

"Mirages gravitationnels: reconstruction des sources par système hardware"

J. Surdej

Institut d'Astrophysique et de Géophysique,
ULg

19/2/2008

Collège de France



Plan :

1. Préambule: mirages atmosphériques

2. Contexte historique

3. L'expérience optique LG

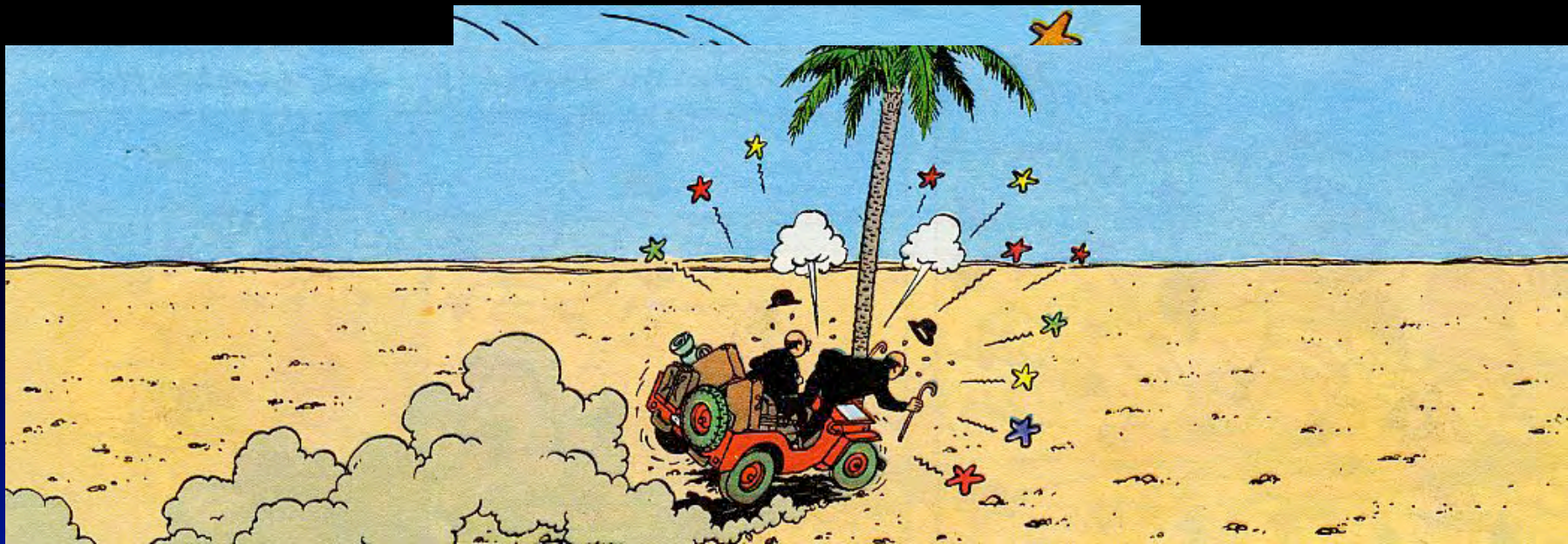
4. Quelques observations

5. Télescope à miroir liquide de 4m

Qu'est-ce qu'un mirage?

Un mirage est une illusion d'optique...

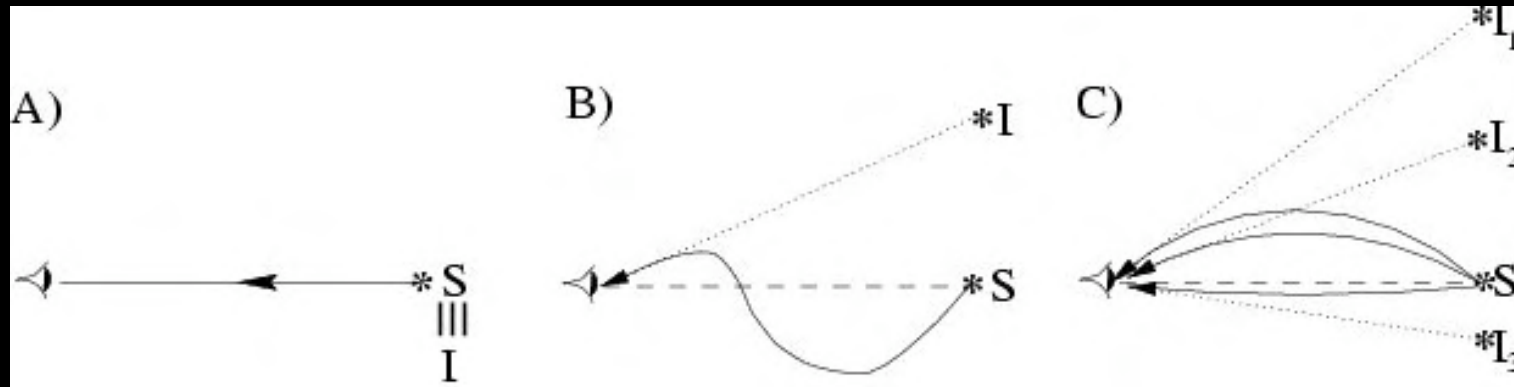
... dont la cause est réelle!



© Hergé

© Hergé

Qu'est-ce qu'un mirage?



1. Une image est vue dans la **direction d'arrivée** d'un rayon lumineux incident
2. Un **mirage** a lieu lorsque la lumière ne se propage **pas en ligne droite**
3. La lumière peut suivre des trajectoires différentes dont les **temps** de parcours sont des **extrema** (Principe de Fermat)

Mirages atmosphériques

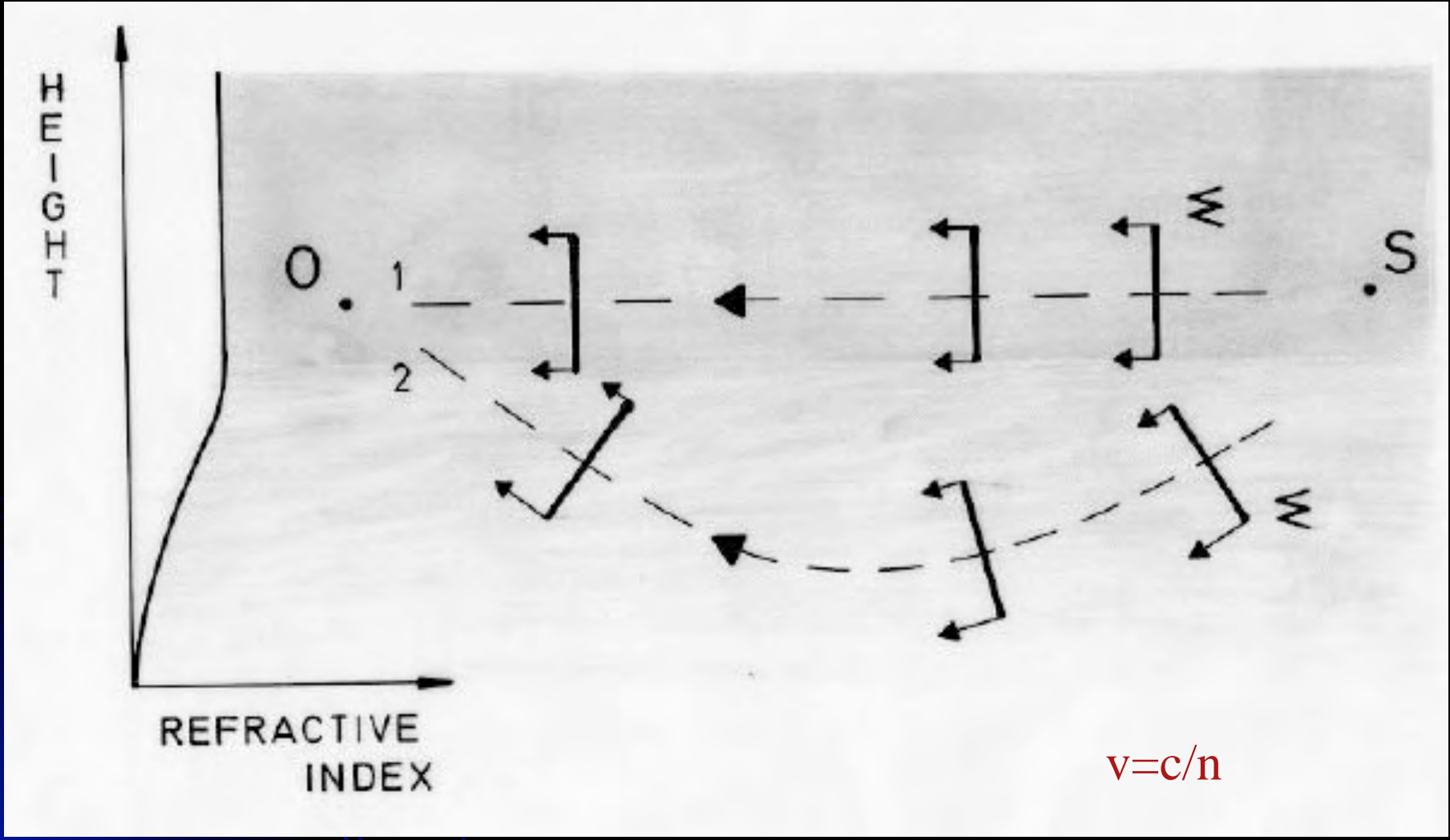


copyright by Jack Stephens.

19/2/2008

Collège de France

PREAMBLE



Lentilles gravitationnelles

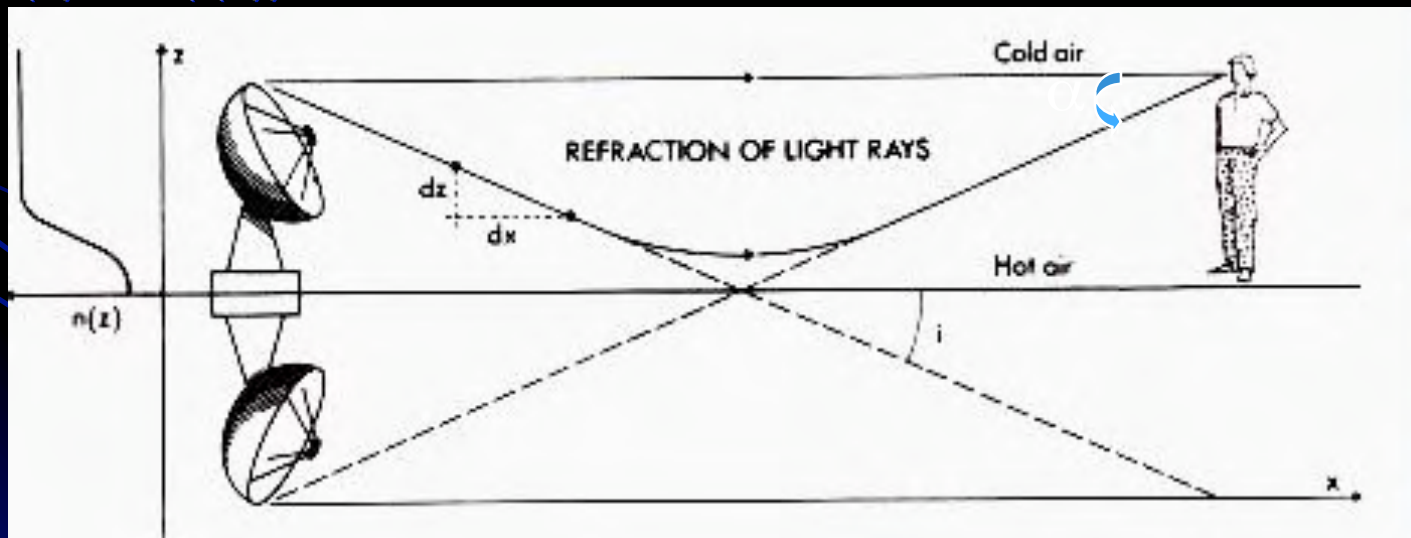
3. Mirages atmosphériques:

$$\delta \left(\int_0^s (1/v) ds' \right) = 0$$

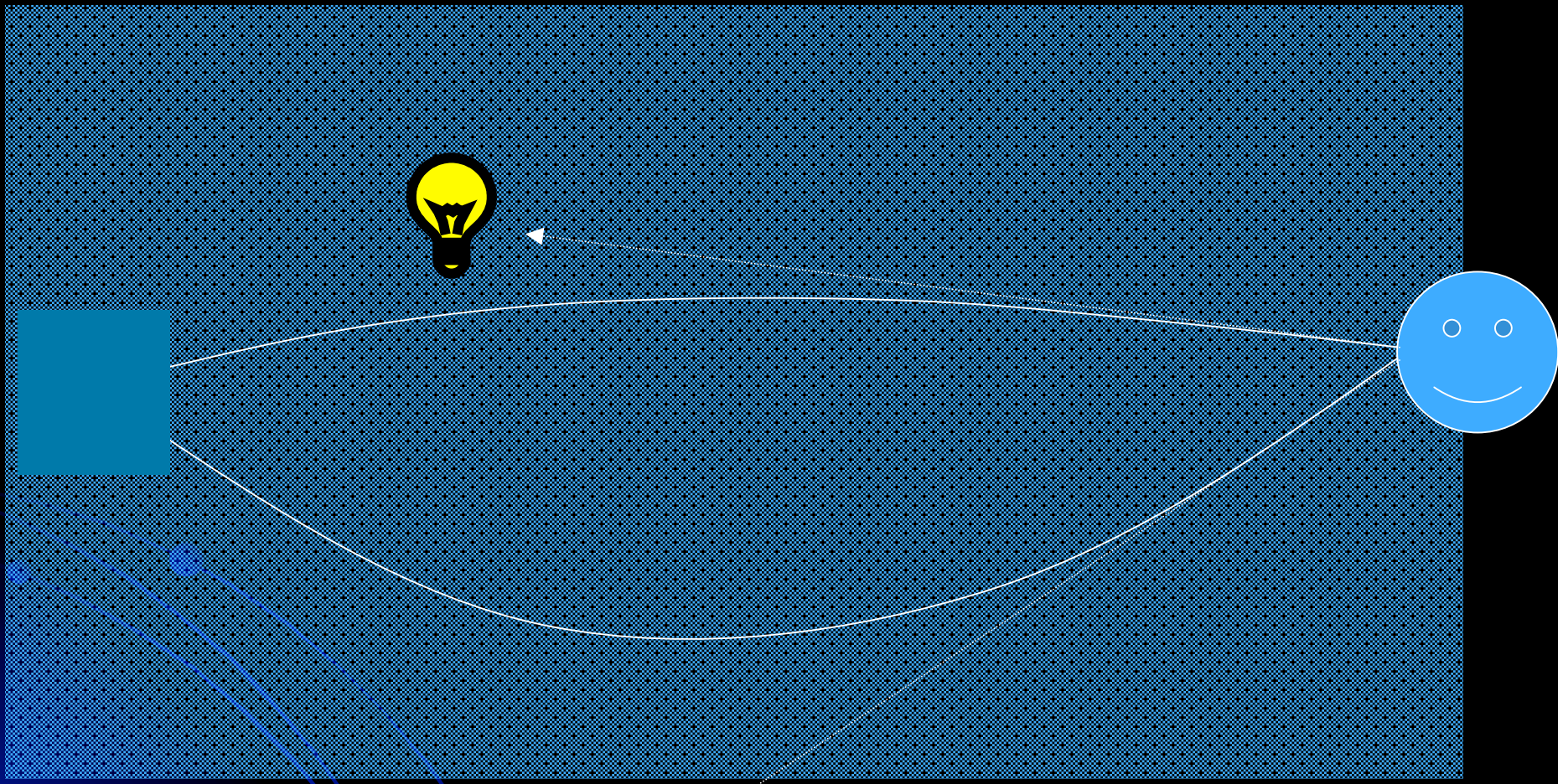
(3.1)

$$n(z) \cos(i(z)) = K,$$

(3.2)



Formation d'un mirage atmosphérique au travers d'une atmosphère caractérisée par un indice de réfraction $n(z)$, comme indiqué le long de l'axe horizontal.



19/2/2008

Collège de France



19/2/2008

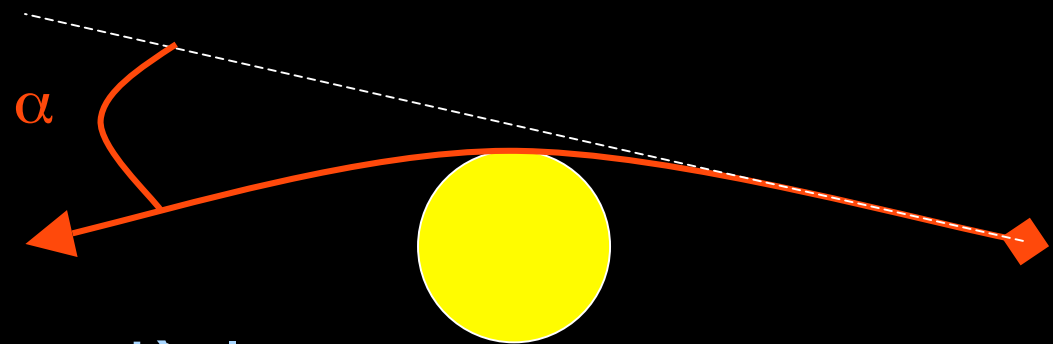
Collège de France

CONTEXTE HISTORIQUE:

- "Do not Bodies act upon Light at a distance, and by their action bend its Rays; and is not this action strongest at the least distance?"

Isaac Newton, 1704

- J. Soldner (1804): 0,875"



19/2/2009

• XVIIIème et XIXème siècles

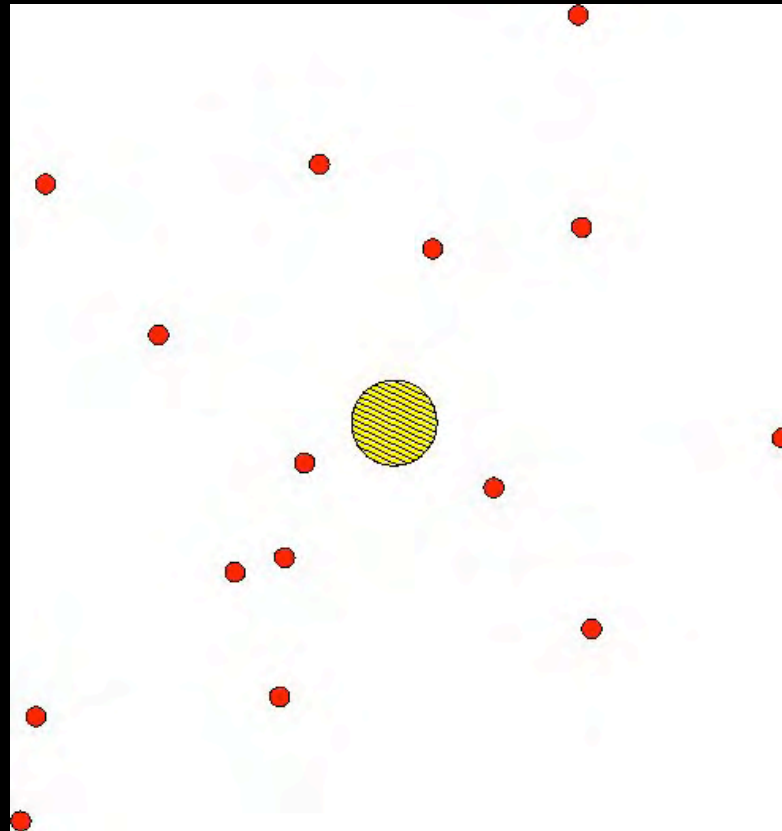
Collège de France

CONTEXTE HISTORIQUE:

Einstein, 1911, 1915: Relativité Générale

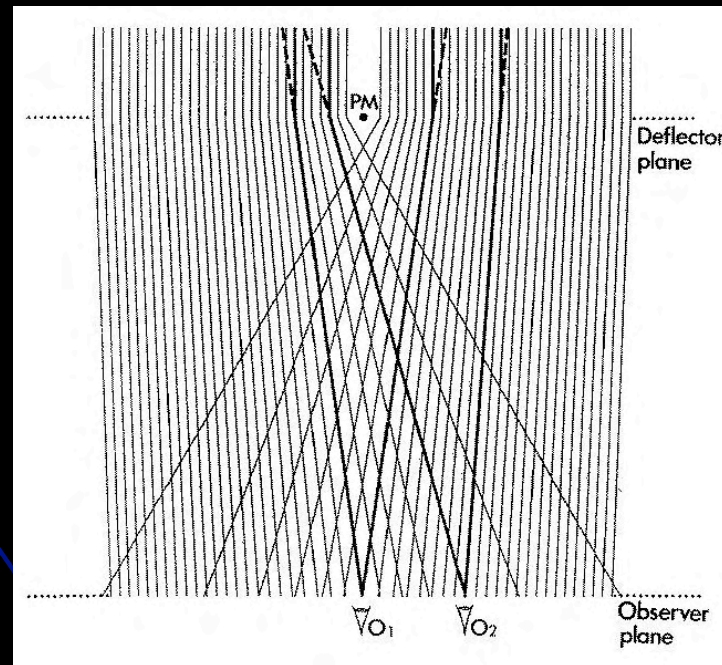
$$\alpha = 4GM_{\odot} / (c^2 R_{\odot}) = 1,75''$$

- Dyson et al. (1920):
Incertitude de 20-30%
- Robertson et al. (1919):
Incertitude $\ll 1\%$



CONTEXTE HISTORIQUE:

- Eddington (1920) ... voir Einstein (1911)
- Sir Oliver Lodge (1919)



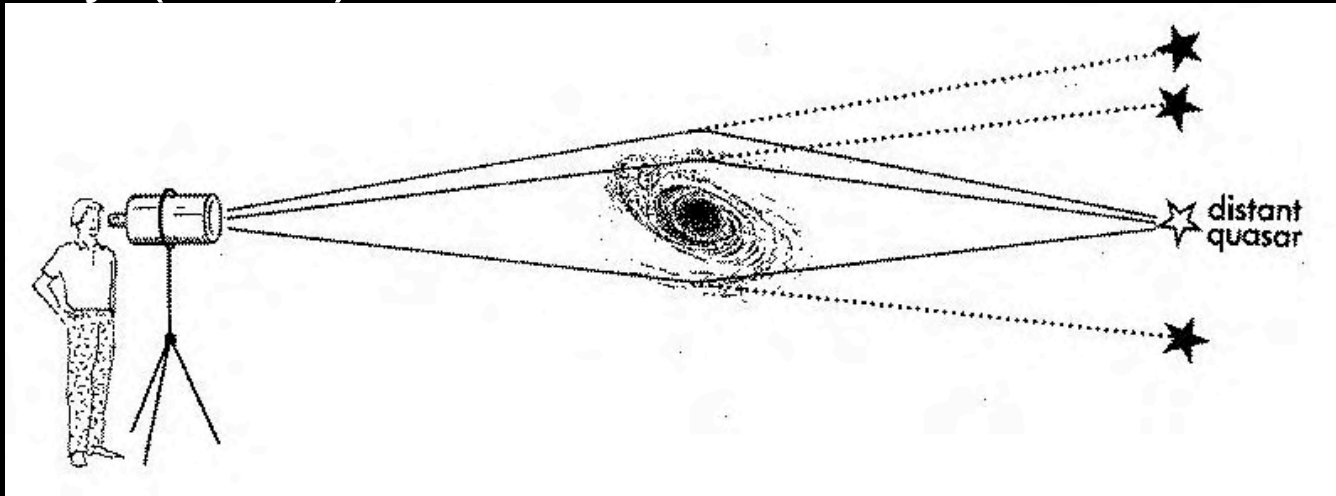
Un déflecteur ponctuel massif consiste en une lentille imparfaite, bien qu'achromatique!

CONTEXTE HISTORIQUE:

- Einstein (1936)
- Zwicky (1937a, b) '... the probability that galactic nebulae which act as gravitational lenses will be found becomes practically a certainty.'

CONTEXTE HISTORIQUE:

- Zwicky (1957)

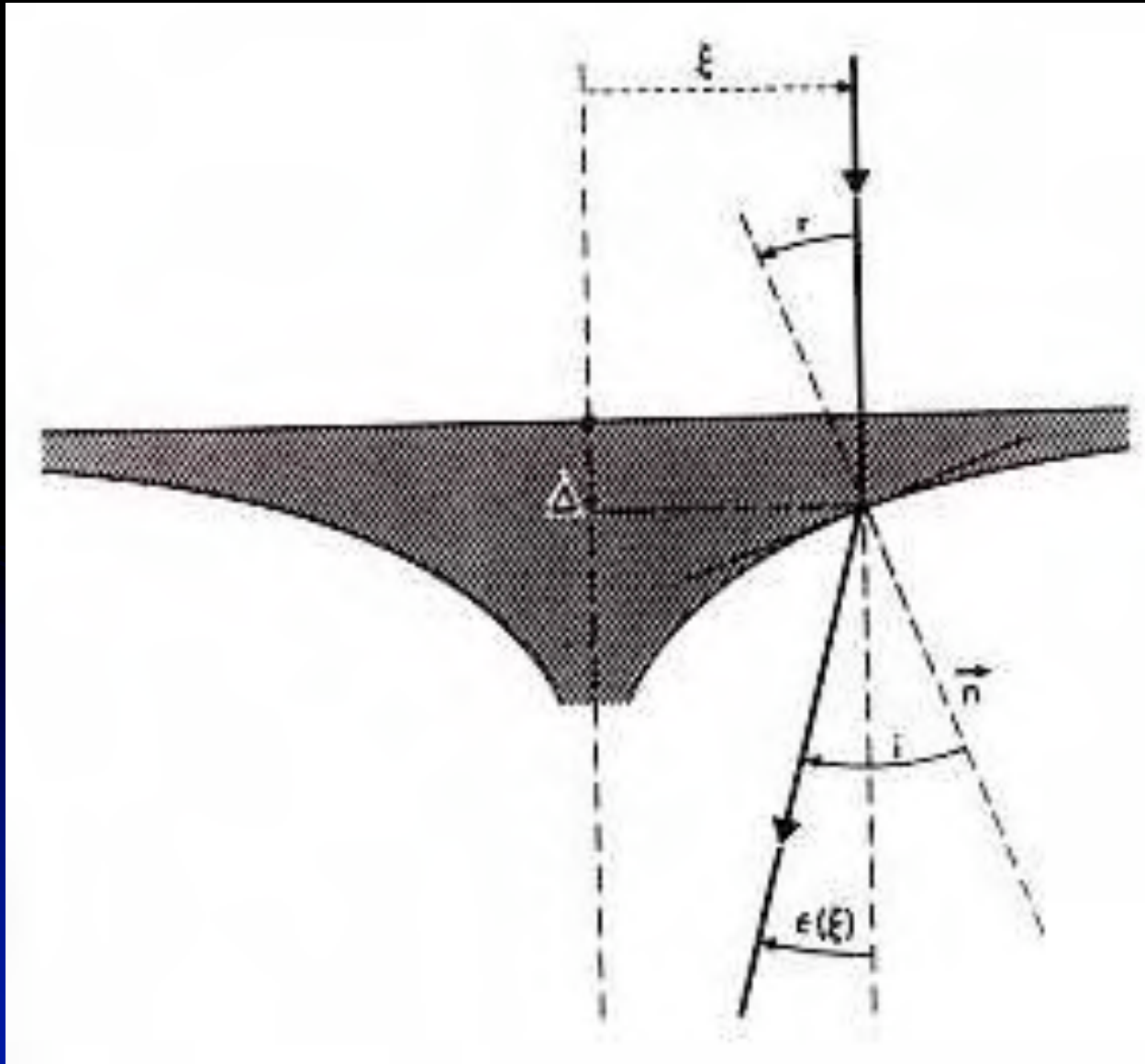


Un observateur voit les images d'un quasar distant le long des directions des rayons lumineux déviés par une galaxie massive.

- Walsh, Carswell et Weymann (1979): 0957+561
 $\lambda > 4000$ publications scientifiques (bibliographie non exhaustive disponible sur le site web :

http://vela.astro.ulg.ac.be/grav_lens/)

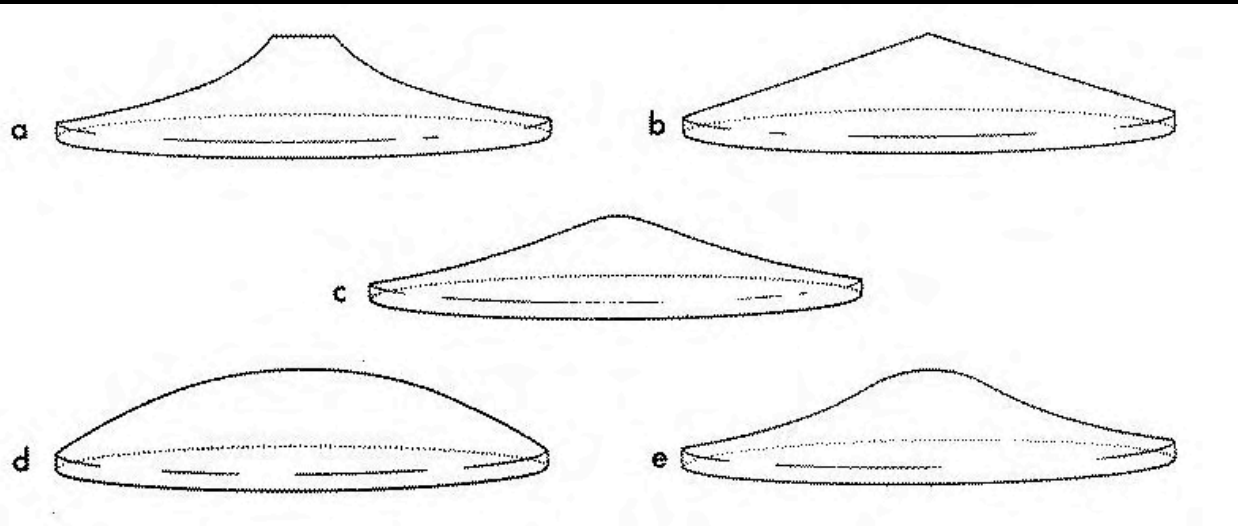
L'EXPERIENCE OPTIQUE LG:



Déviaton d'un rayon lumineux passant au travers d'une lentille optique ayant une symétrie axiale

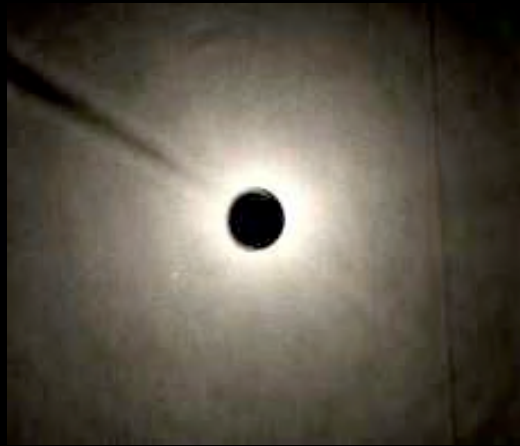
L'EXPERIENCE OPTIQUE LG:

Ci-dessous: quelques exemples de lentilles optiques à symétrie axiale qui reproduisent fidèlement les propriétés de déviation de la lumière due à un objet massif ponctuel (a), une galaxie SSI (b), une galaxie spirale (c), un disque de matière avec une densité de surface uniforme (d) et un disque similaire, mais tronqué (e).



Droite: exemples (gauche) d'une lentille correspondant à un déflecteur massif ponctuel (28 cm de diamètre) et (droite) d'une 'galaxie spirale' (30 cm de diamètre).

L'EXPERIENCE OPTIQUE LG:



19/2/2008

Collège de France



19/2/2008

Collège de France



19/2/2008

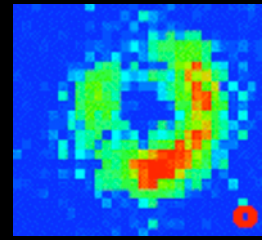
Collège de France



a



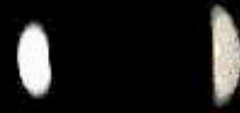
h



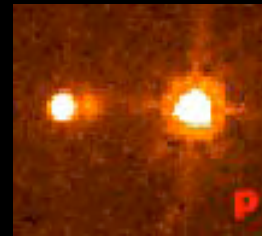
o



b



i



p



c



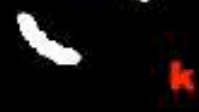
j



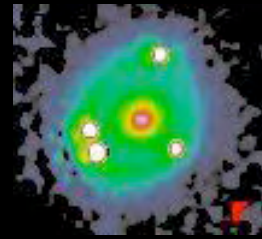
q



d



k



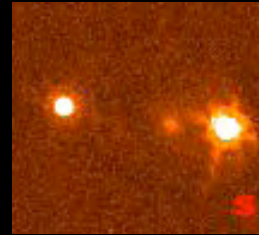
r



e



l



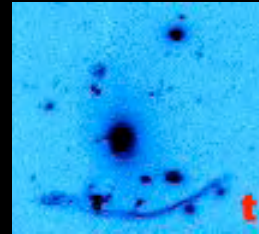
s



f



m



t



g



n



u

(a-g)

(h-n)

(o-u)

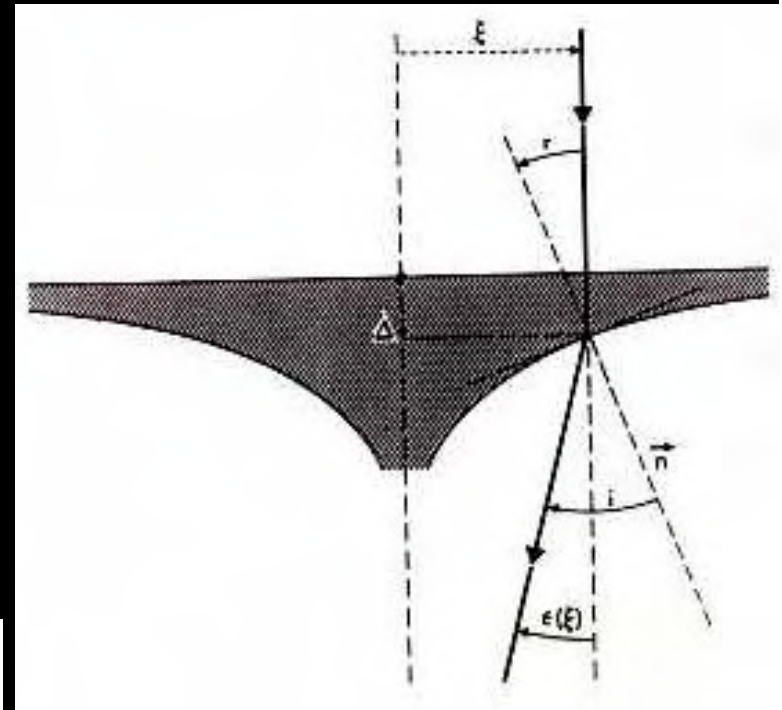
Modélisation expérimentale 1/5

Lentille optique utilisée

- Lentille en verre → imiter effet du déflecteur

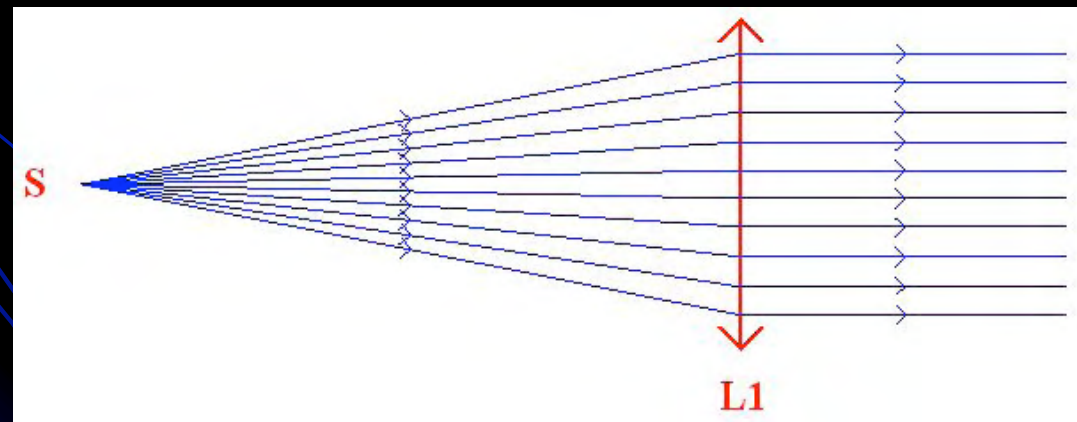
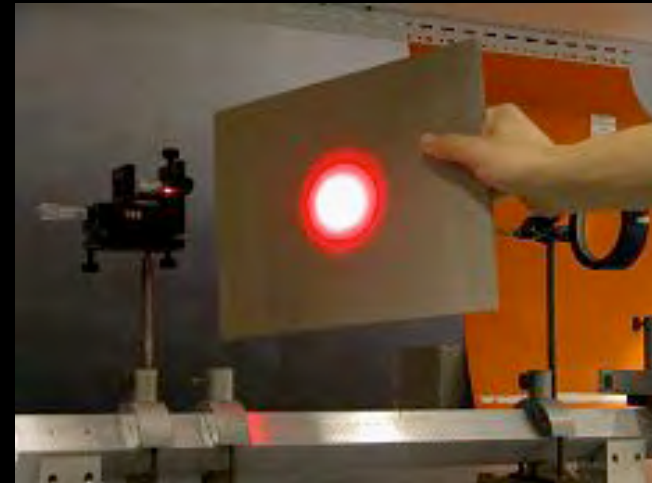
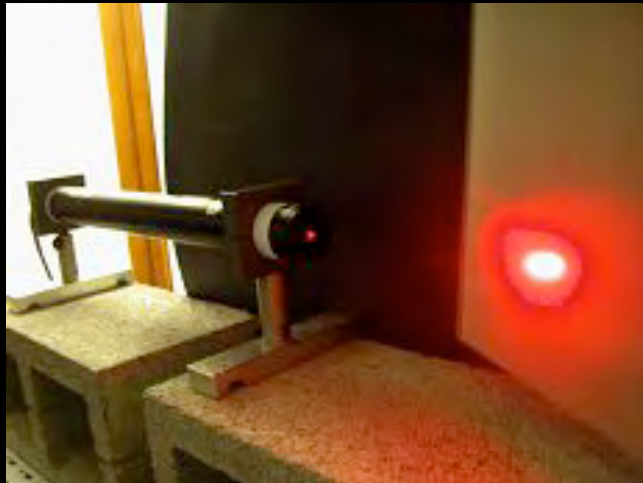
- Type masse ponctuelle = trou noir

$$\Delta(\xi) = \Delta(\xi_0) + K \ln \left(\frac{\xi_0}{\xi} \right)$$



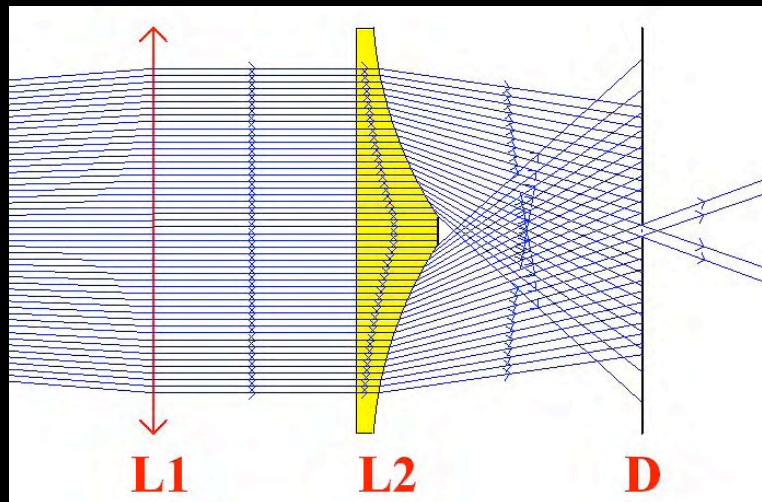
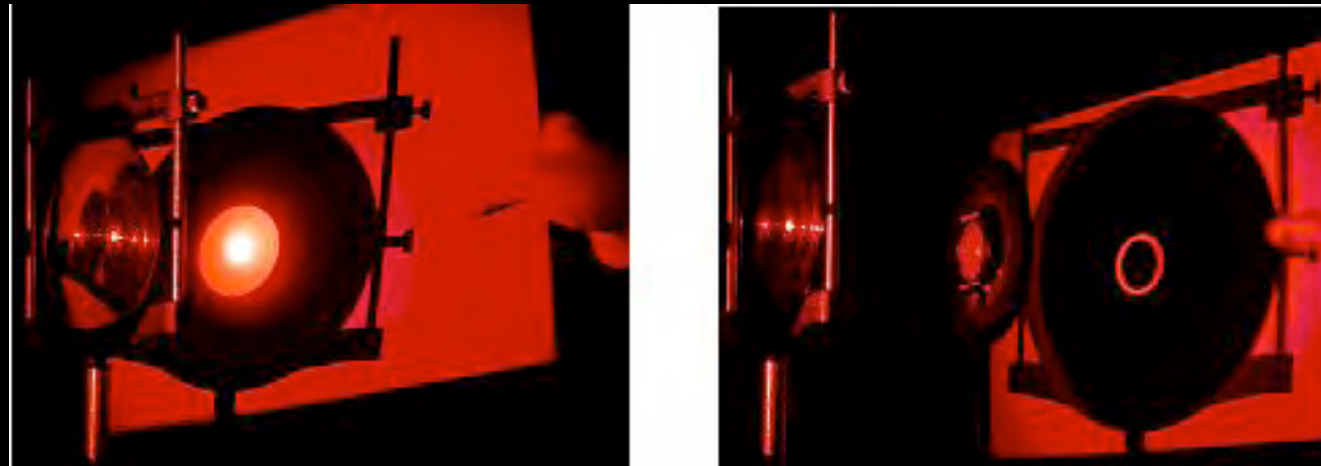
Modélisation expérimentale 2/5

Formation d'une onde plane



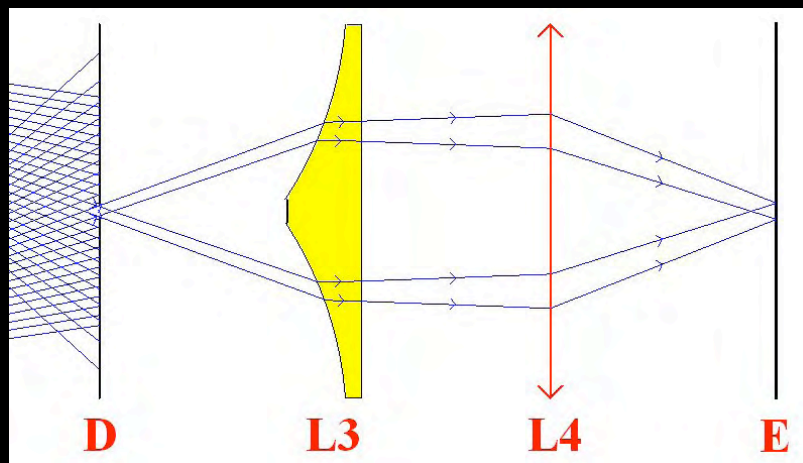
Modélisation expérimentale ^{3/5}

Lentille gravitationnelle



Modélisation expérimentale ^{4/5}

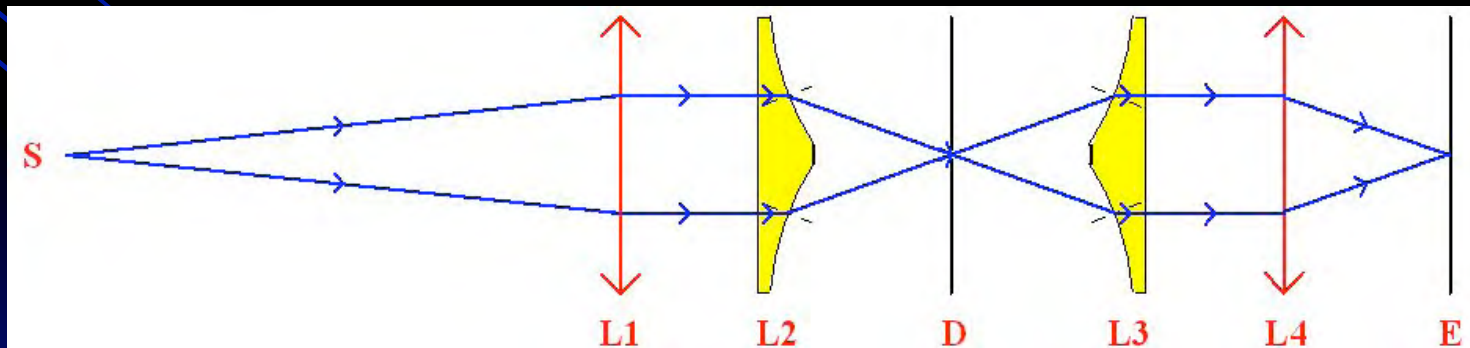
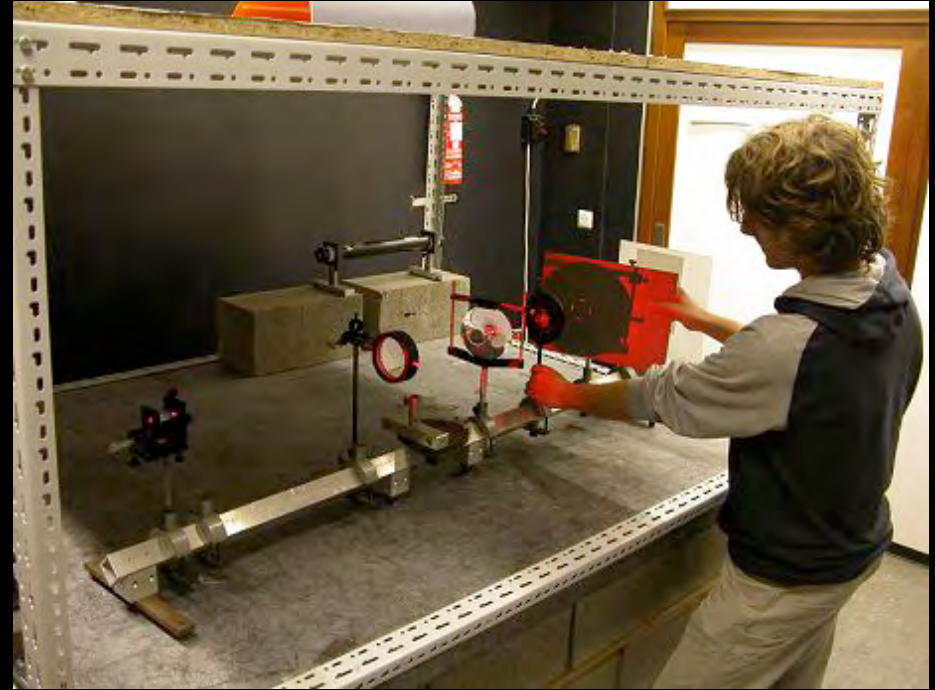
Lentille antigravitationnelle



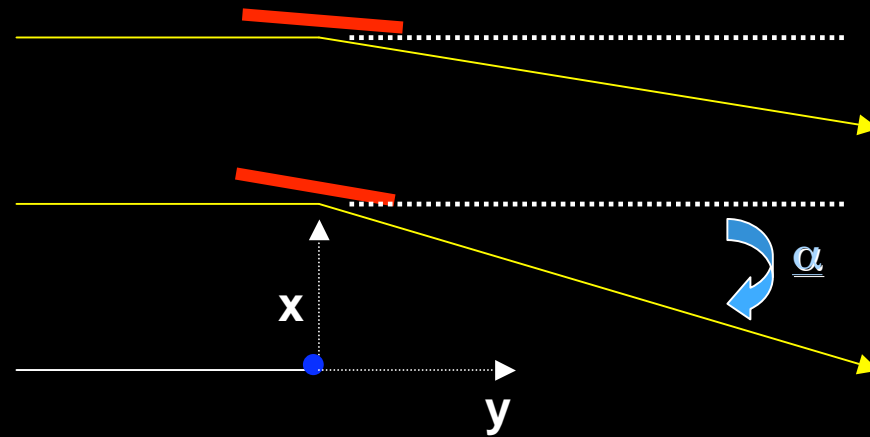
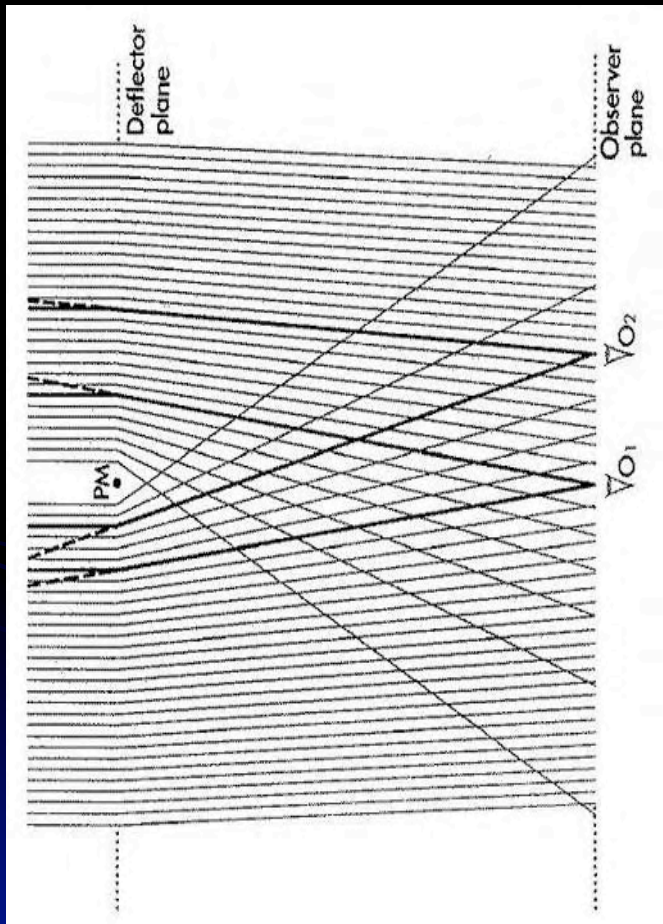
Modélisation expérimentale 5/5

Schéma global

- 1) Formation onde plane
= quasar lointain
- 2) Déviation des rayons
= mirage observé
- 3) Reconstitution directe
= inversion



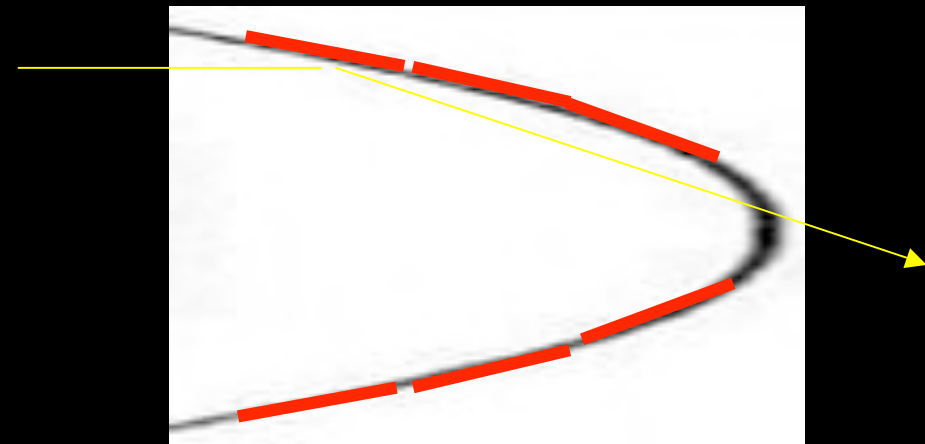
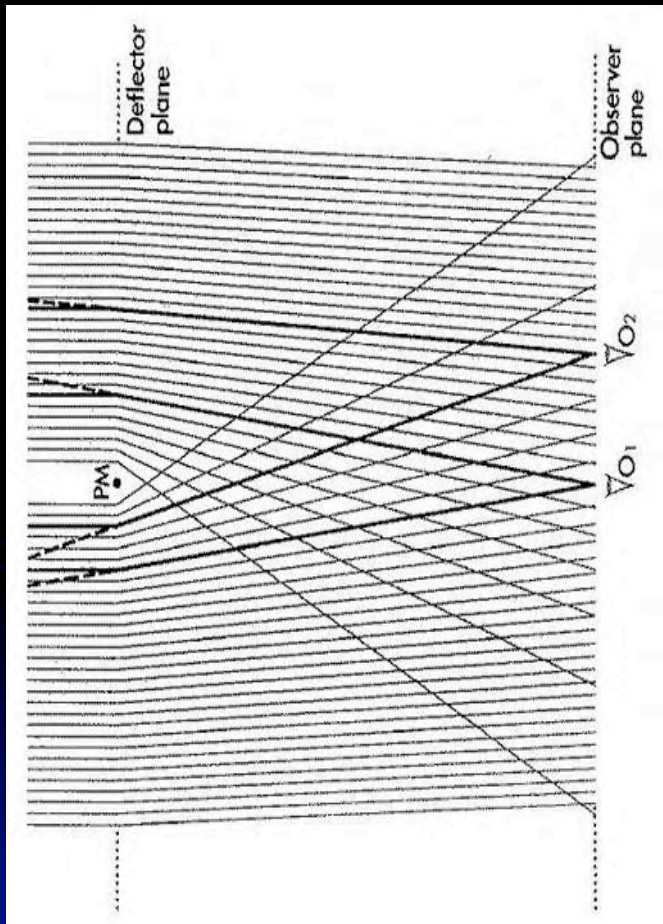
Simulateur de mirages par réflexion tangentielle (déflecteur massif ponctuel)



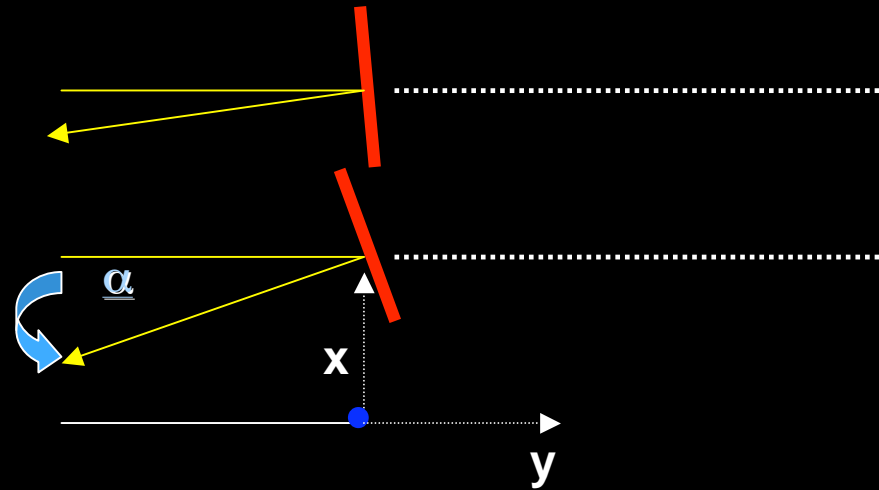
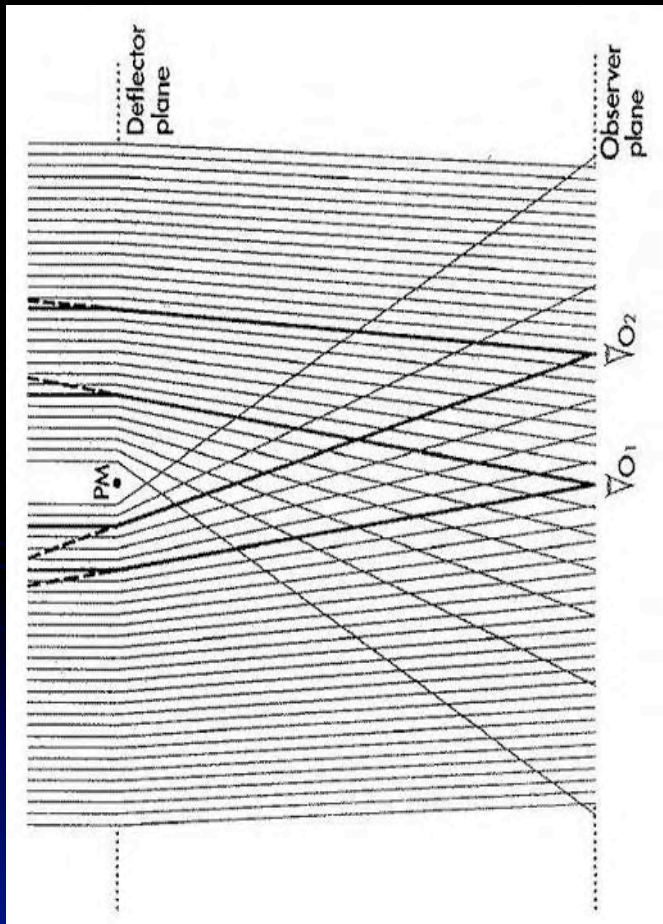
$$\underline{\alpha} = 4GM / (c^2 x)$$

$$y = y_0 + K (x_0^2 - x^2)$$

Simulateur de mirages par réflexion tangentielle (déflecteur massif ponctuel)



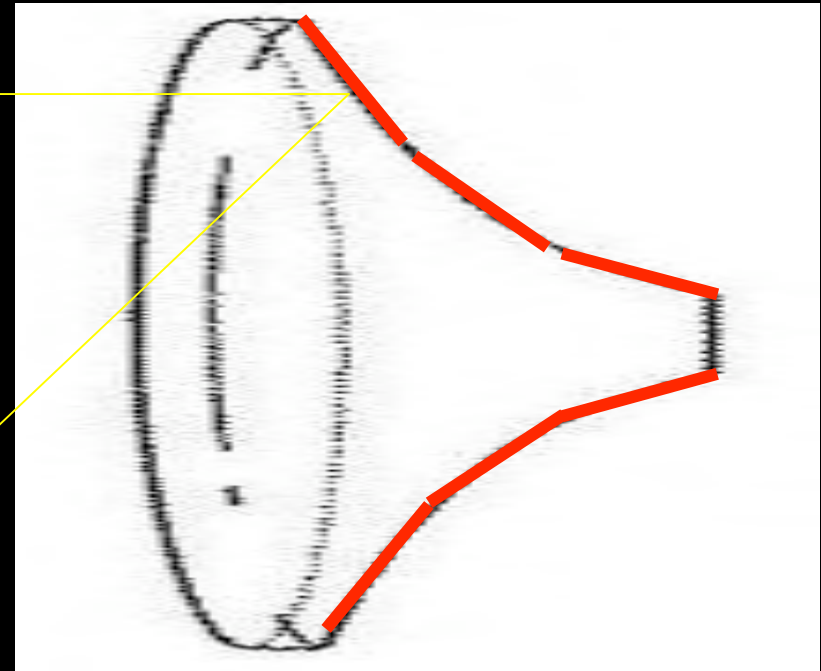
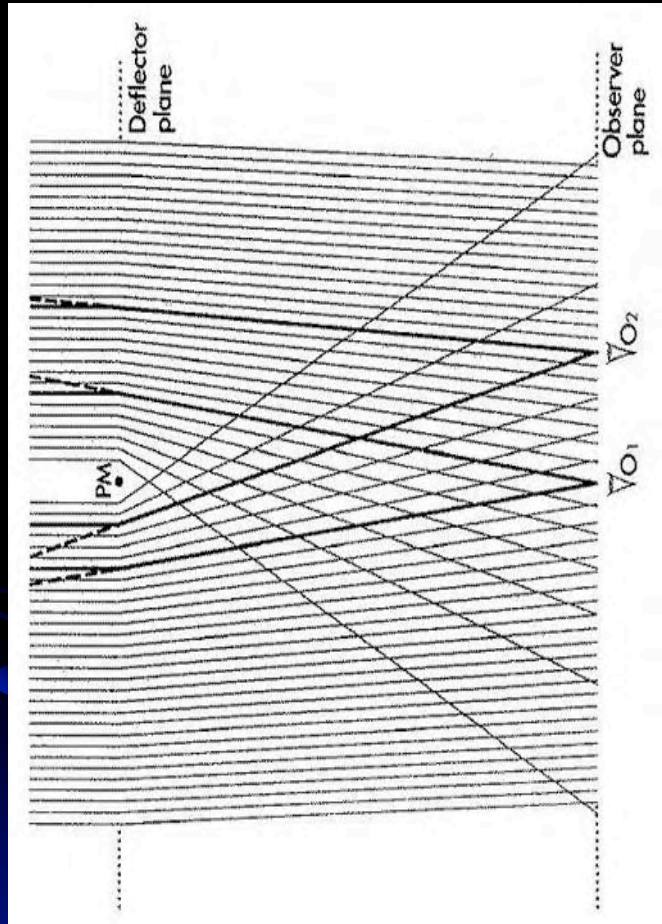
Simulateur de mirages par réflexion normale (déflecteur massif ponctuel)



$$\underline{\alpha} = 4GM / (c^2 x)$$

$$y = y_0 + K \ln(x_0 / x)$$

Simulateur de mirages par réflexion normale (déflecteur massif ponctuel)



L'EXPERIENCE OPTIQUE LG: lentille par réflexion



19/2/2008

L'EXPERIENCE OPTIQUE LG: lentille par réflexion



19/2/2008

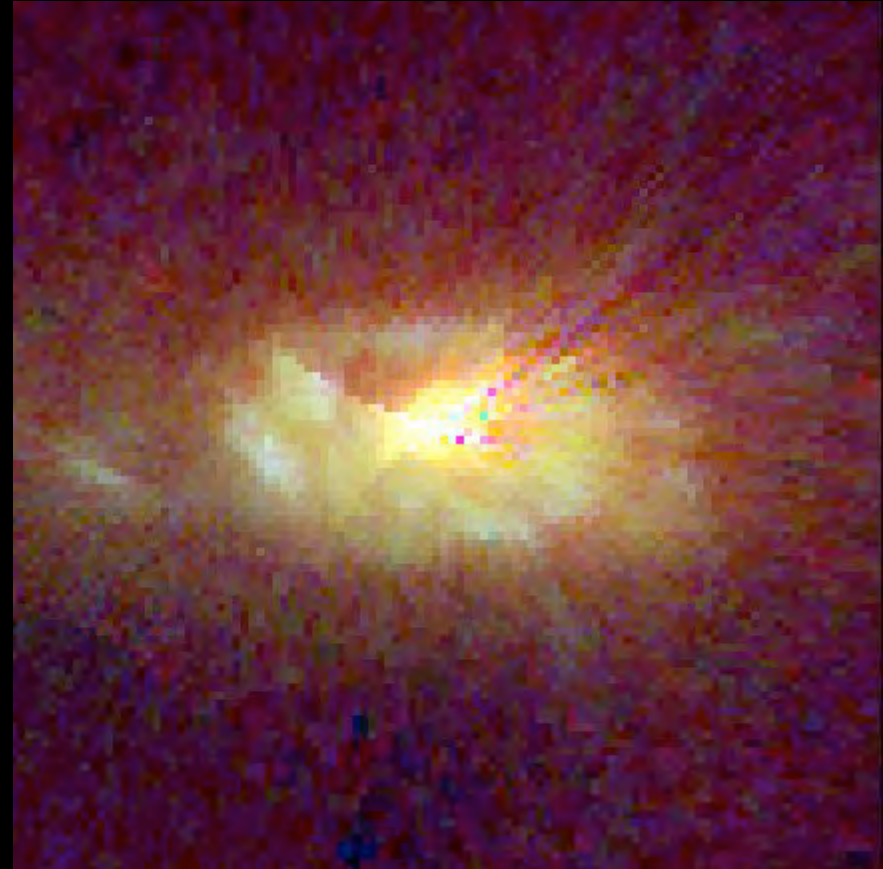
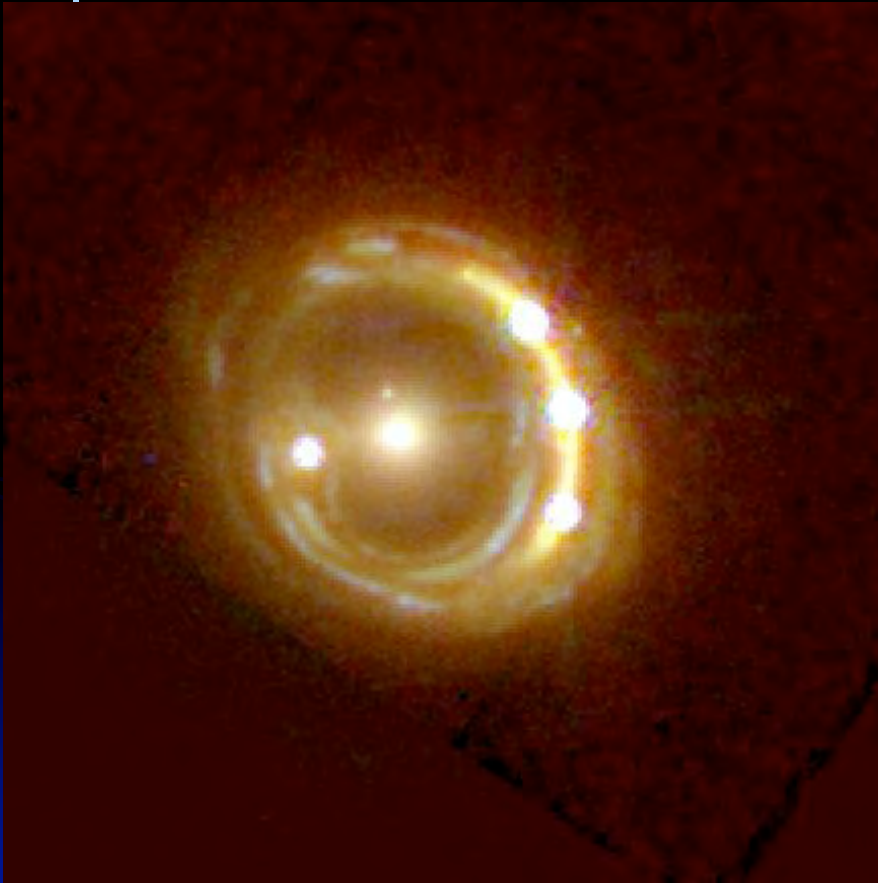
Collège de France

OBSERVATIONS



19/2/2008

RXS J11331-1231 (Sluse et al. 2003,
2005, Claeskens et al. 2006) : $z_s=0.658$,
 $z_l=0.295$





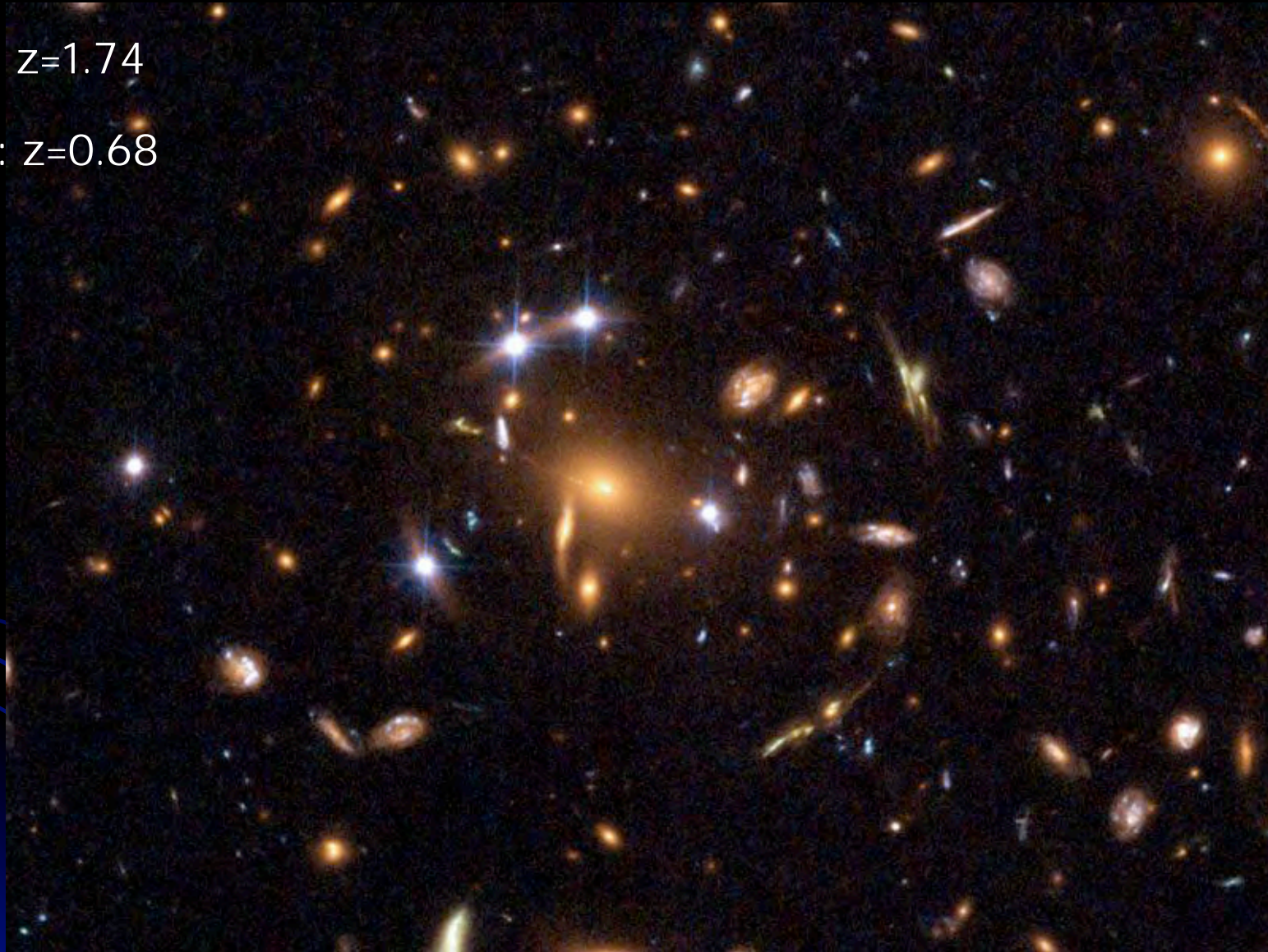
19/2/2008

Collège de France

CL 0024+1654, Colley et al 1996; HST WFPC2

QSO: $z=1.74$

Amas: $z=0.68$



19/2/2008

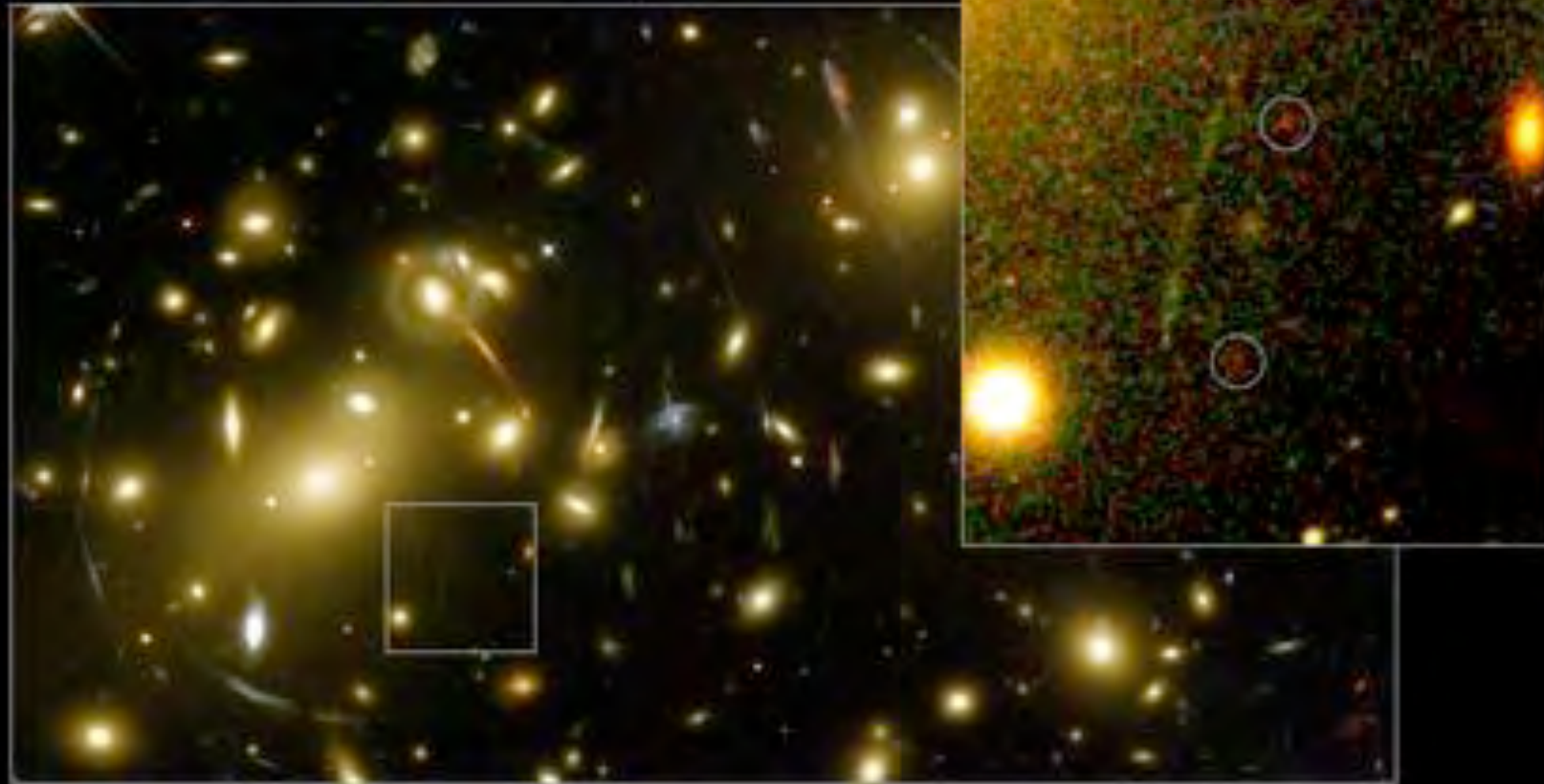
Collège de France

SDSS J1004+4112; Sharon et al. 2005; © HST



Abell 2218,
Fruchter et al. 2001; © HST

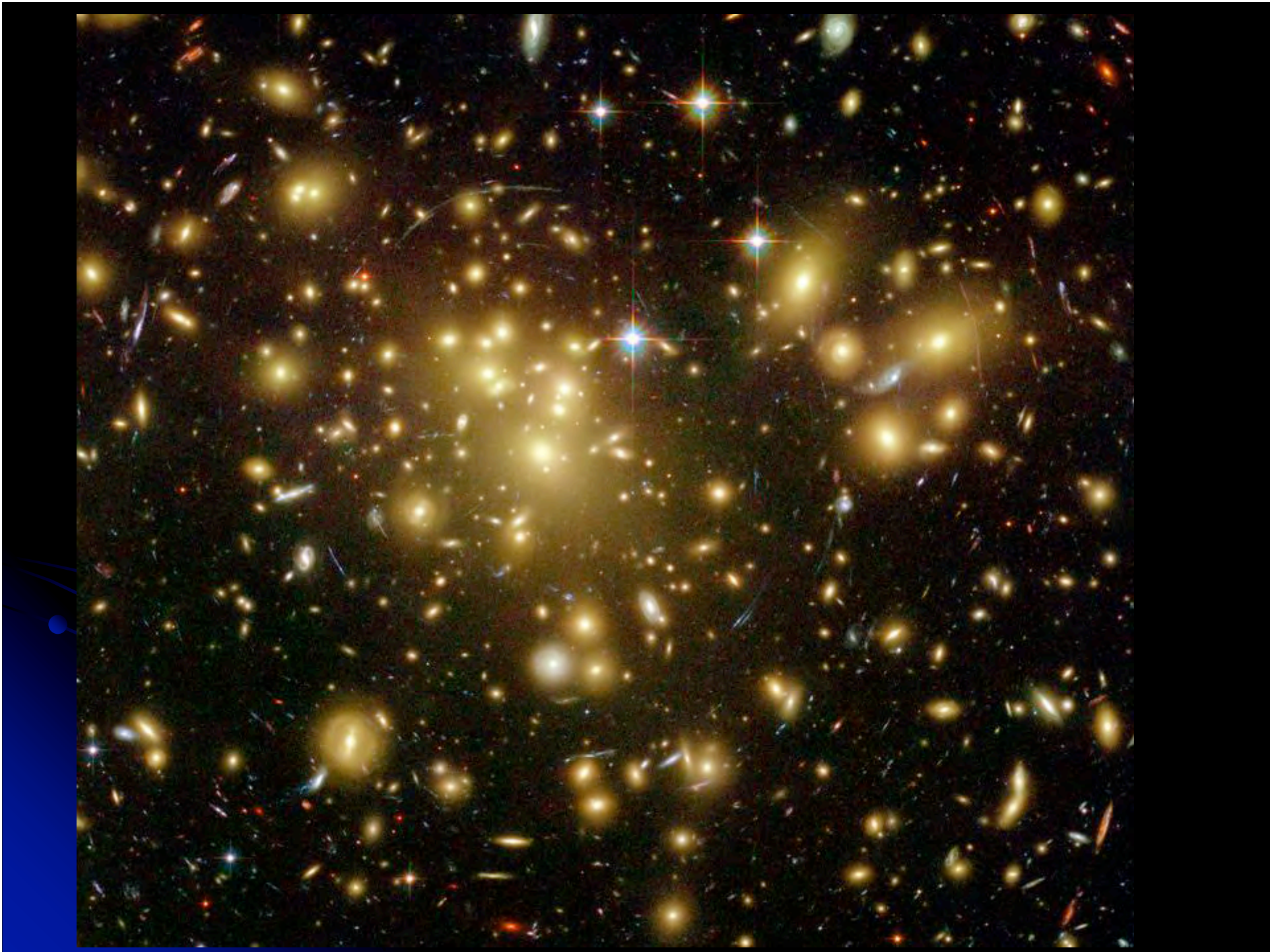




19/2/2008

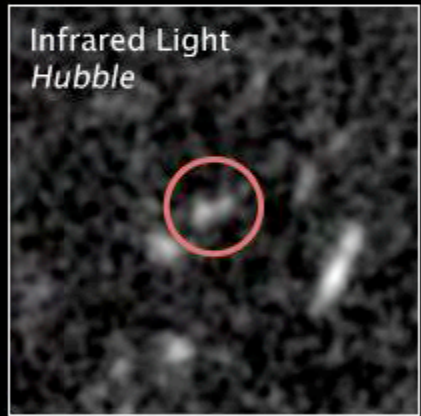
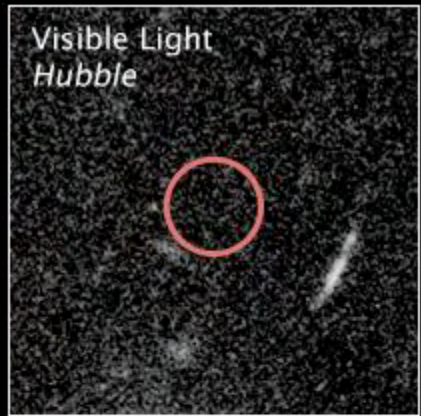
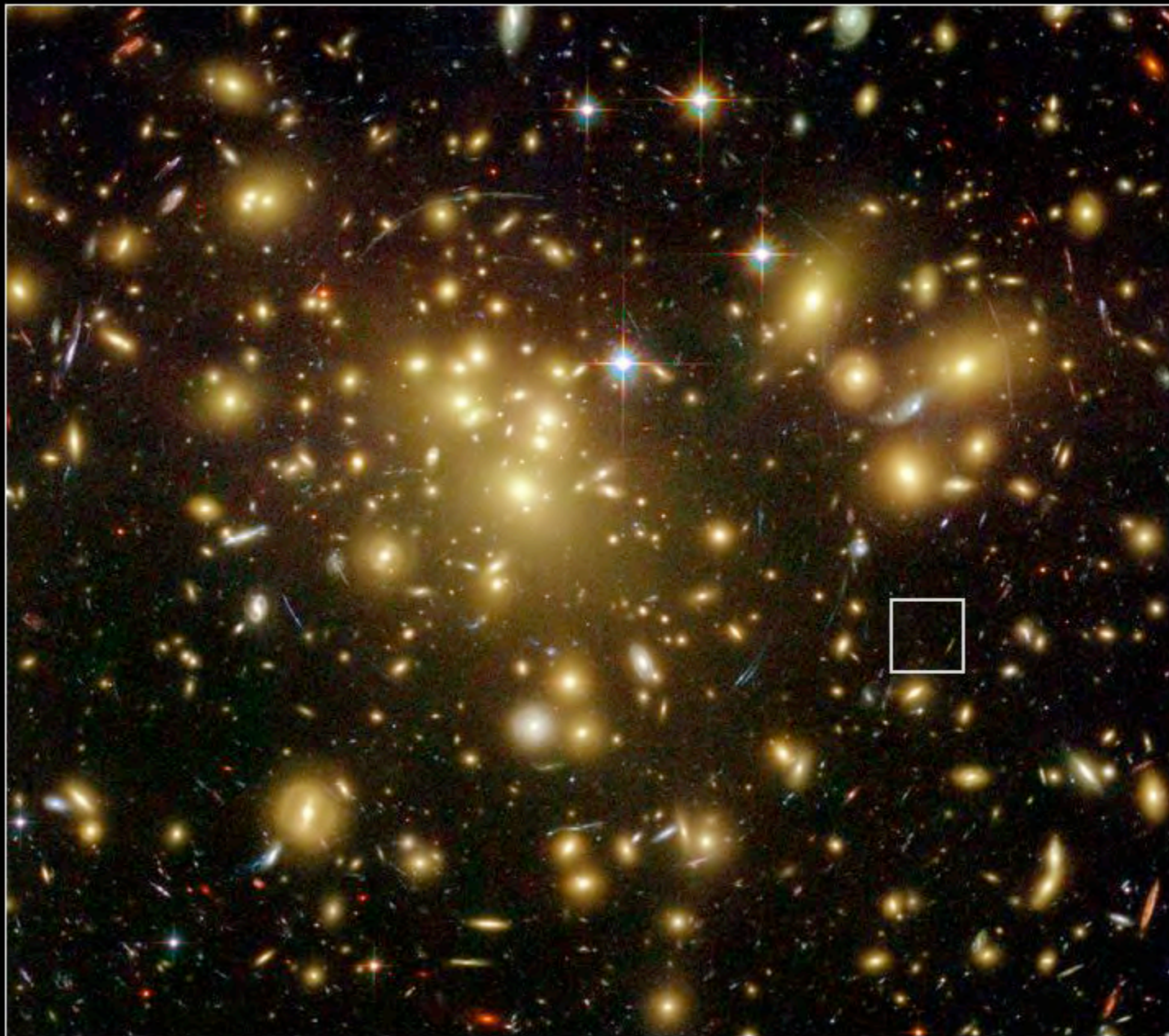
Collège de France

Abell 2218, zoom, Kneib et al. 2004; © HST



Distant Gravitationally Lensed Galaxy
Galaxy Cluster Abell 1689

Hubble Space Telescope
ACS/WFC NICMOS

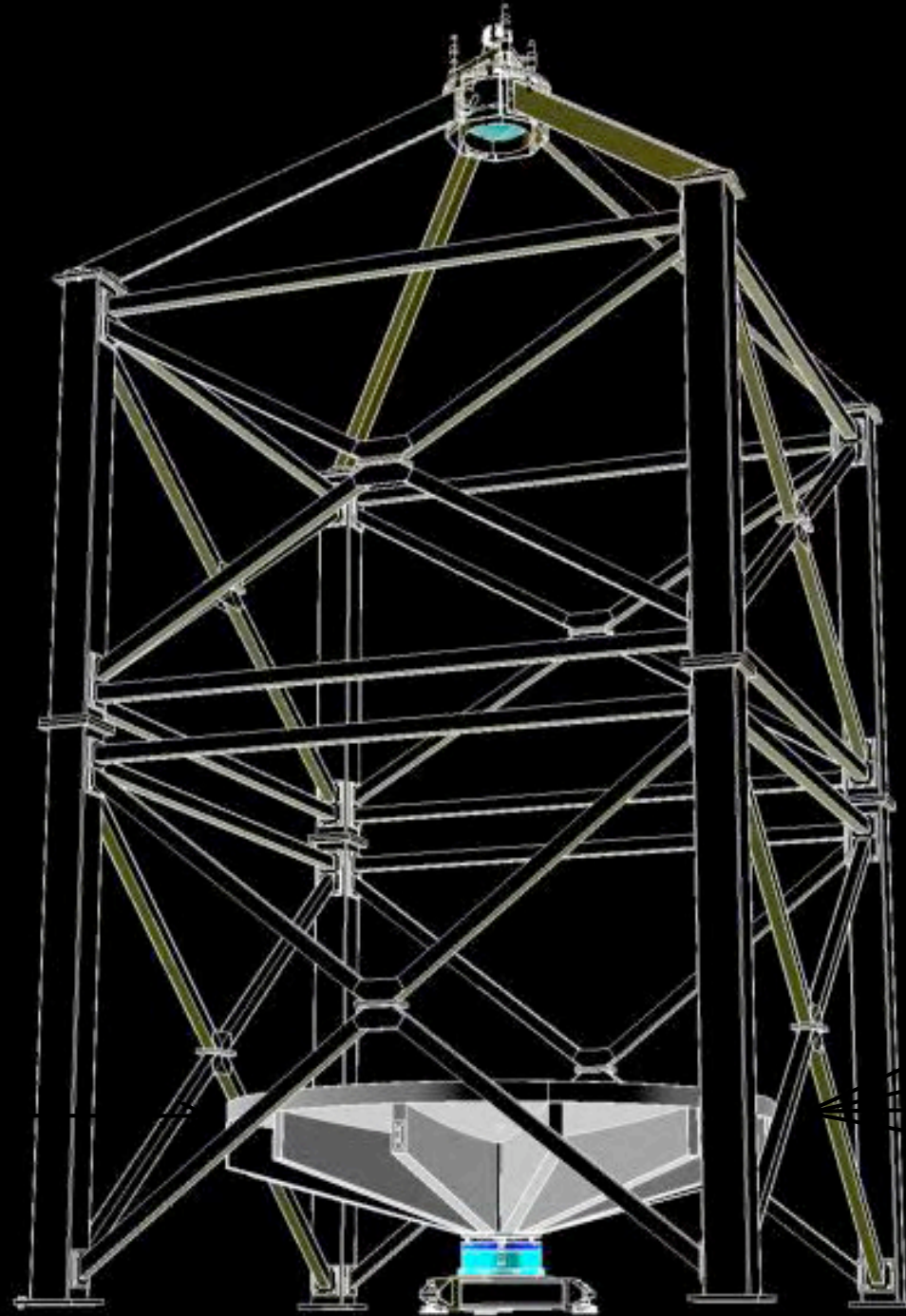


Upper End

• The 4m
ILMT

Structure

Mirror



CCD Camera

Corrector

Alignment
mechanisms

Container

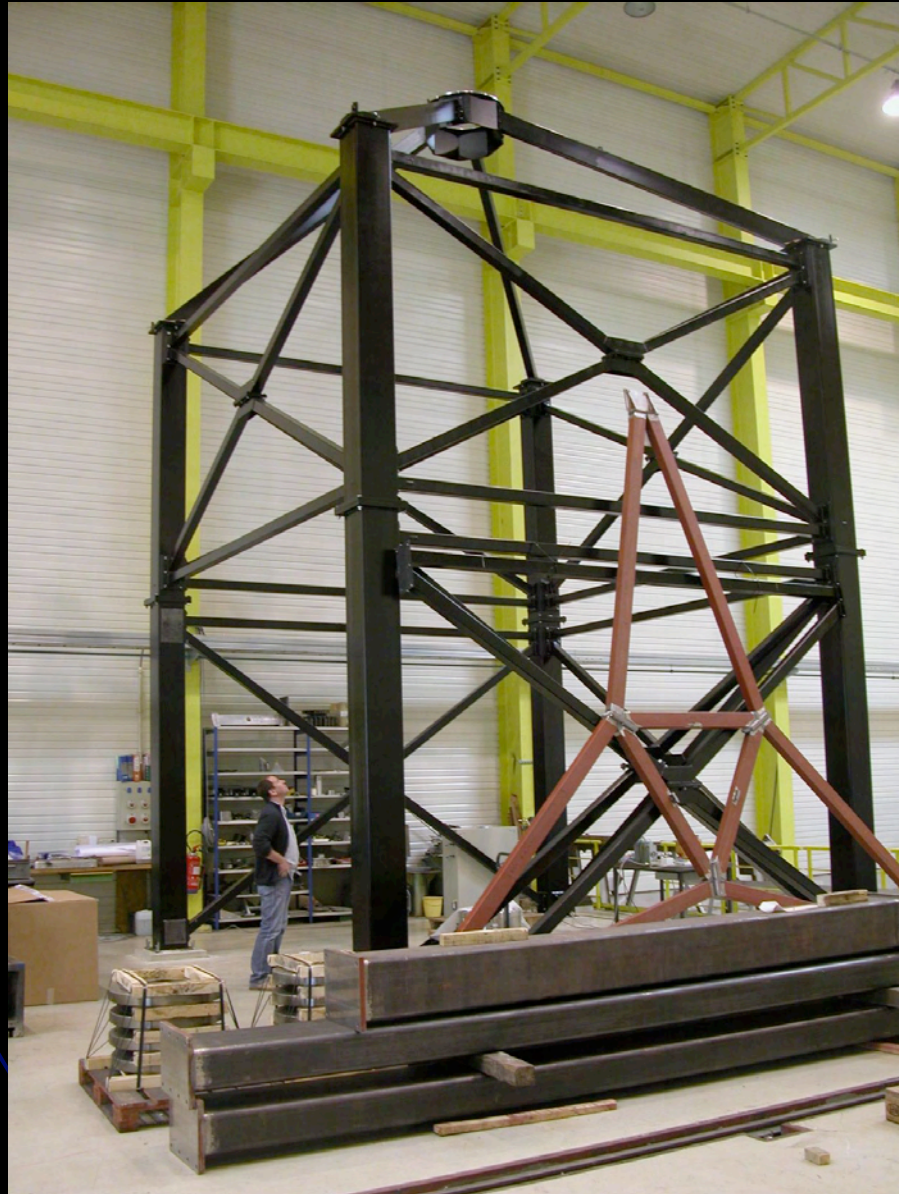
Bearing

Motor

3-point

mount

The International 4m LMT project



19/2/2008

The International 4m LMT project



19/2/2008

The International 4m LMT project



19/2/2008



The End

PREAMBULE:

(g)



(h)



Réfraction atmosphérique: (g-h) correspondent à deux vues différentes du bras nord-sud du Very Large Array (NRAO, Socorro, Nouveau-Mexique) photographiées très tôt le matin du 17 Janvier 1989.

19/2/2008

Collège de France