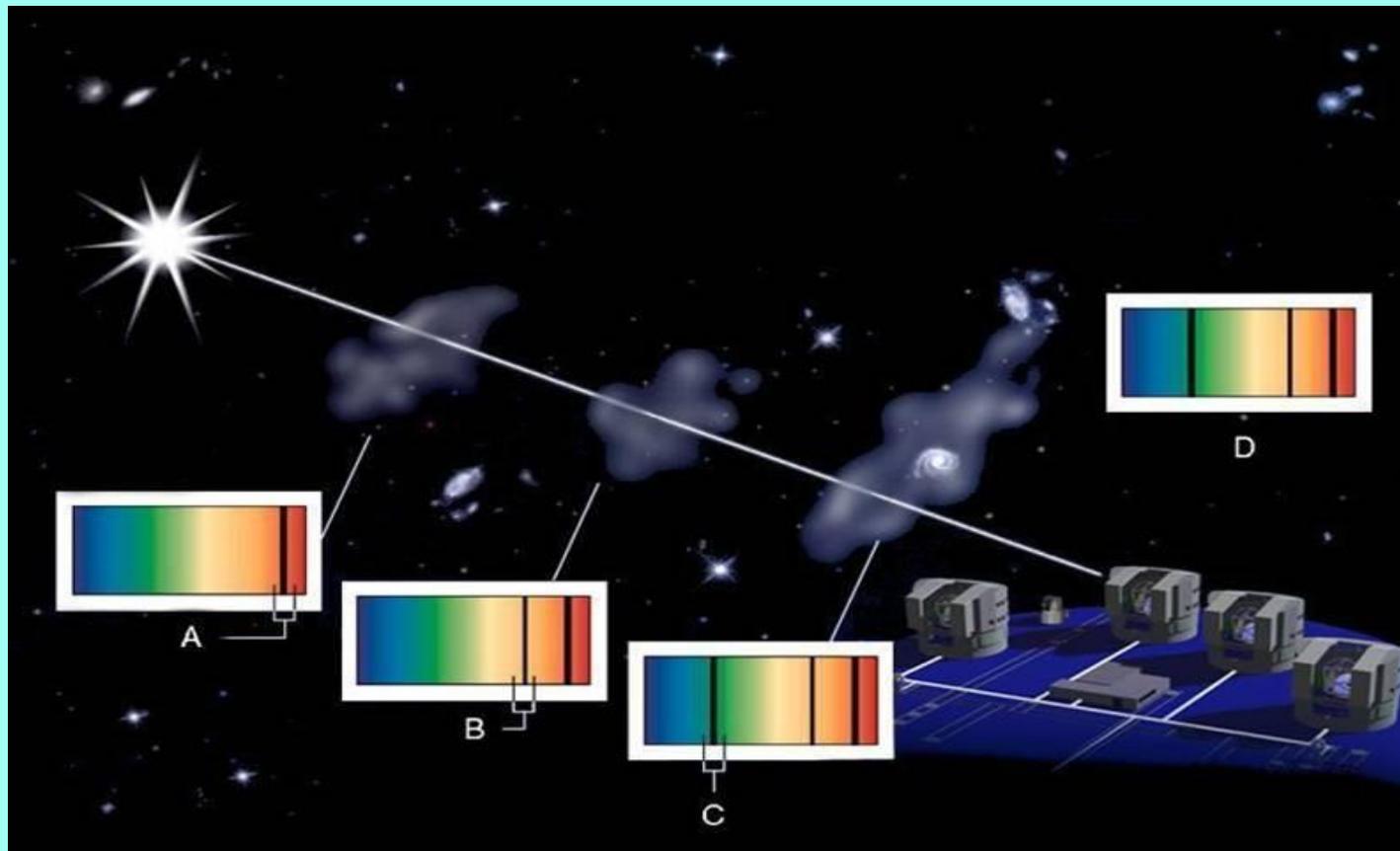
... mais beaucoup ont un trou noir (cf notre Galaxie, la voie lactée).

Raies d'absorption des quasars

gaz situé sur la ligne de visée :

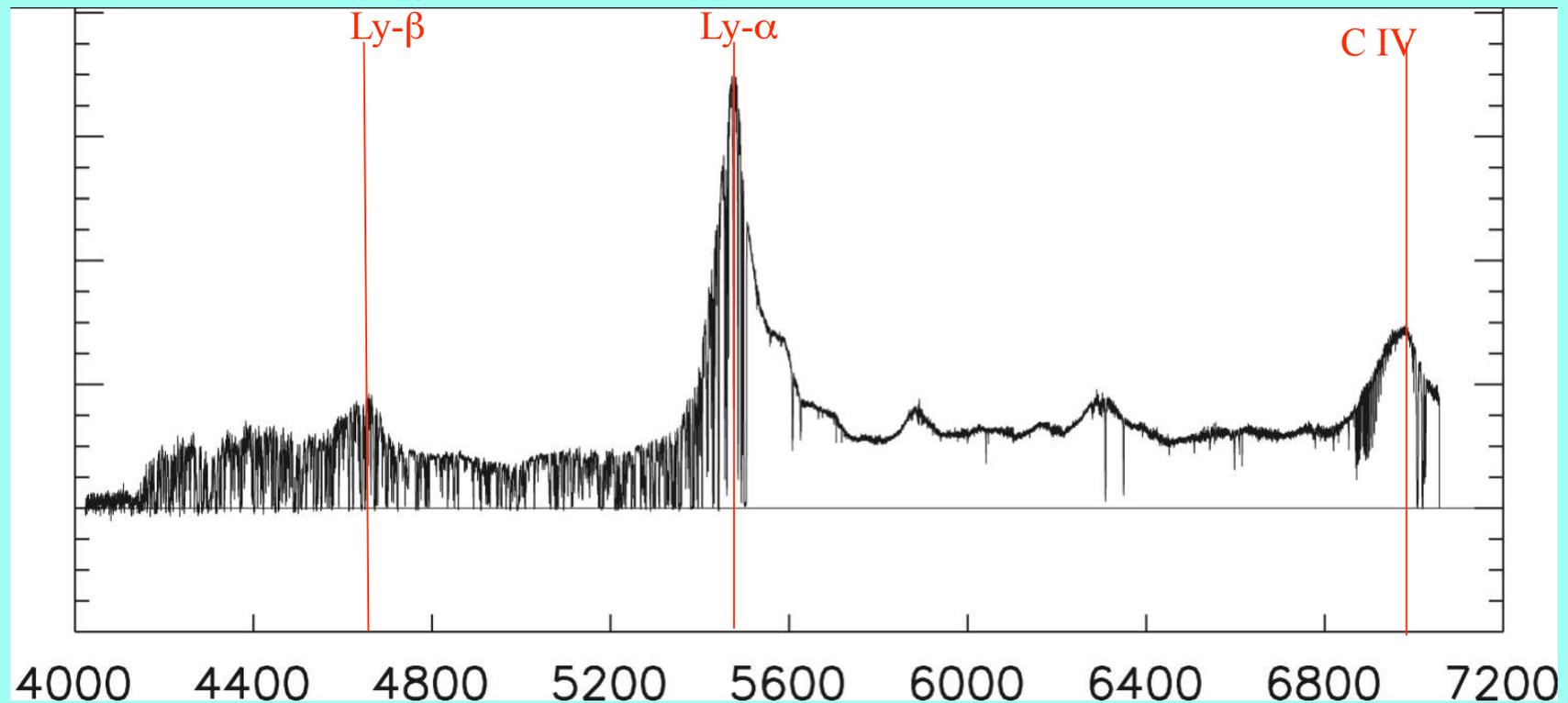
galaxies, nuages intergalactiques, gaz proche du quasar ...

Quasars = sondes de l'univers lointain

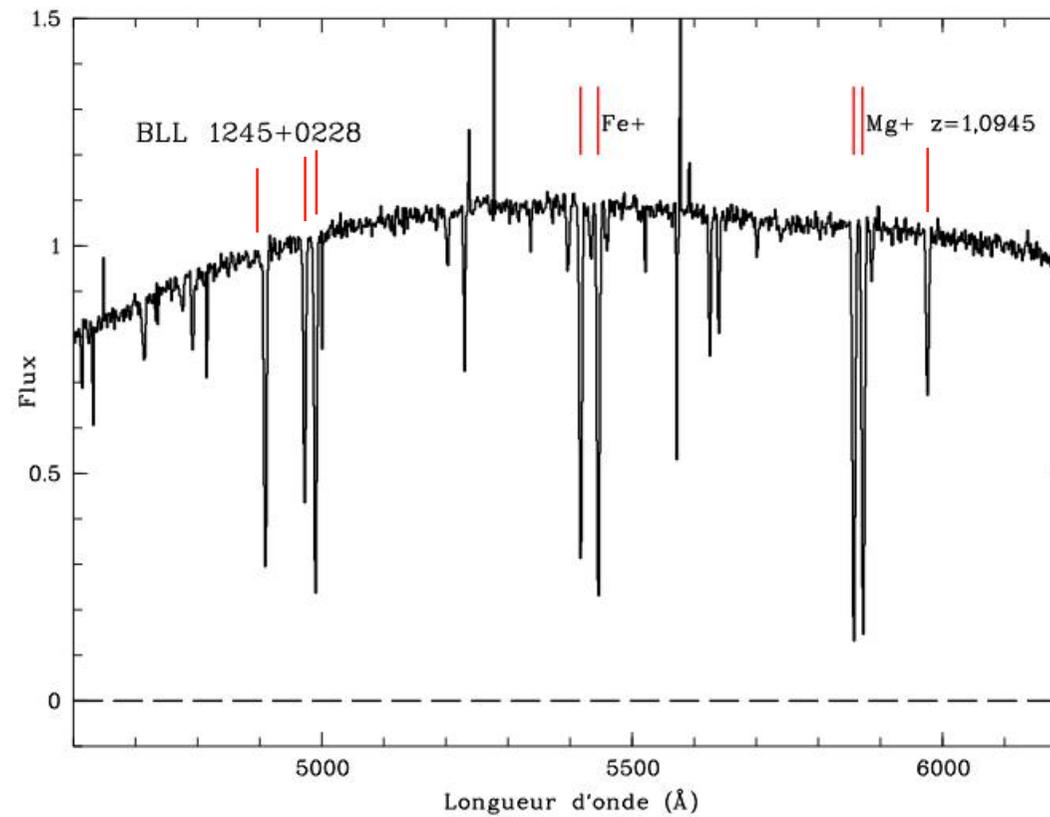
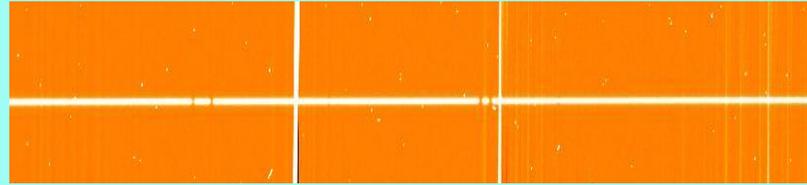


Exemple de spectre d'un quasar lointain

- Raies d'émission : décalage vers le rouge du quasar, $z_{em} \approx 4$
- Raies d'absorption très nombreuses $z_{abs} \leq 4$ (forêt Ly α de H)
 - > nombreux « systèmes » de raies (système = objet absorbant)



Un système de raies d'absorption ($z_{\text{abs}} \approx 1$)

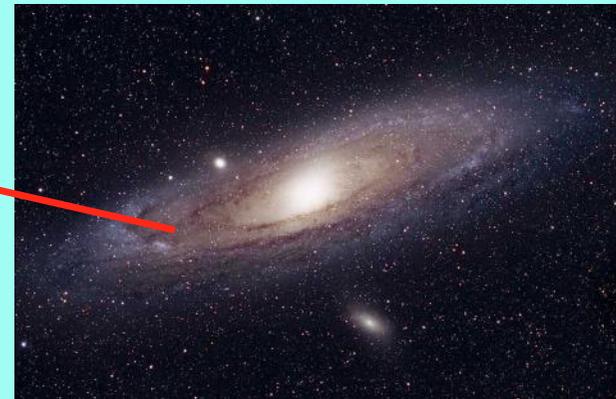


Divers types d' « absorbants »: disques de galaxies

- Disques de galaxies

- grande quantité de gaz
- éléments lourds abondants
- molécules (H_2 , CO...)
- poussières

quasar



Divers types d' « absorbants » : "halos" de galaxies

- halos de galaxies

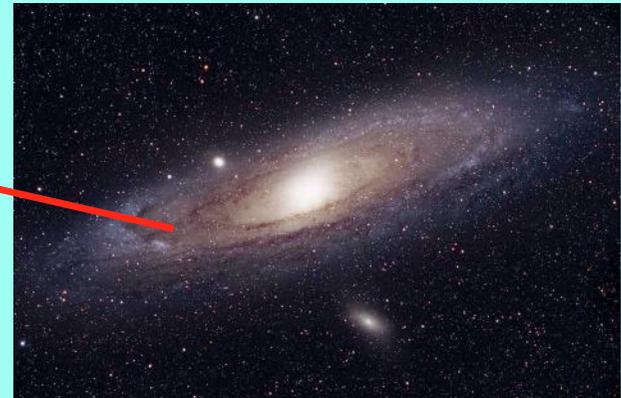
- faible quantité de gaz
- éléments lourds abondants
- gaz ionisé

- $R_{\text{halo}} \approx 3 \text{ à } 5 R_*$

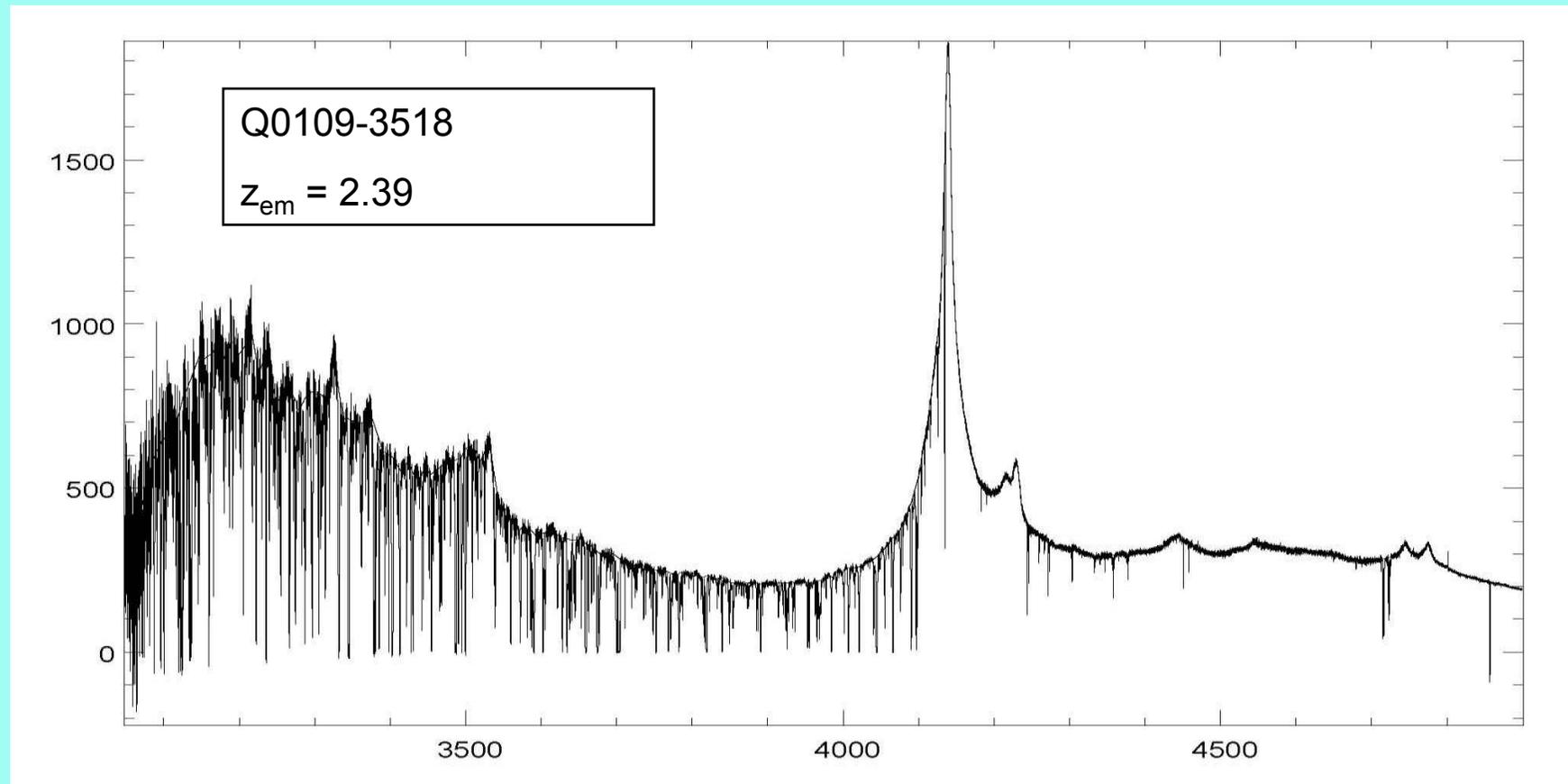
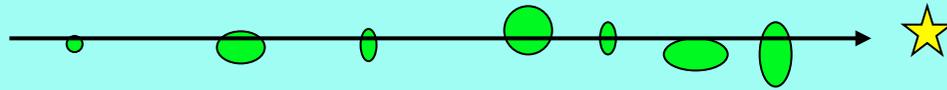
- origine

- gaz éjecté ?
- gaz du MIG en chute ?

quasar



Divers types d'absorbants: nuages intergalactiques



Les nuages intergalactiques

Propriétés :

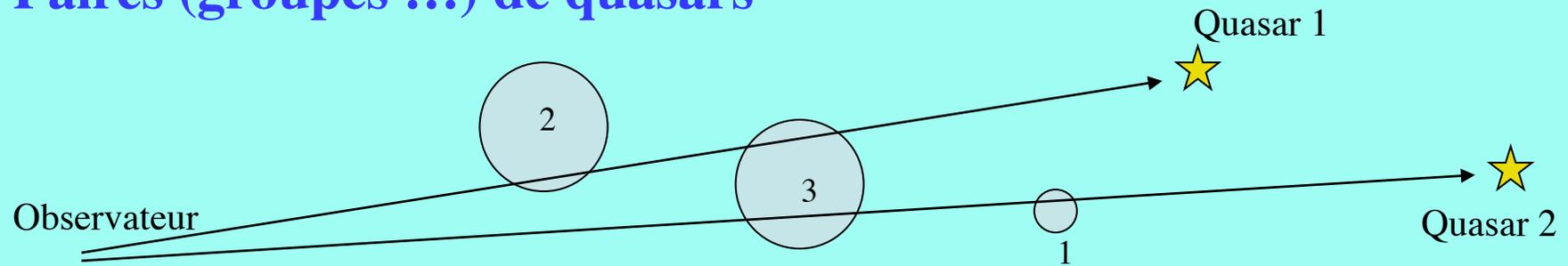
- très nombreux dans l'univers lointain
- rares dans l'univers proche (spectres UV du HST)

que sont devenus les nuages de l'univers lointain ?

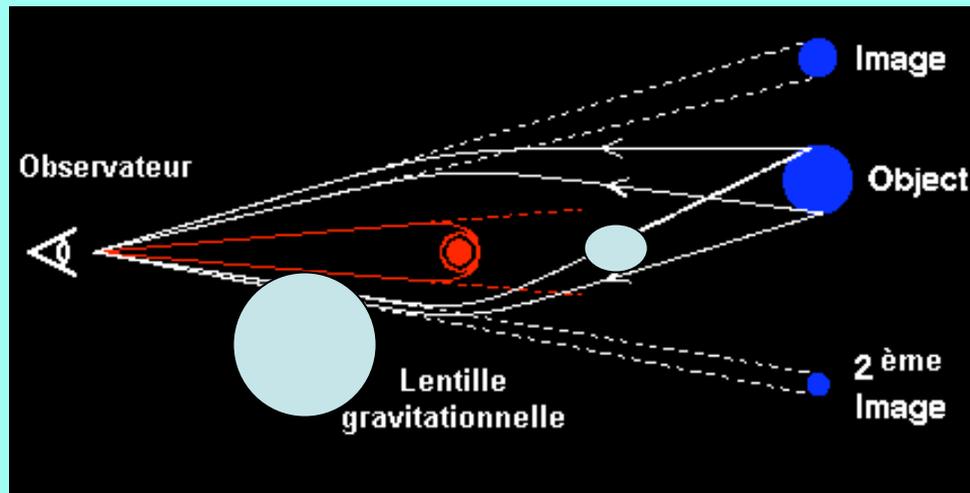
- le gaz n'est **pas primordial** (contient C, O etc) : origine ?
 - 1ère génération d'étoiles avant les galaxies ?
 - échange de gaz : galaxies \leftrightarrow MIG ?
- **Taille des nuages ?**
 - > paires de quasars ou mirages gravitationnels

Taille des nuages intergalactiques

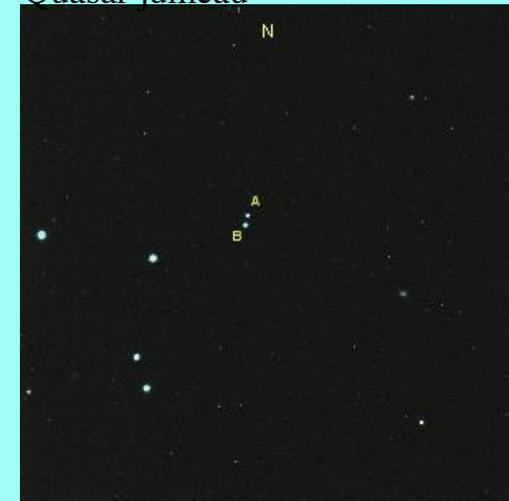
Paires (groupes ...) de quasars



Mirages gravitationnels



Quasar jumeau

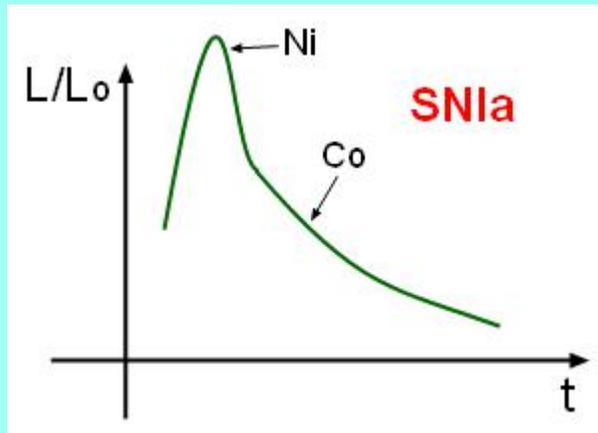


--> taille supérieure à 10 fois la taille des galaxies

Supernovae Ia, sursauts γ

SN Ia

(prix Nobel 2011 Perlmutter, Schmidt et Riess)



SN1994d/NGC 4526



Luminosité universelle au maximum

--> "chandelles standard"

Sursauts γ (GRB courts/longs)

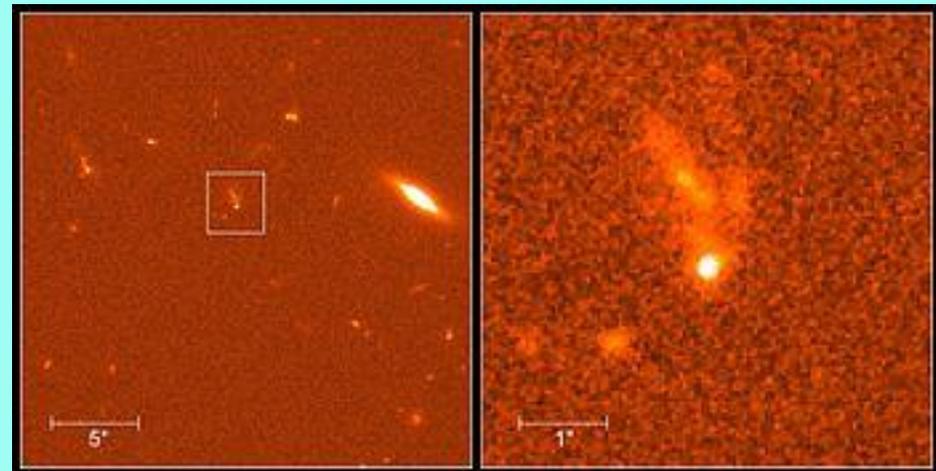
Très brillants (... mais éphémères)

--> très bonnes « sondes »

Emission optique associée --> z

Explosion d'une étoile massive

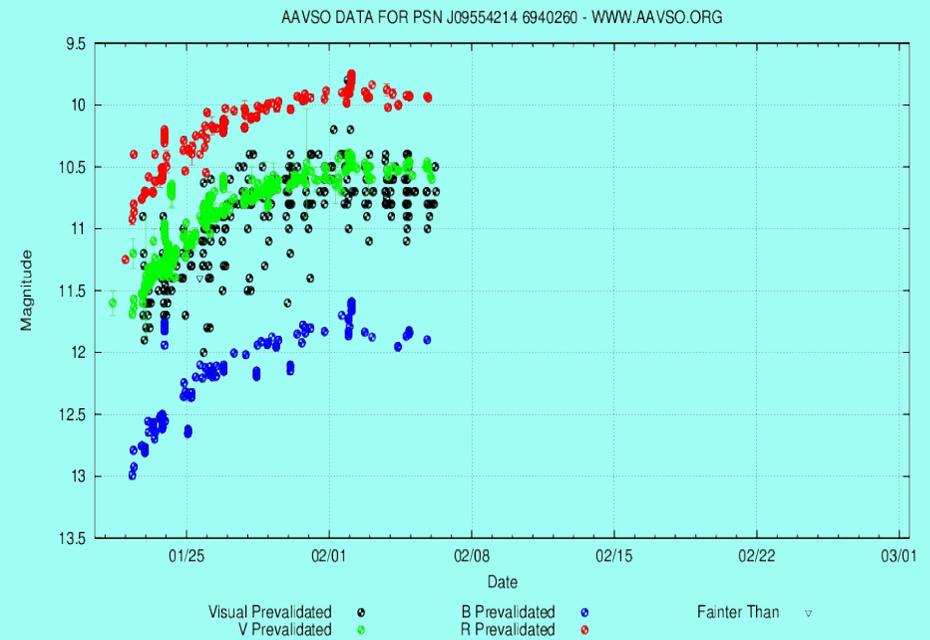
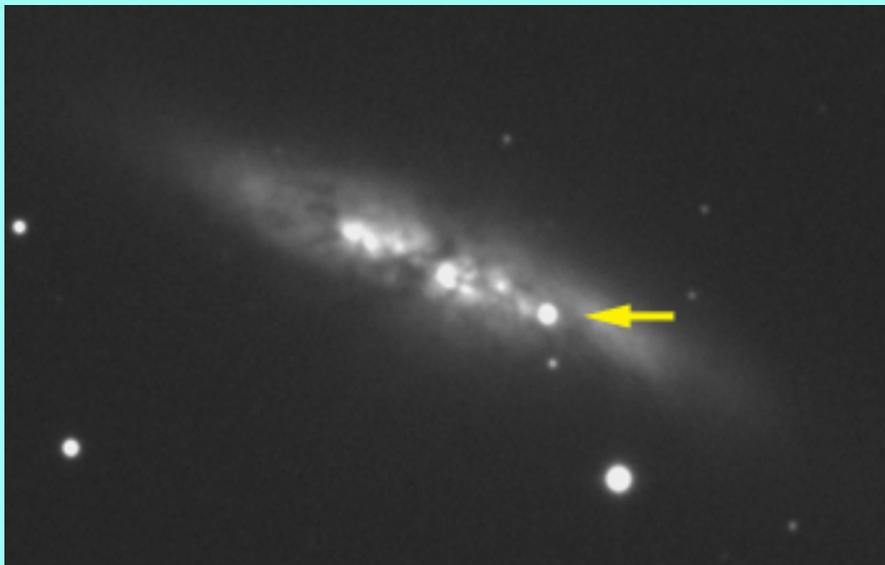
GRB990123/HST



Actualité : la supernova SN2014J dans M82

Repérée le 21 janvier 2014 par un groupe d'étudiants

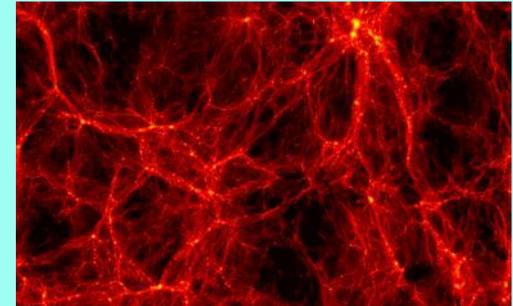
Observations pour construire la courbe de lumière



Vers un scénario global

- La matière noire s'organise sous l'effet de la gravitation
- Formation d'un réseau complexe de filaments/halos
- Le gaz tombe dans les régions denses
- Formation de galaxies dans les régions denses
- Fusion des halos et galaxies (formation d'étoiles)

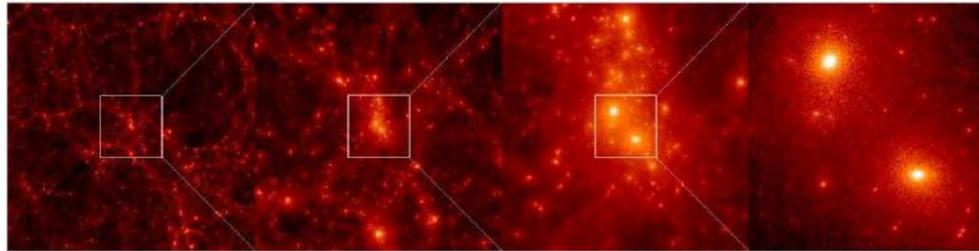
B. Moore



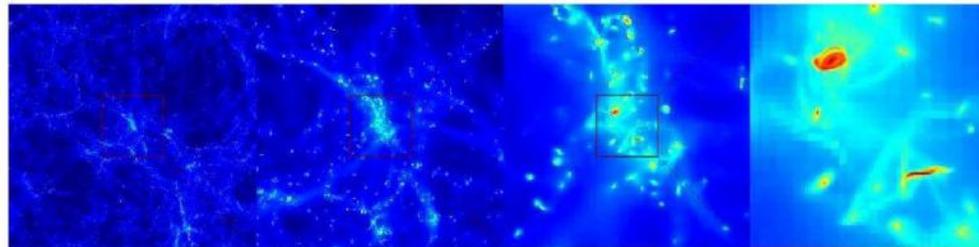
Scénario global d'évolution

Projet Horizon

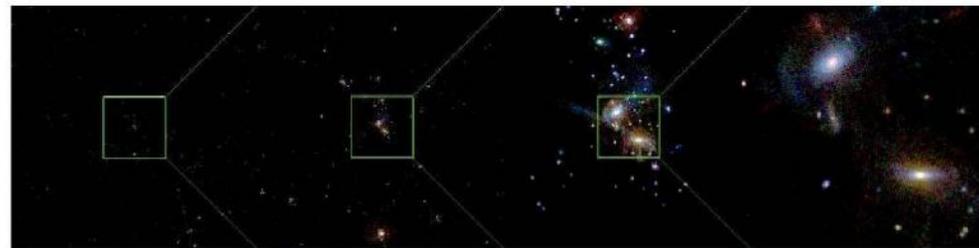
Matière noire



Gaz (Milieu Intergalactique)



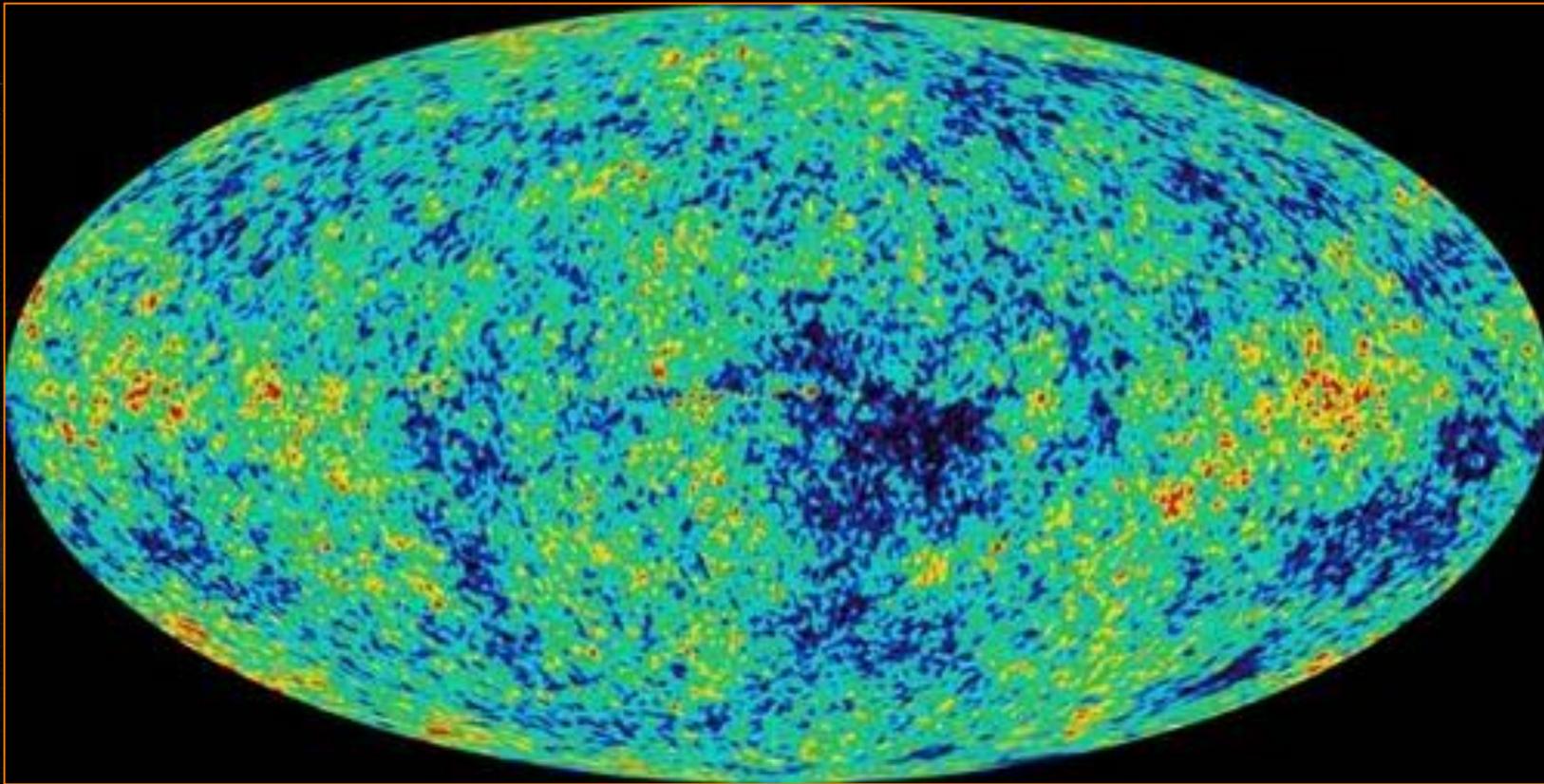
Galaxies



<http://www.projet-horizon.fr/rubrique38.html>

Résumé :

- L' expansion de l' Univers: $V \rightarrow d \rightarrow t$ (accès à l' histoire)
- Distribution complexe des galaxies dans l' espace
- Mouvements, mirages ... : la matière noire domine !
- Gaz intergalactique très abondant et structuré
- Scénario d' évolution de l' Univers et cosmologie
- Et l'univers plus lointain ? \rightarrow fond de rayonnement à 3K



La carte du rayonnement fossile
(WMAP)

-

Merci pour votre attention !