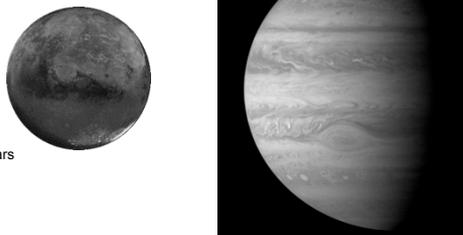


Festival d'astronomie de Fleurance 13 août 2010

Périple au cœur de l'Univers invisible

Nathalie Palanque-Delabrouille
CEA Saclay

L'univers connu : le système solaire

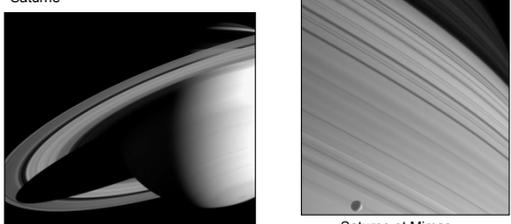


Mars

N. Palanque-Delabrouille Fleurance, 13 août 2010 2

L'univers connu : le système solaire

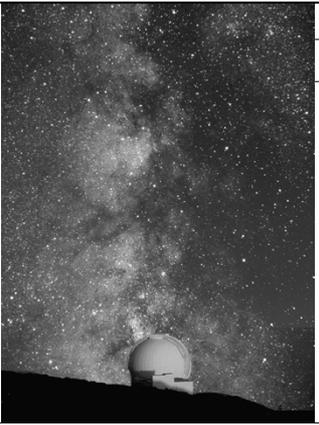
Saturne



Saturne et Mimas

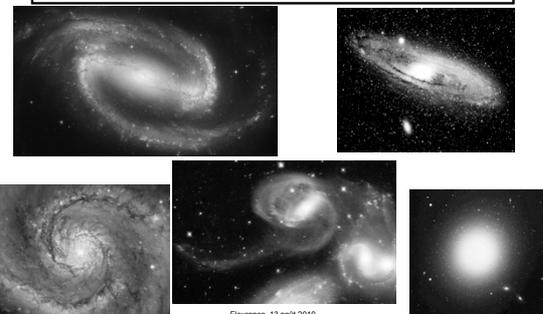
N. Palanque-Delabrouille Fleurance, 13 août 2010 3

L'univers connu : la Voie lactée



N. Palanque-Delabrouille

L'univers connu : les galaxies



Fleurance, 13 août 2010



6

Mais est-ce là toute l'histoire?

des univers-îles

Hubble, 1920

L'univers est grand !

N. Palanque-Delabrouille
Fleurance, 13 août 2010
7

Mais est-ce là toute l'histoire?

1 s
8 min
4,2 ans
26 mille ans
2,3 millions d'années

1930 :
Univers = galaxies (formées d'étoiles)
entourées d'immenses espaces vides

Mais est-ce là toute l'histoire?

Hubble, 1929

L'univers n'est pas statique !

N. Palanque-Delabrouille
Fleurance, 13 août 2010
9

Sommes-nous au centre de l'Univers?

Aristote (384-322 avant J.-C.)

(1473-1543)

(100-170)

étoiles fixes

Copernic

N. Palanque-Delabrouille
Fleurance, 13 août 2010
10

Sommes-nous au centre de l'Univers?

Compter les étoiles... William et Caroline Hershel (1785)

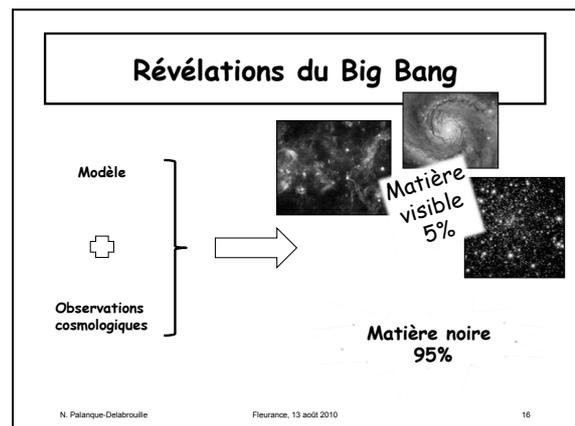
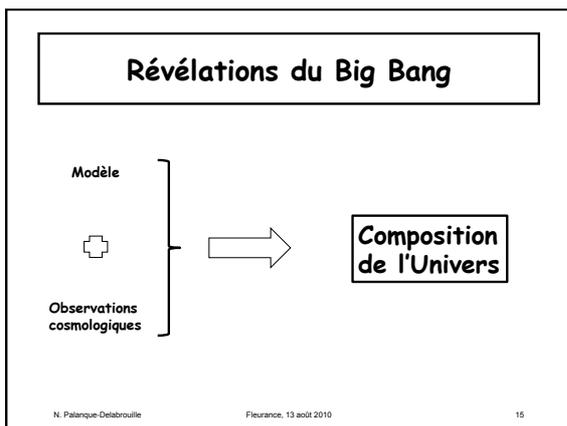
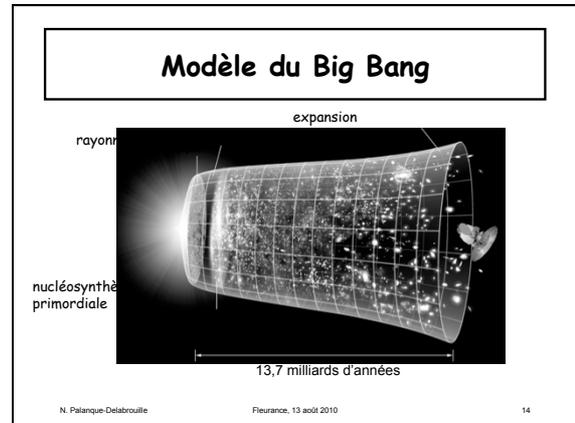
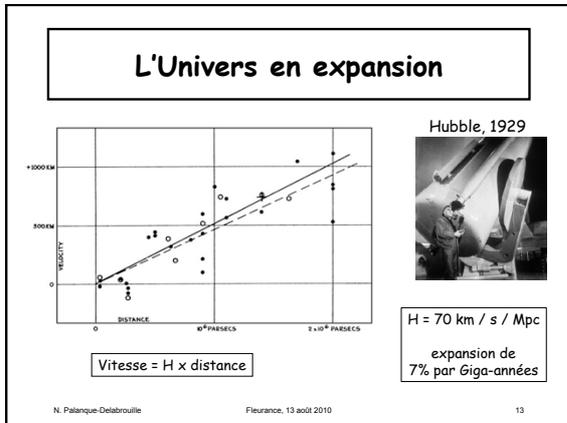
Voie lactée
Soleil

N. Palanque-Delabrouille
Fleurance, 13 août 2010
11

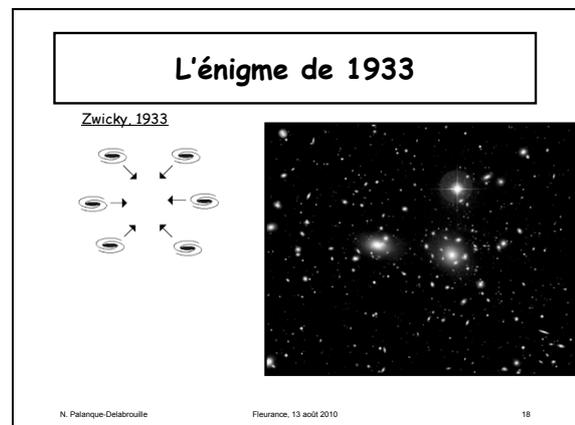
L'Univers en expansion

Hubble, 1929

N. Palanque-Delabrouille
Fleurance, 13 août 2010
12



- ### Périple au cœur de l'Univers invisible
- L'univers connu
 - Où est passée la matière?
 - Sur les traces de la matière invisible, (les différentes pistes)
- N. Palanque-DeLabrouille Fleurance, 13 août 2010 17



L'énigme de 1933

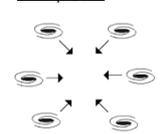
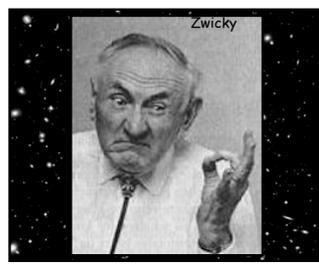
Vitesse de libération

Terre	11 km/s
Soleil	620 km/s
Lune	1 km/s

N. Palanque-DeLabrouille Fleurance, 13 août 2010 19

L'énigme de 1933

Zwicky, 1933

Galaxies =
1 à 10%
de la masse totale

N. Palanque-DeLabrouille Fleurance, 13 août 2010 20

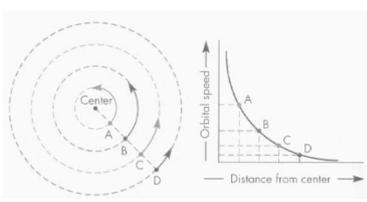
Version moderne de l'énigme

Simulations numériques

N. Palanque-DeLabrouille Fleurance, 13 août 2010 21

1970 : Peser les galaxies ...

Système solaire

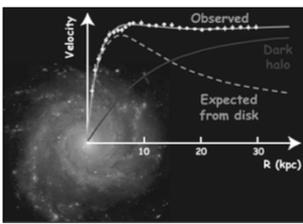


$$v^2 \frac{m}{r} = \frac{GMm}{r^2}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{GM/r}$$

N. Palanque-DeLabrouille Fleurance, 13 août 2010 22

1970 : Peser les galaxies ...



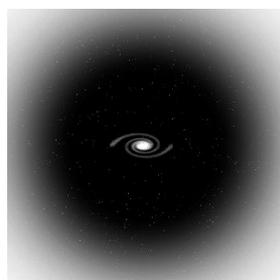
Rotation à
vitesse constante

↓

Halo de
MATIÈRE NOIRE

N. Palanque-DeLabrouille Fleurance, 13 août 2010 23

1970 : Peser les galaxies ...



de la
masse invisible
autour
des galaxies

Voie Lactée:
 $M_{\text{halo}} \sim 10 \times M_{\text{visible}}$

N. Palanque-DeLabrouille Fleurance, 13 août 2010 24

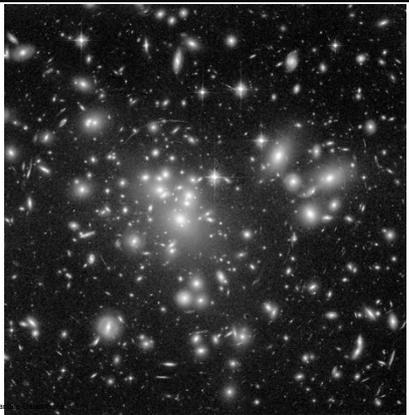
1990 : ... ou les amas de galaxies

Lentilles gravitationnelles



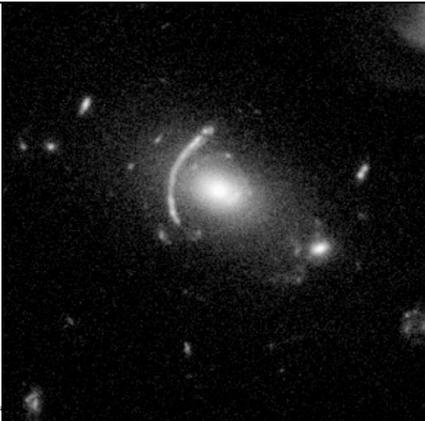
A 2218

N. Palanque-DeLabrouille Fleurance, 13 août 2010 25

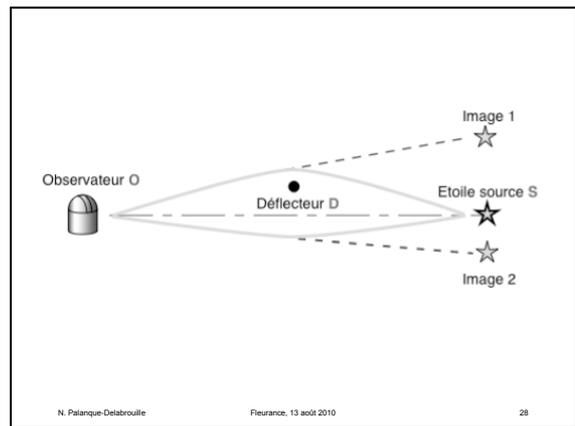
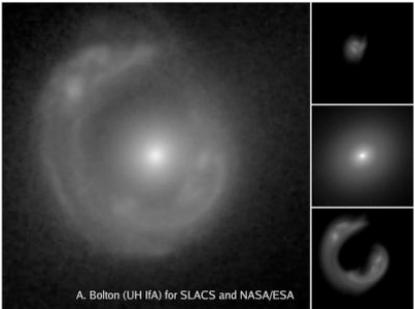


A 1689

N. Palanque-DeLabrouille 26



N. Palanque-DeLabrouille 27

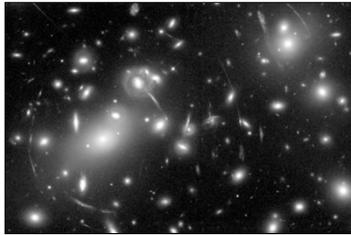



A. Bolton (UH IfA) for SLACS and NASA/ESA

N. Palanque-DeLabrouille Fleurance, 13 août 2010 29

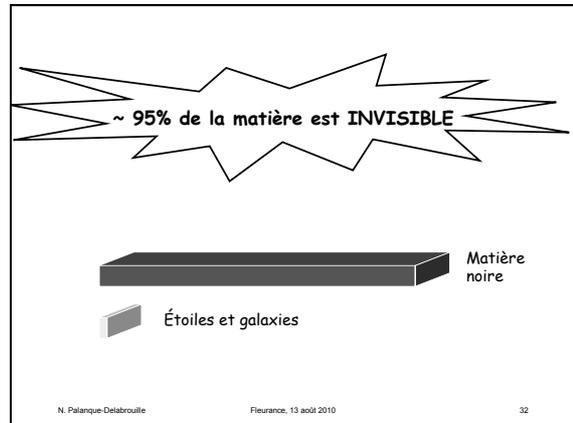
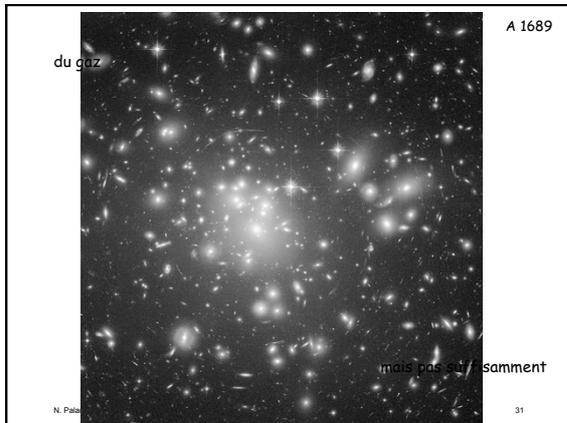
1990 : ... ou les amas de galaxies

Lentilles gravitationnelles



⇒ **Masse lumineuse = 1% Masse gravitationnelle** A 2218

N. Palanque-DeLabrouille Fleurance, 13 août 2010 30



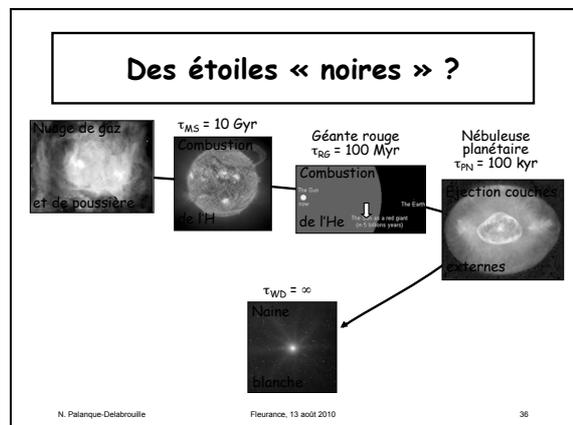
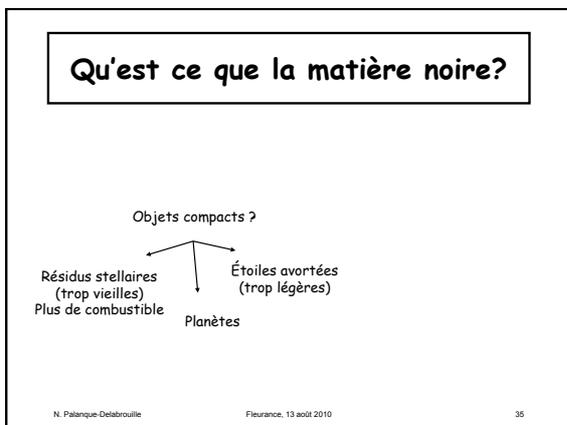
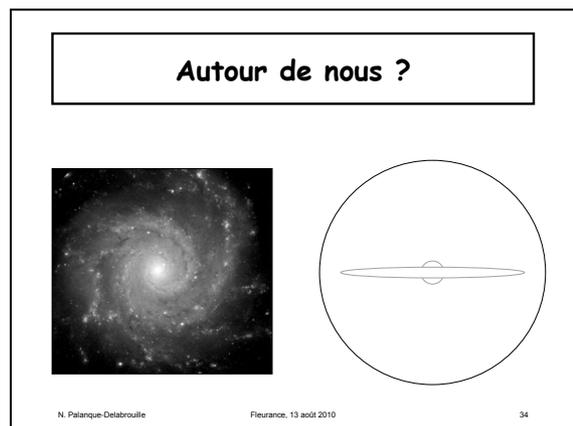
Périple au cœur de l'Univers invisible

- L'univers connu
- Où est passée la matière?
- Sur les traces de la matière invisible (les différentes pistes)

N. Palanque-DeLabrouille

Fleurbaey, 13 août 2010

33



EROS* à la chasse aux MACHO**

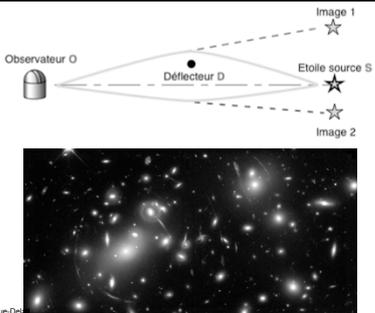
* Expérience de Recherche d'Objets Sombres
 ** MAssive Compact Halo Objects

La Silla, Chili



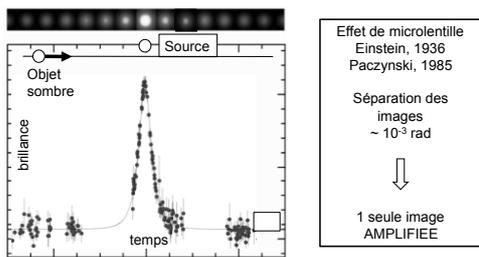
N. Palanque-Delabrouille Fleurance, 13 août 2010 37

Lentilles gravitationnelles



N. Palanque-Delabrouille 38

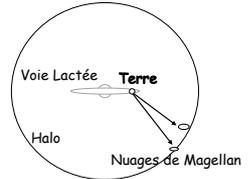
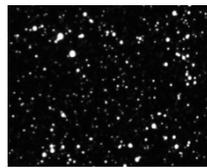
Micro-lentilles gravitationnelles



N. Palanque-Delabrouille Fleurance, 13 août 2010 39

Stratégie d'EROS

Taux d'événements: ~ 1 par an par 20 millions d'étoiles

~30 millions d'étoiles observées:

- >10 000 étoiles variables
- >100 SN
- Effets de microlentilles ?

N. Palanque-Delabrouille Fleurance, 13 août 2010 40

EROS

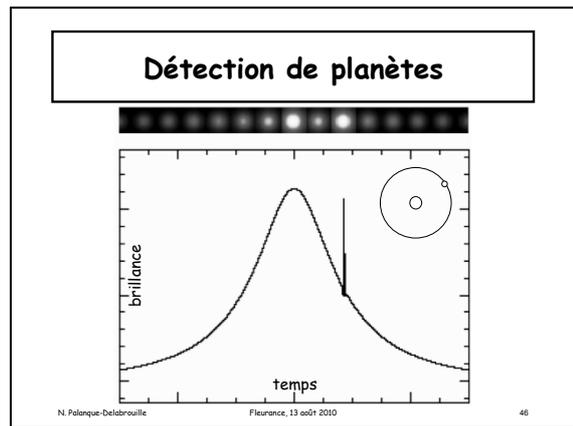
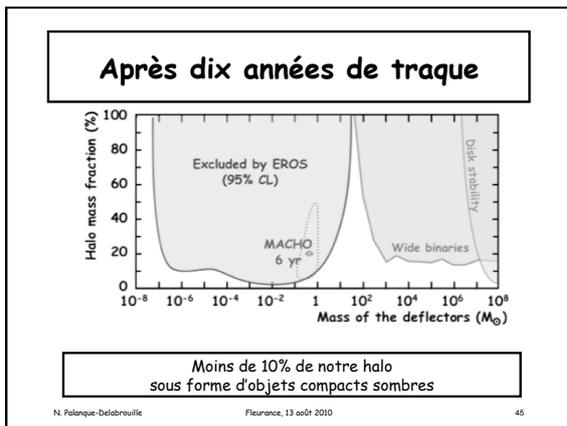
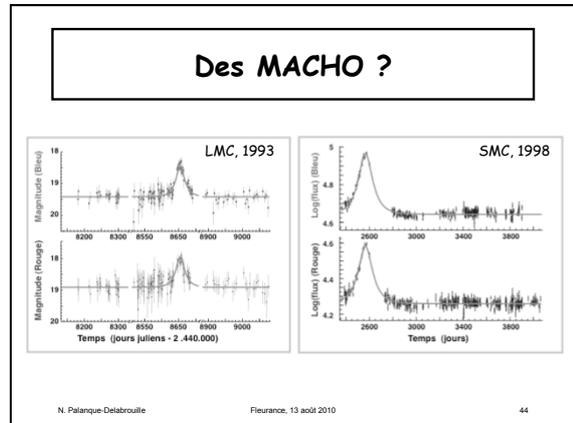
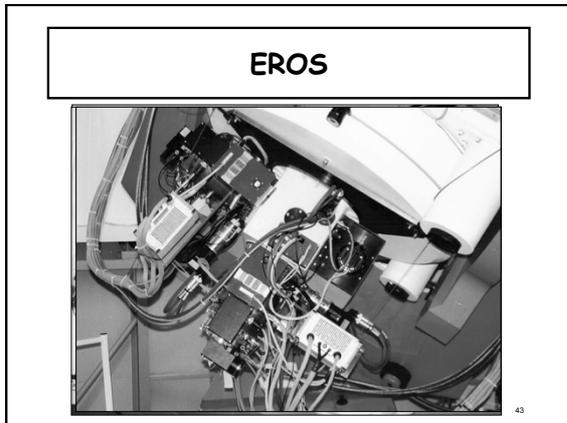
17h



EROS à La Silla



42



Le miracle WIMP

WIMP WIMP

photon

Aujourd'hui
il reste(ra)it
des WIMPs!

THE BIG BANG THEORY

Détecter les WIMPs

très difficile...

signal Dans détecteur de 1 kg : < 1 choc de WIMP par
→ gros détecteurs

Or, pollution importante provenant de

bruit

- rayonnement cosmique → se mettre sous terre
- radioactivité naturelle des roches et des matériaux → utiliser des matériaux peu radioactifs (ou purifiés)

N. Palanque-DeLabrouille Fleurance, 13 août 2010 48

Edelweiss: un exemple



Labo de Modane: 1700 m de profondeur

Cristaux de Germanium ultra pur

Choc d'un WIMP

- élévation de température de 1 millionième de degré
- signal électrique 3 fois plus petit que pour radioactivité (pour même dépôt d'énergie)



Edelweiss: un exemple



Blindages en Plomb

Dans les mines, plomb contaminé par éléments naturels Uranium, Thorium
→ ^{210}Pb radioactif (22 ans)

Utilisation de plomb archéologique : dans épave d'un navire celte coulé au large de la Bretagne vers l'an 400 (270 lingots, 22 tonnes)

N. Palanque-Delabrouille
Fleurbaey, 13 août 2010
50

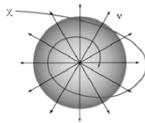
La dure traque aux WIMPS

- cristaux de 200g à 400g, détecteur complet environ 1kg
nombre attendu de chocs (de WIMPS) dans détecteur trop faible
- futur proche : 100 kg
- à 10 ans : 1 tonne...

→ d'autres indices possibles?

N. Palanque-Delabrouille
Fleurbaey, 13 août 2010
51

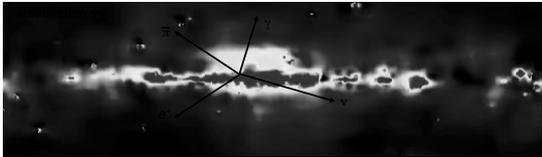
Signatures astrophysiques



Concentration de WIMPS dans les régions denses

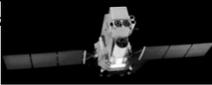
Annihilation

Production de nouvelles particules ... détectables

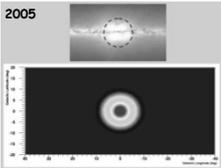


Signatures astrophysiques

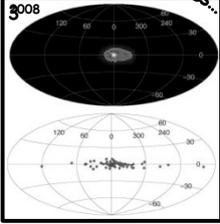
INTEGRAL (2005)



de la matière noire.



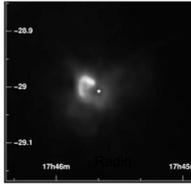
rien que des étoiles...



N. Palanque-Delabrouille
Fleurbaey, 13 août 2010
53

Signatures astrophysiques

de la matière noire.





Non, plus probablement

- trou noir central
- reste de l'explosion d'une supernova

N. Palanque-Delabrouille
Fleurbaey, 13 août 2010
54

des WIMPs (χ) ?

Les détecter ?

détection directe

détection indirecte

FRANCE PAYS DE VERTIGAN ITALIE
ALT 1227 m ALT 1252 m ALT 1256 m
LONGUEUR DU TUNNEL 12 876 m

Antares XENON

De fausses pistes, mais toujours pas la moindre trace...

N. Palanque-Desabrouille Fleurbauc, 13 août 2010 55

Particules supersymétriques?

En fabriquer ?

CERN Détecteur ATLAS

LHC 2009. Patience, patience ...

N. Palanque-Desabrouille Fleurbauc, 13 août 2010 56

Et si la réponse était ailleurs?

matière noire ?

ou

modification des lois de la gravité ?

N. Palanque-Desabrouille Fleurbauc, 13 août 2010 57

1983 : la naissance de MOND

force de gravitation décroît moins vite que prévu avec R

Observed Dark halo Expected from disk

N. Palanque-Desabrouille Fleurbauc, 13 août 2010 58

1983 : la naissance de MOND

force de gravitation décroît moins vite que prévu avec R

Observed Dark halo Expected from disk

2 régimes

- « grandes accélérations » gravité usuelle
- « petites accélérations » gravité modifiée

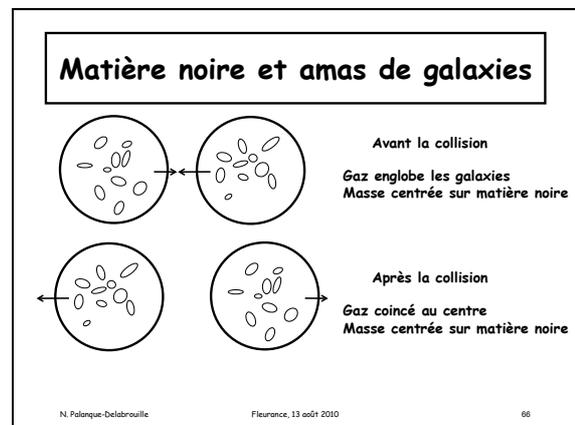
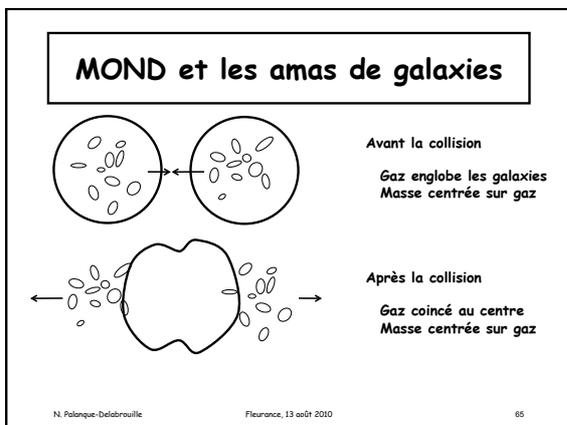
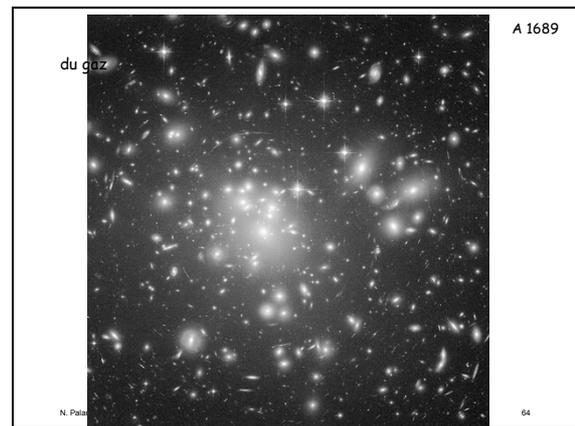
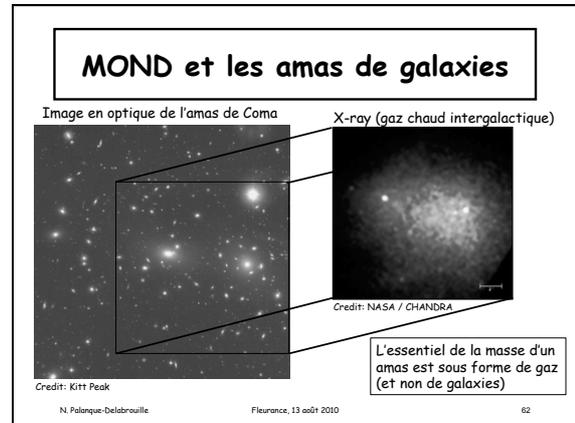
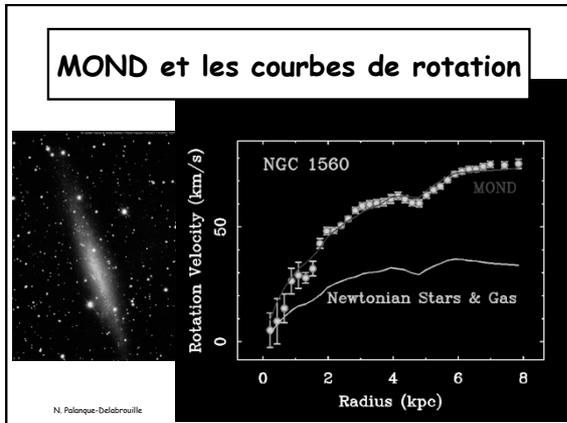
N. Palanque-Desabrouille Fleurbauc, 13 août 2010 59

MOND : premiers succès

Courbes de rotation → désaccord plus grand pour les galaxies peu lumineuses que pour les galaxies très lumineuses

... en accord avec MOND

N. Palanque-Desabrouille Fleurbauc, 13 août 2010 60



Collisions entre amas de galaxies

Bullet cluster E1E0657-56

MOND et les amas de galaxies

Bullet cluster E1E0657-56

N. Palanque-Defabrouille Fleurance, 13 août 2010 68

MOND et les amas de galaxies

Bullet cluster E1E0657-56

MOND et les amas de galaxies

décalage entre le gaz et les centres de masse

incompatible avec MOND (seuf...)

MOND et les amas de galaxies

« baby » bul

SJ0025-1222

N. Palanque-Defabrouille 71

Conclusions

Gravité modifiée?

matière noire ordinaire

matière noire exotique