

CLAIRS-OBSCURS
DU COSMOS
OU
"L'ANATOMIE DE
L'UNIVERS"

A. MAZURE

Laboratoire d'Astrophysique de Marseille



Rembrandt



Fête de la Science 2006

IMAGINONS
UNE BELLE SOIRÉE D'ÉTÉ
ALLONGÉS
DANS LE JARDIN, SUR
LA PLAGE, OU EN
MONTAGNE ET
REGARDONS LA NUIT
TOMBER





REGARDONS LE
COUCHER DE
SOLEIL ET LE
LEVER DE VÉNUS





LES ZÉBRURES
DES ÉTOILES
FILANTES



MAIS AUSSI LA
VOIE LACTÉE
NOTRE GALAXIE





?



MAIS AU
FAIT
OÙ
SOMMES
NOUS ?

DANS LE SYSTEME SOLAIRE



9 -1 !! PLANETES + DES ASTEROIDES

Soleil

Mercure Vénus

Terre

Mars

astéroïdes

Jupiter

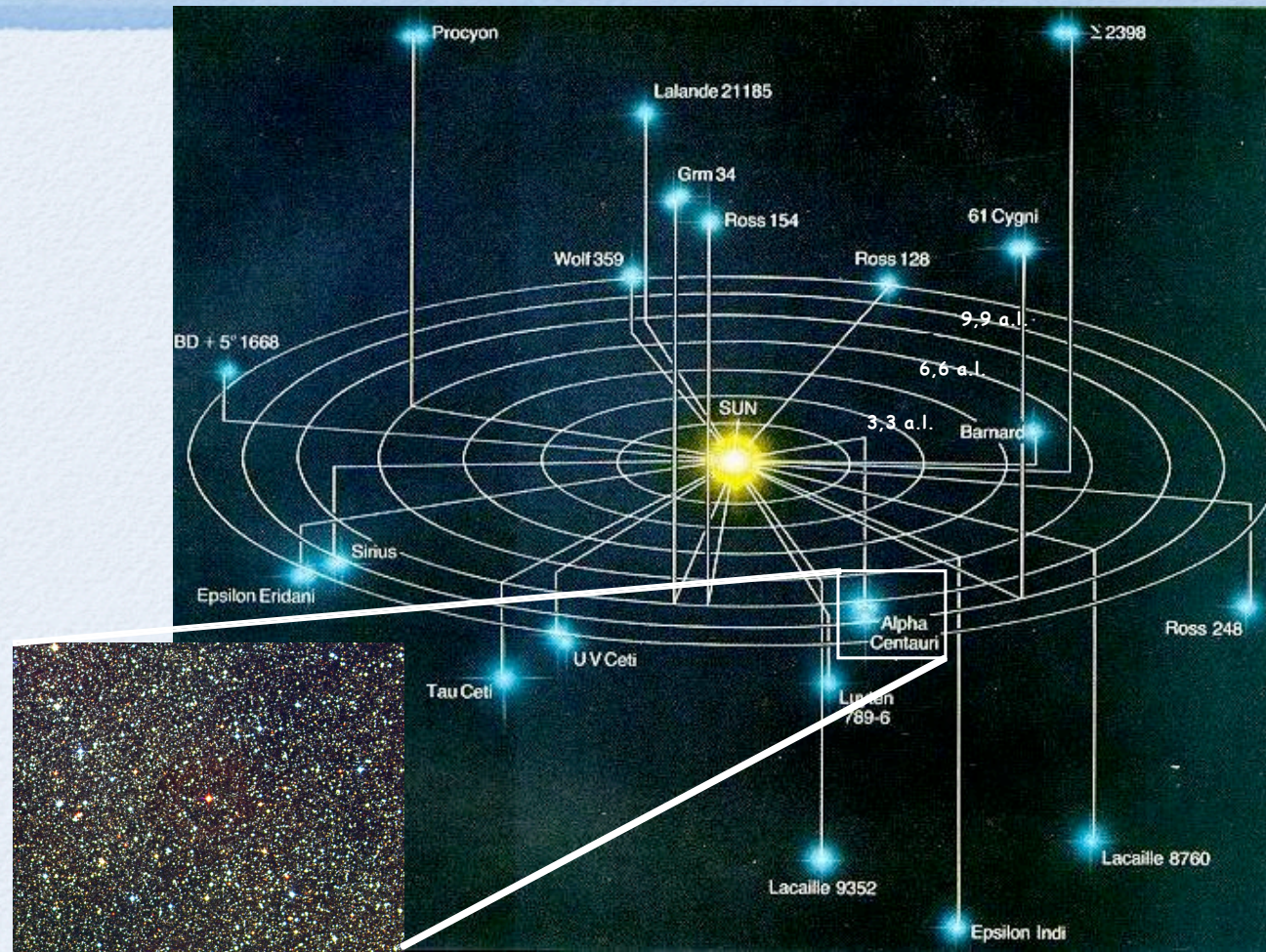
Saturne

Uranus

Neptune

~~Pluton~~

Notre proche banlieue





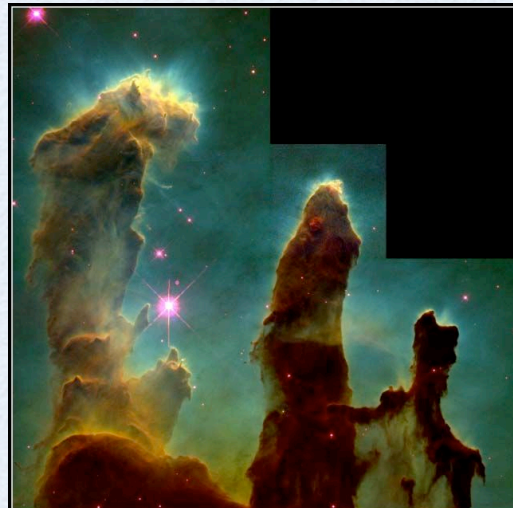
MAIS LE SOLEIL ET SON CORTÈGE
PLANÉTAIRE N'EST QU'UNE ÉTOILE
BANALE
À LA PÉRIPHÉRIE DE LA VOIE LACTÉE !



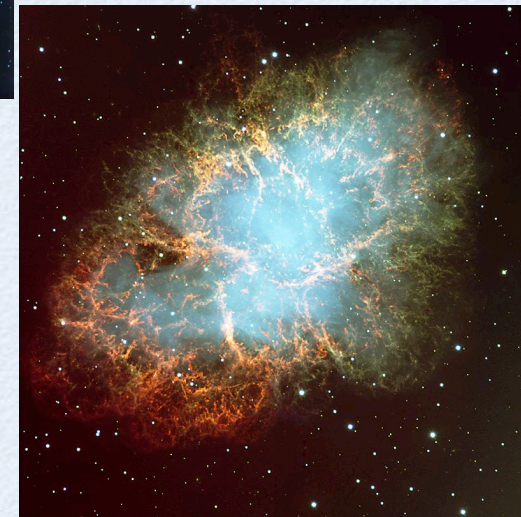
NOTRE
GALAXIE:
CE SONT DES
MILLIARDS
D'ÉTOILES



Comme
les
Pléiades
Qui "meurent"



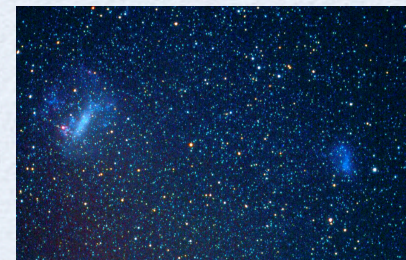
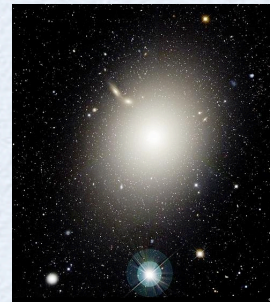
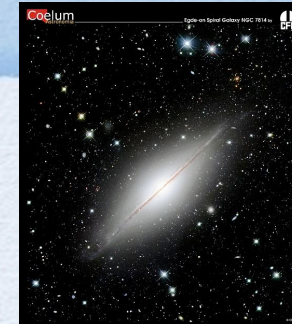
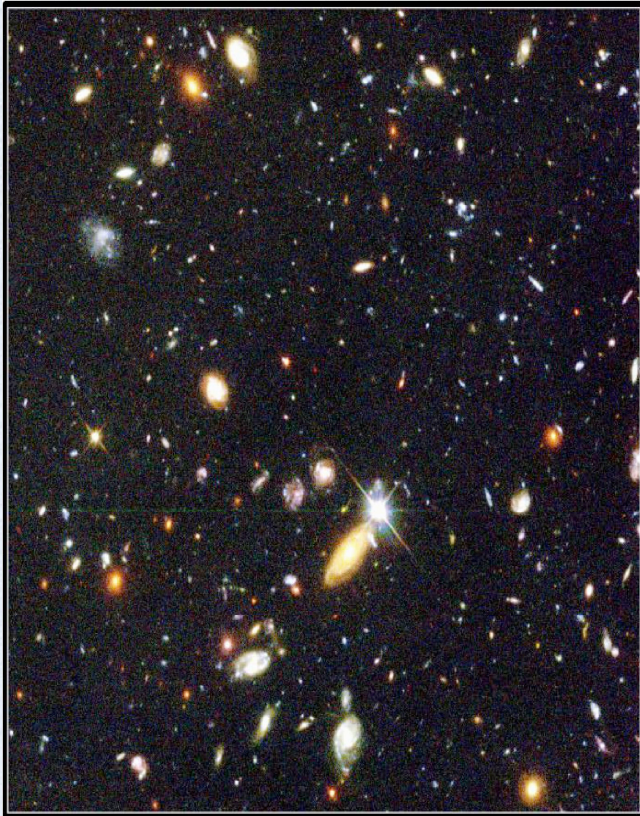
Gaseous Pillars • M16 HST • WFPC2
PRC95-44a • ST ScI OPO • November 2, 1995
J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.), NASA



The Crab Nebula in Taurus (VLT KUEYEN + FORS2)
ESO PR Photo 40/99 (17 November 1999) © European Southern Observatory

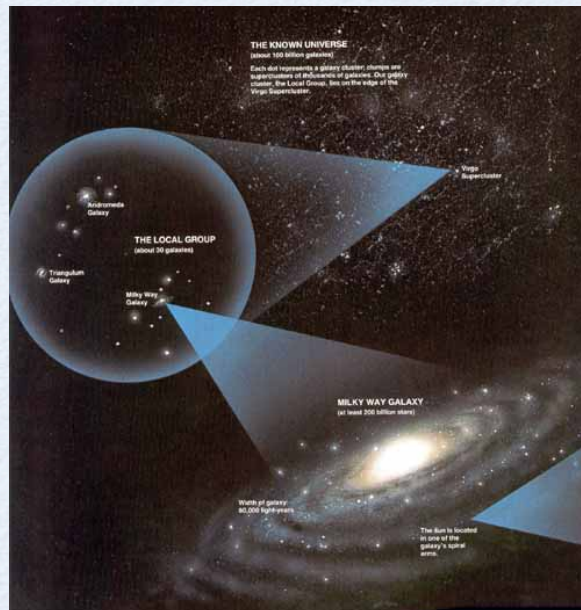
Qui "naissent"

ET LE COSMOS: DES MILLIARDS DE GALAXIES !



DES GALAXIES
QUI SE
REGROUPENT

:
COMME
DANS LE
GROUPE
LOCAL
AVEC
ANDROMÈDE
ET LES
AUTRES

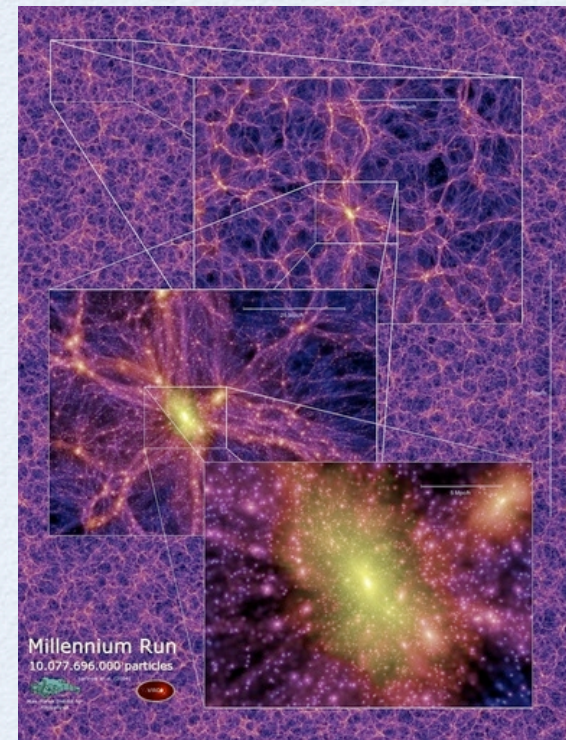
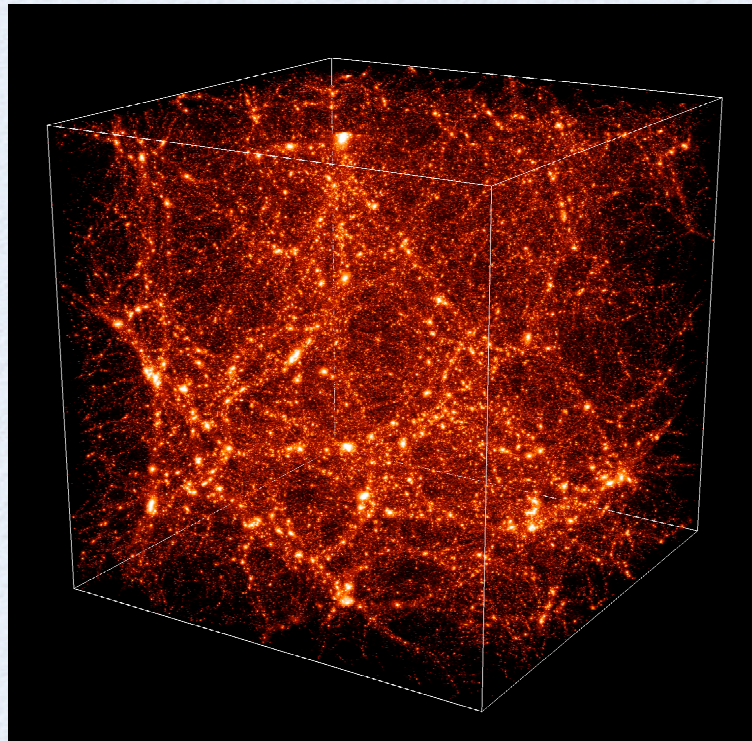




- Elles se regroupent aussi en amas comme dans la constellation de la “Chevelure de Bérénice”

LE TOUT ORGANISE EN UN GIGANTESQUE
RESEAU!

DES AMAS, DES FEUILLETS, DES FILAMENTS
SÉPARÉS PAR DE GIGANTESQUES VIDES

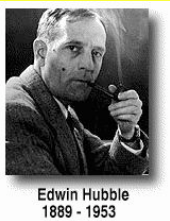


LA "FUITE DES GALAXIES"

ELLES S'ELOIGNENT

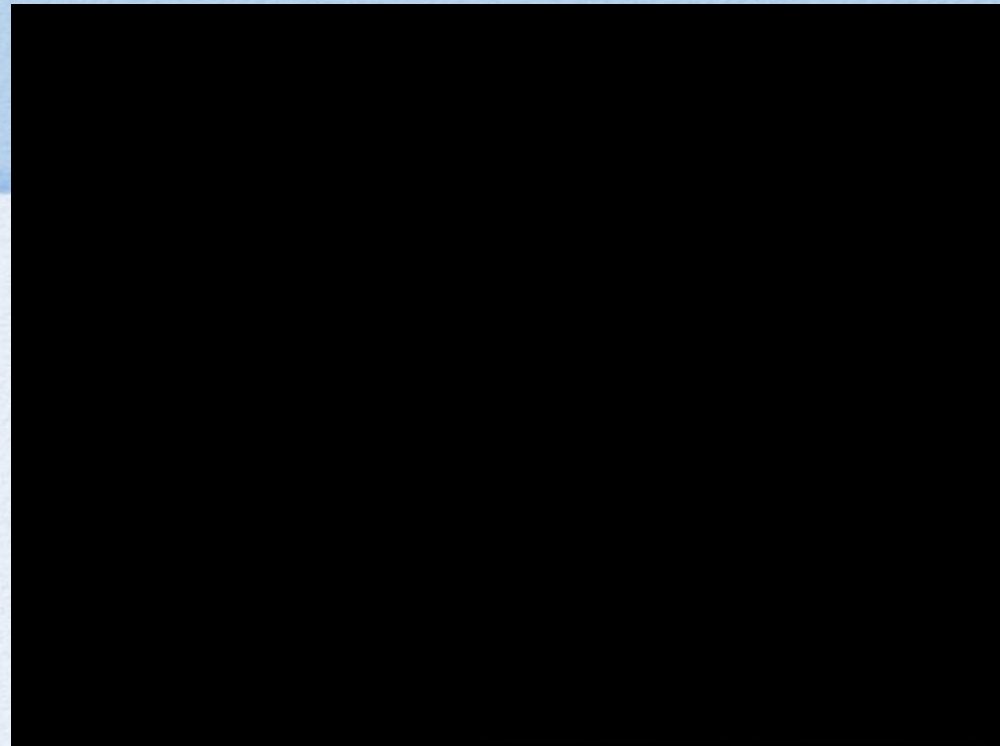
TOUTES

LES UNES DES AUTRES



HUBBLE, SLIPHER, HUMASON

(1920's- 30's)

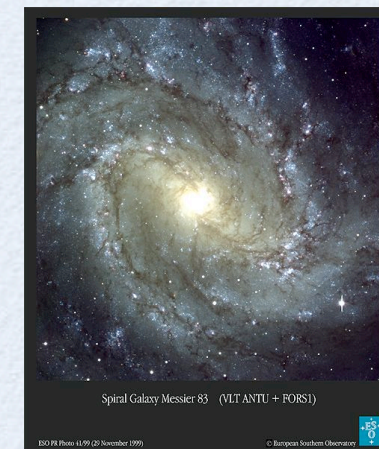
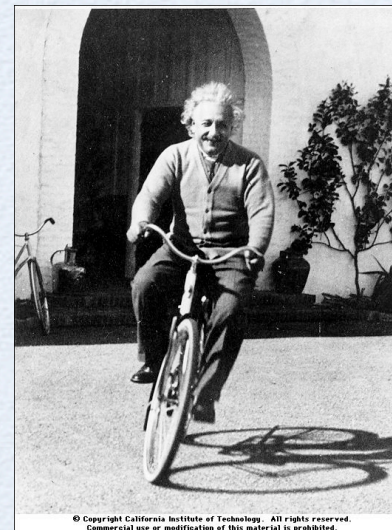
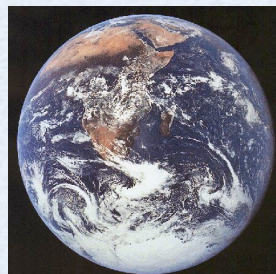
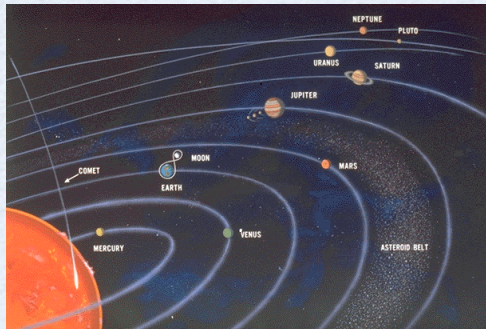
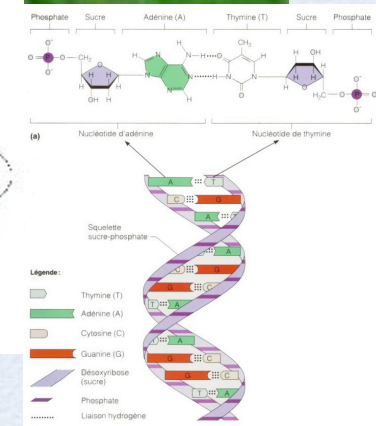
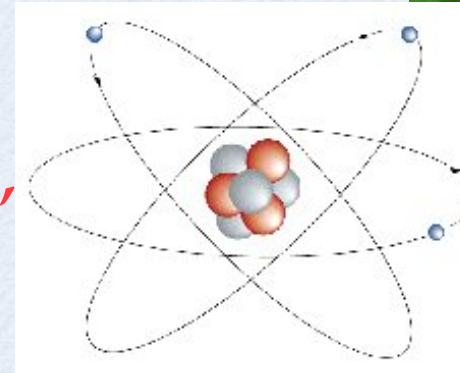


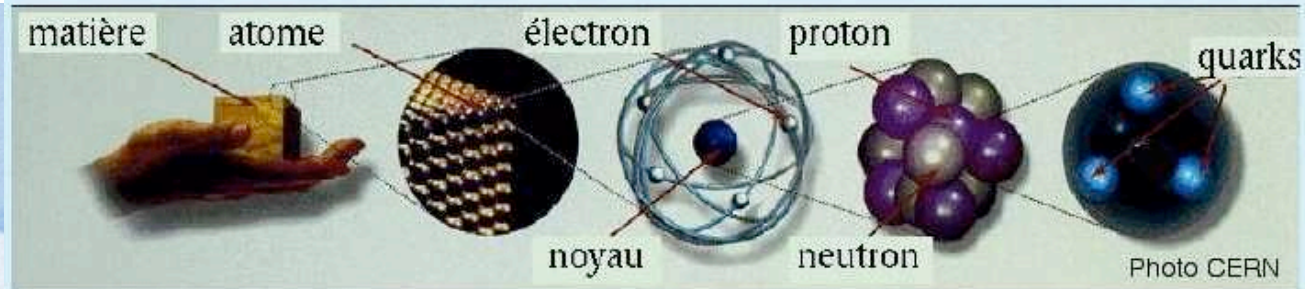
**ET FINALEMENT L'UNIVERS EN
EXPANSION !!!!!!!!!**

AURIONS NOUS
TERMINE NOTRE TOUR
DU COSMOS?

DE QUOI EST IL FAIT ?
DE QUOI
SOMMES NOUS FAITS?

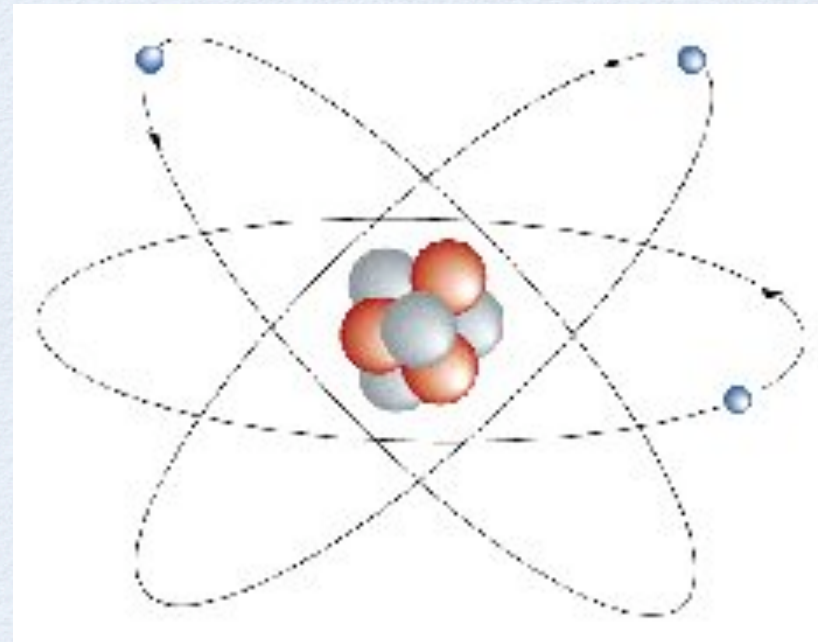
TOUT CE QUE NOUS
AVONS RENCONTRE EST
FORME DE CE QU'ON
APPELLE LA
"MATIERE ORDINAIRE"





nombre de protons du noyau = nombre d'électrons de l'atome
caractérise l'élément chimique

LA MATIÈRE ATOMIQUE





POURANT
LA MATIERE
PREPONDERANTE E
DANS L'UNIVERS

N'EST PAS CONSTITUEE

DE CES PROTONS, NEUTRONS,
ELECTRONS....

DE CETTE MATIERE ORDINAIRE !

CELLE QUI "FORME" L'UNIVERS VISIBLE
(DONC NOUS)
N'EST QU'UNE INFIME PART!
LA MATIÈRE EST "NOIRE"!!

PERIODIC TABLE
Atomic Properties of the Elements

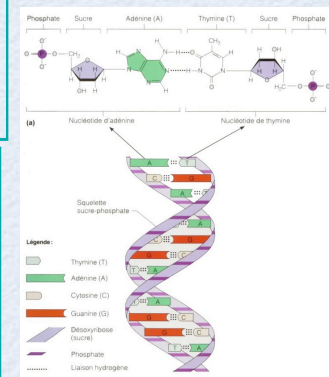
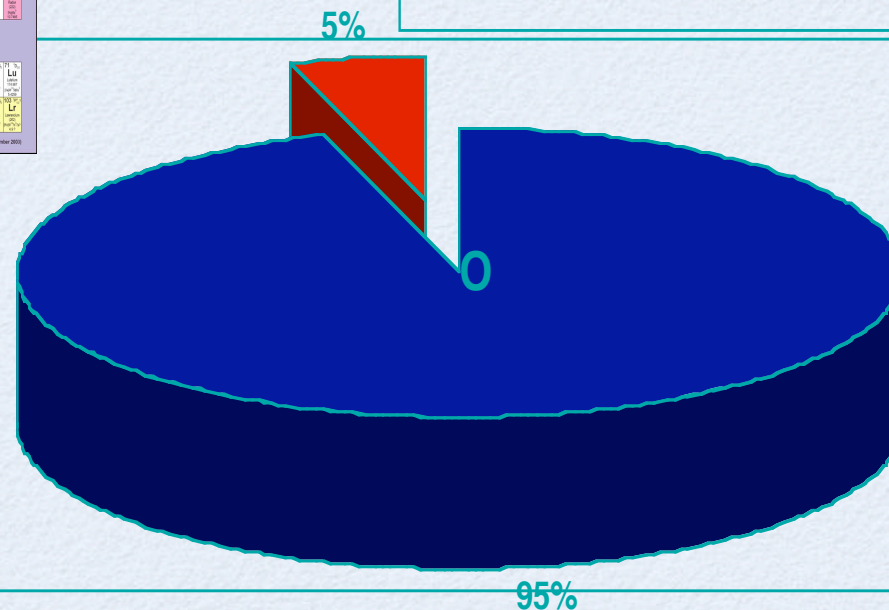
NIST
National Institute of Standards and Technology
Gaithersburg, Maryland, U.S. Department of Commerce

For a description of the data, visit physics.nist.gov/periodic



■ MATIERE NOIRE

■ ORDINAIRE

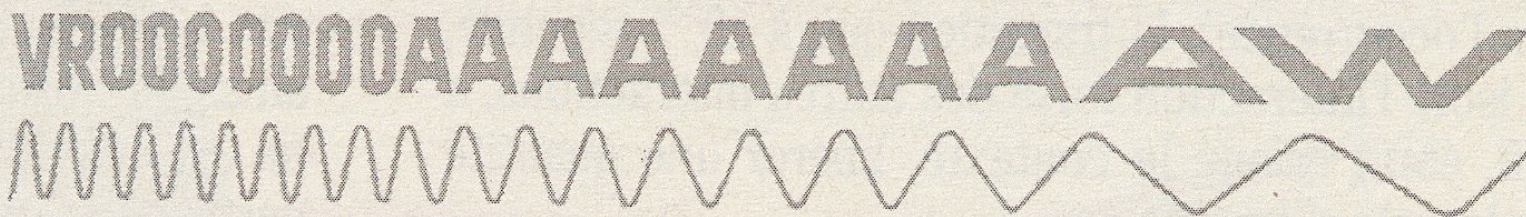


COMMENT
LE
SAIT
ON ?

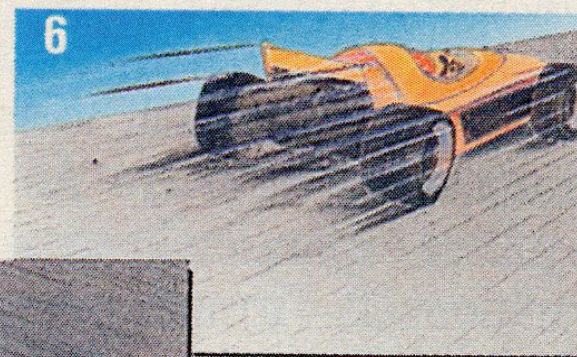
LES
GALAXIES
SPIRALES
TOURNENT
SUR
ELLES
MÊMES!



UNE MESURE DE LA VITESSE: L'EFFET DOPPLER:



4 Bolide s'approchant



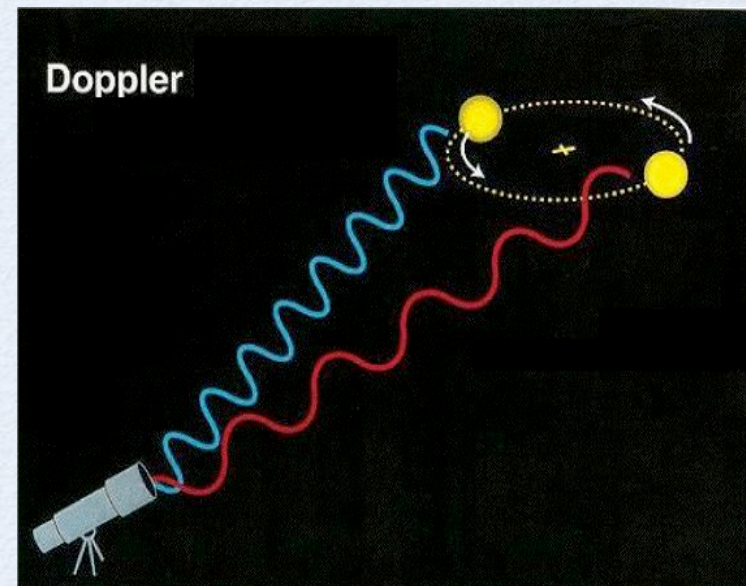
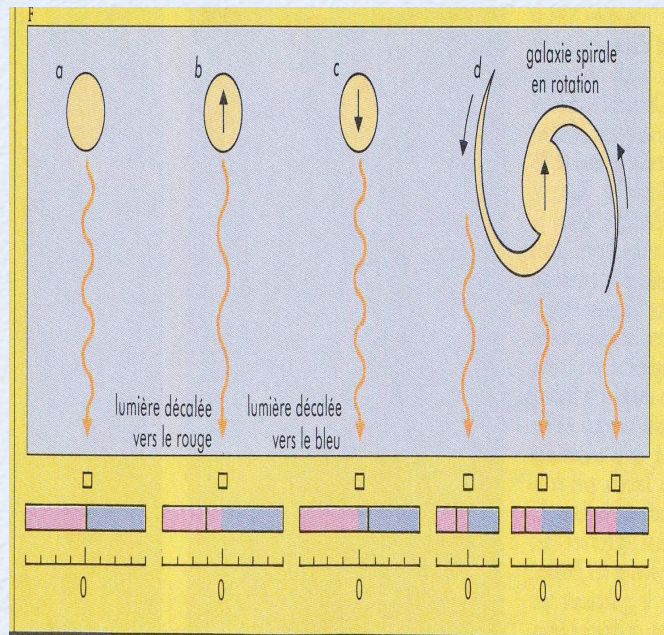
Bolide s'éloignant



Bolide passant devant l'observateur

EFFET DOPPLER SUR LA LUMIÈRE ÉMISE PAR LA GALAXIE:

ON MESURE LA VITESSE EN CHAQUE POINT

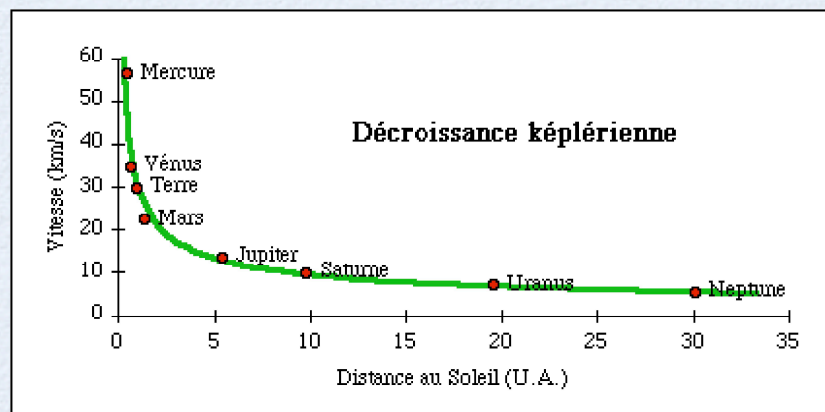
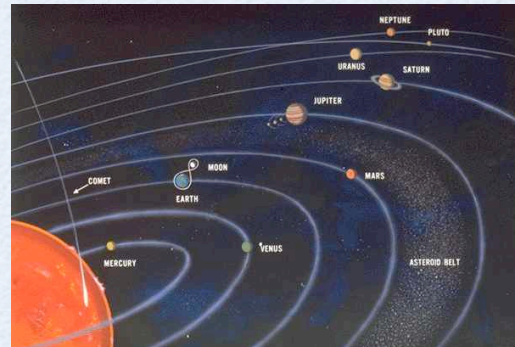


On construit la *“courbe de rotation”* c’est à dire comment la *vitesse varie en fonction de la distance* au centre

DÉDUIRE LA MASSE À PARTIR DE
LA VITESSE:
PROBLÈME DE MÉCANIQUE BIEN
CONNU
GRÂCE À KÉPLER ET NEWTON

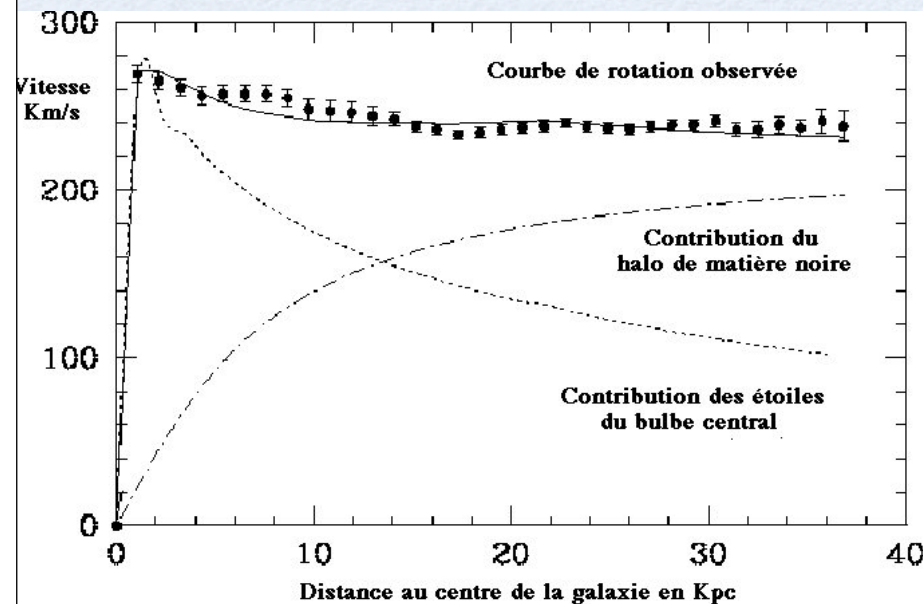


*Galaxie Spirale
et système planétaire
se ressemblent*

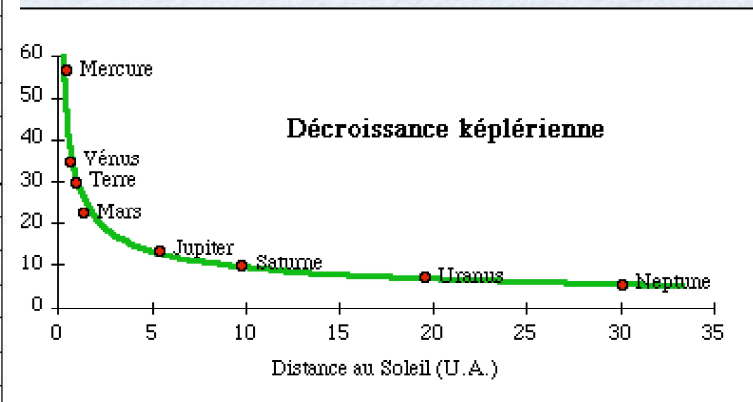


MAIS SURPRISE!!!

La courbe de rotation observée est quasiment plate!

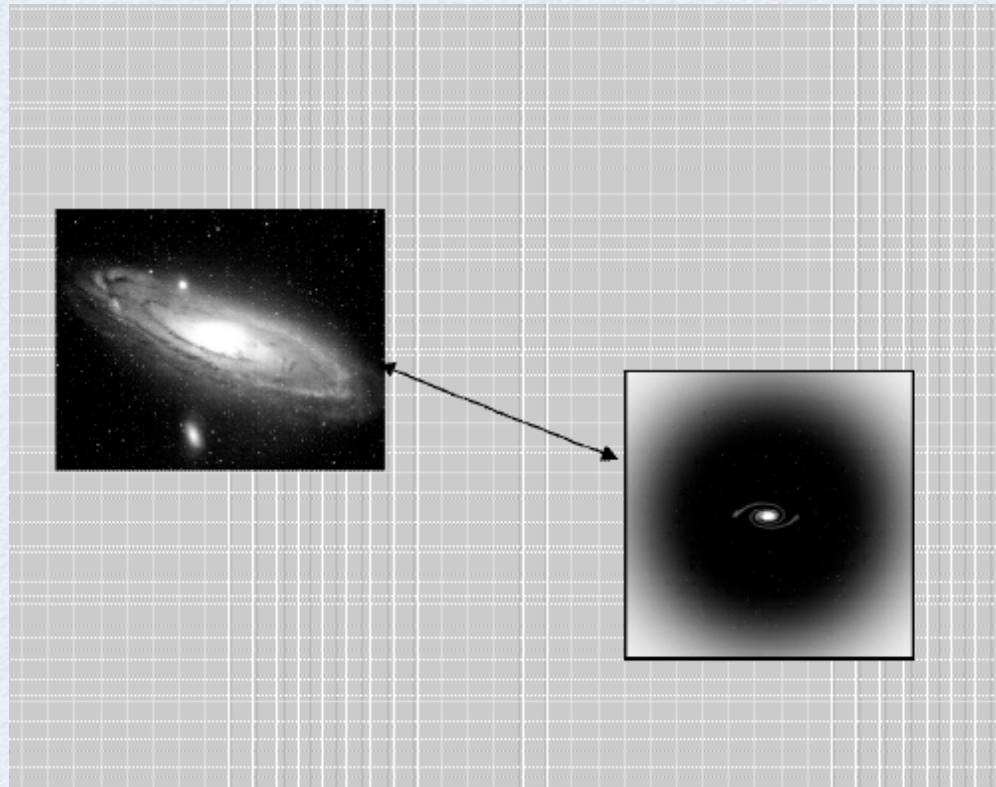


Pour expliquer cela: on doit supposer l'existence d'un "halo de matière noire"

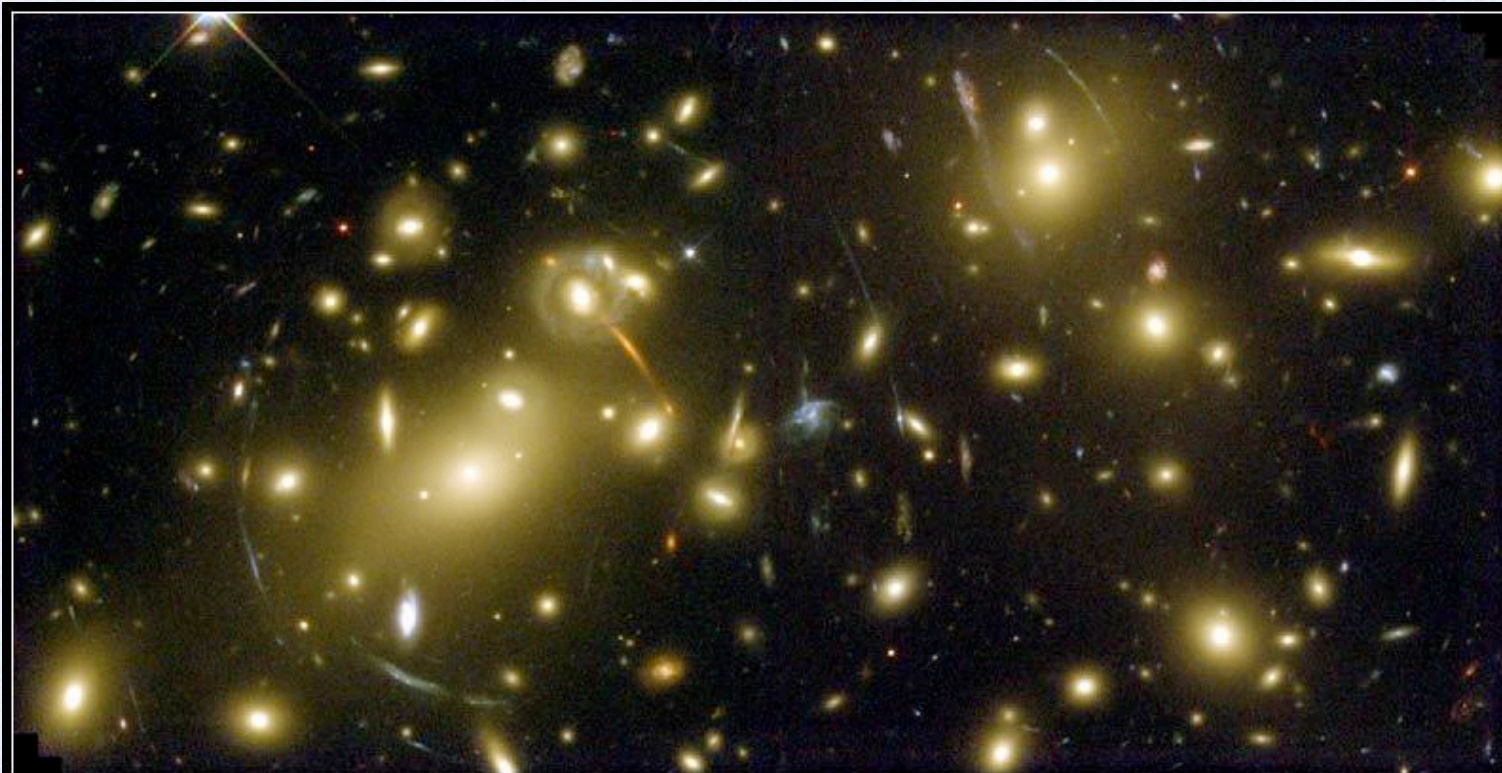


EN CONSEQUENCE

LA PARTIE
"VISIBLE" DE LA
GALAXIE:
LA POINTE
D'UN
"ICEBERG":
UN HALO
DE
MATIÈRE
NOIRE



UNE AUTRE "ÉVIDENCE": DES MIRAGES DANS LE CIEL !

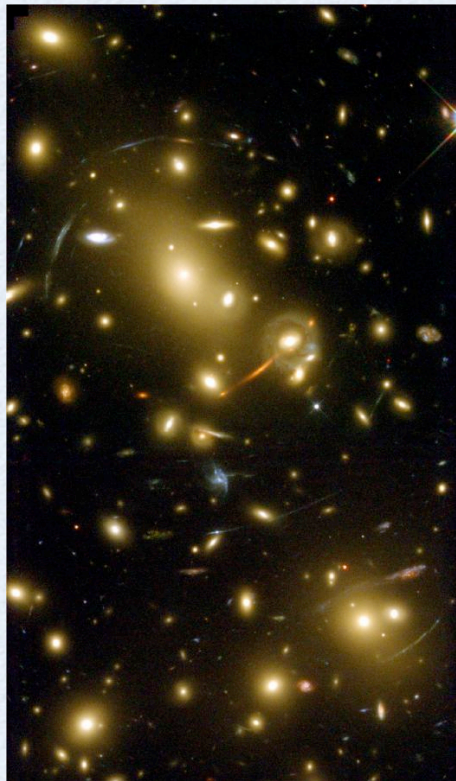


Galaxy Cluster Abell 2218

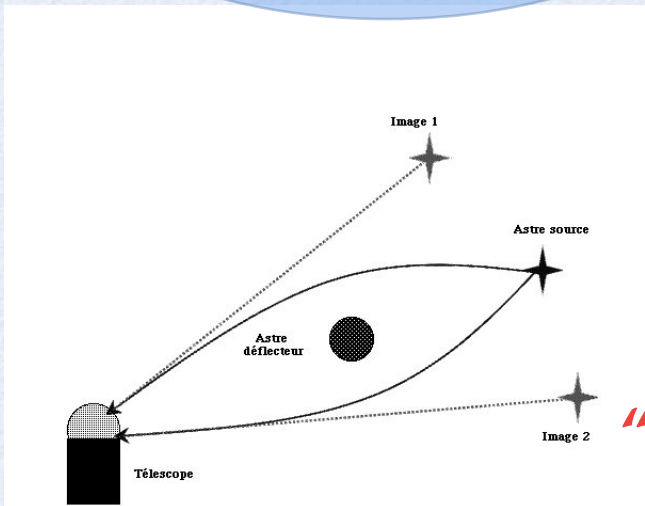
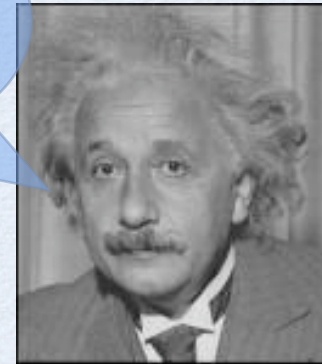
HST • WFPC2

NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI, ST-ECF) • STScI-PRC00-08

DE LA MATIÈRE NOIRE DANS LES AMAS DE GALAXIES NÉCESSAIRE POUR EXPLIQUER CES MIRAGES



TOUTE MASSE DEVIE
AUSSI
LES RAYONS LUMINEUX

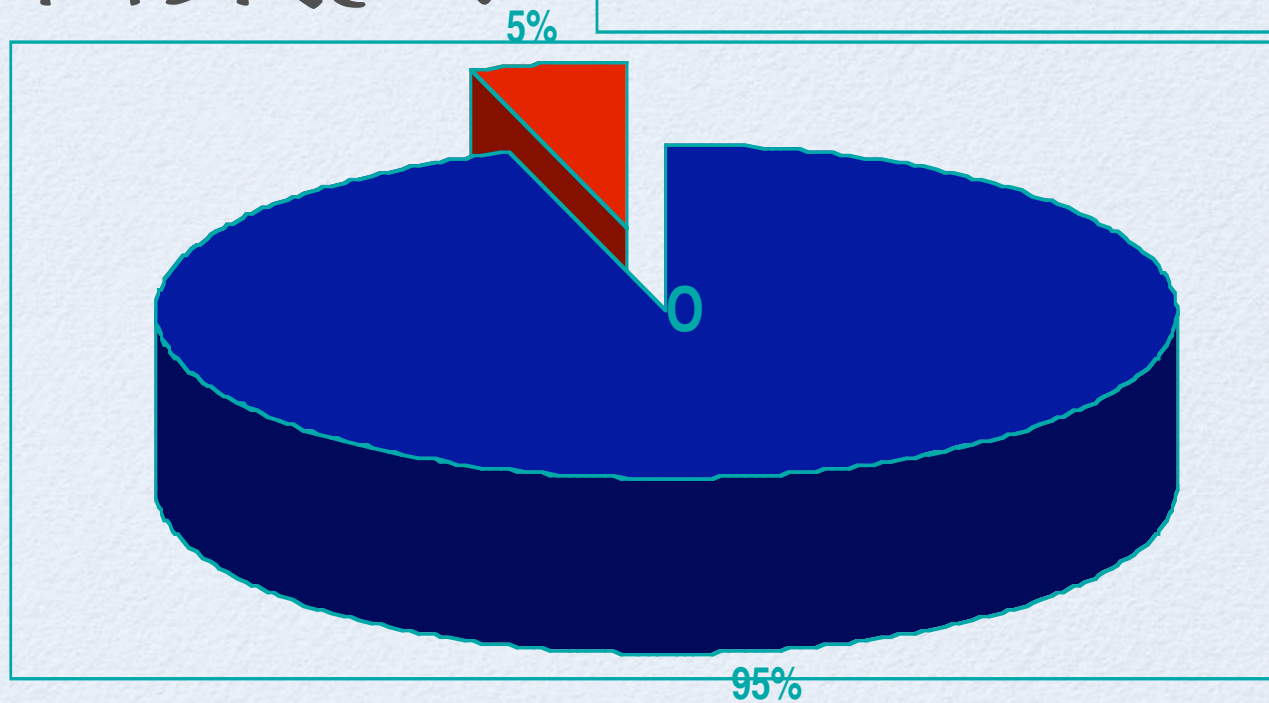


Effet
de
“mirages”
gravitationnels

UN BILAN DE MATIÈRE BIEN "SOMBRE" !

■ MATIERE NOIRE

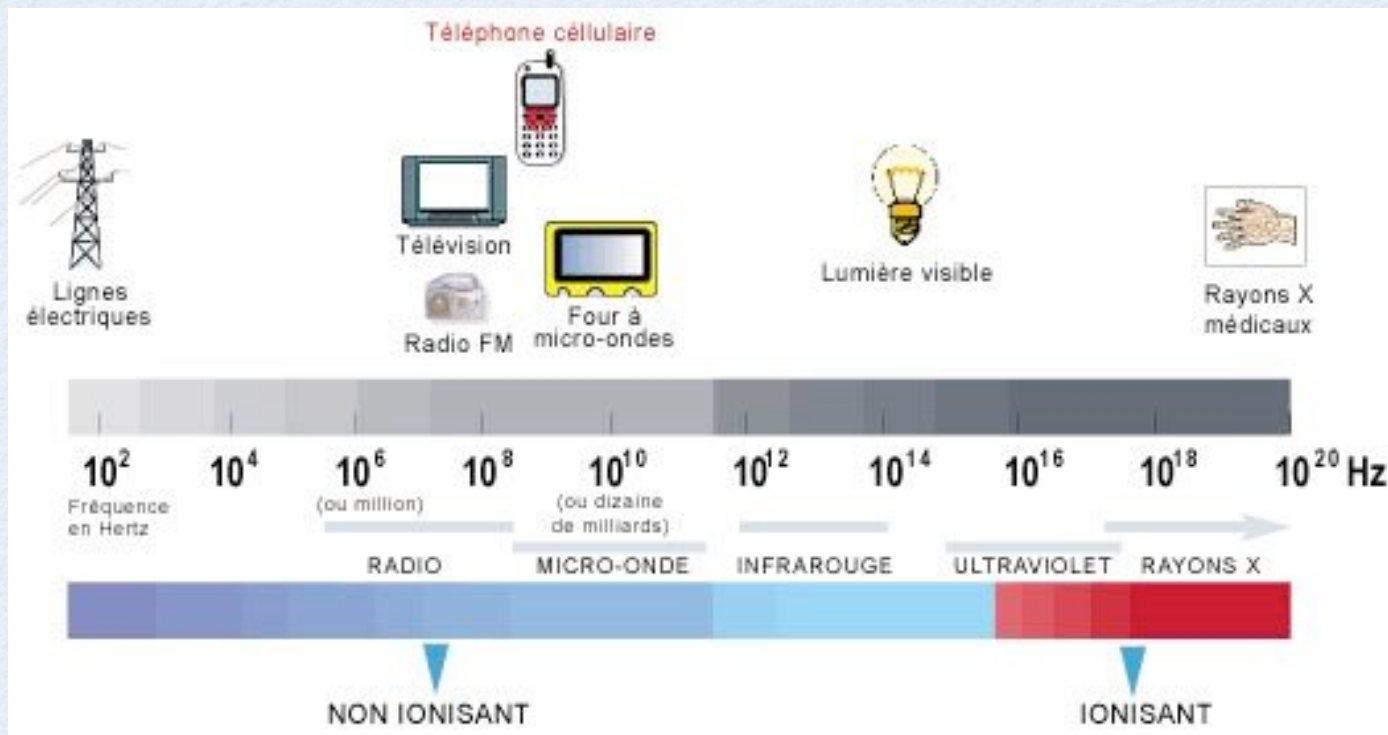
■ ORDINAIRE



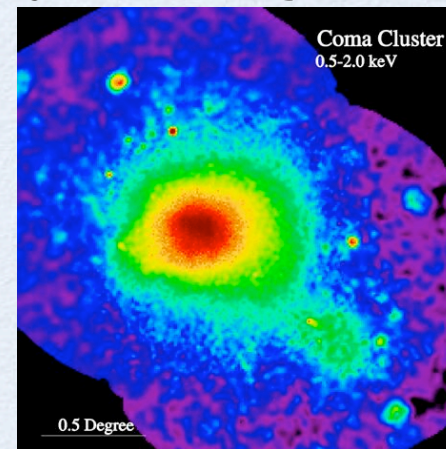
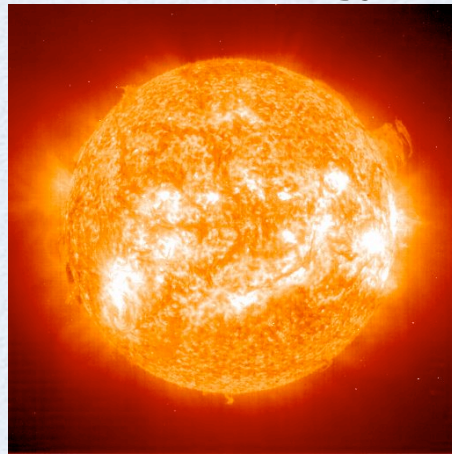
PEUT ÊTRE EN A T-ON RATE !!

MAIS PAS UN PROBLEME DE DETECTION!

LA MATIERE ORDINAIRE "RAYONNE"



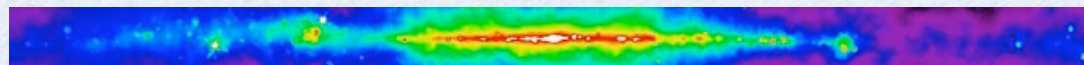
LA MATIERE ORDINAIRE EST DETECTEE EN
TOUTES LONGUEURS D'ONDE



SOLEIL EN UV ET L' AMAS COMA EN RAYONS X



INFRA ROUGE



RADIO



VISIBLE

LA VOIE LACTEE

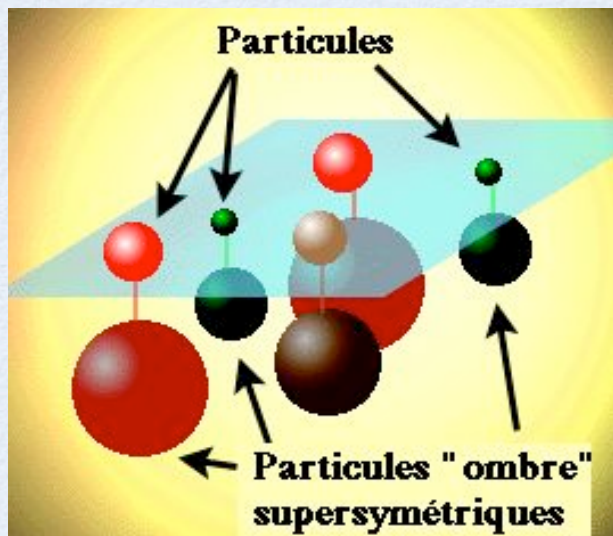
QU'EST CE DONC ALORS ?

Théorie(s) en développement :
chaque particule "ordinaire"
a un partenaire supersymétrique.

Une de ces particules

le neutralino,

**pourrait être
la candidate pour la matière noire**



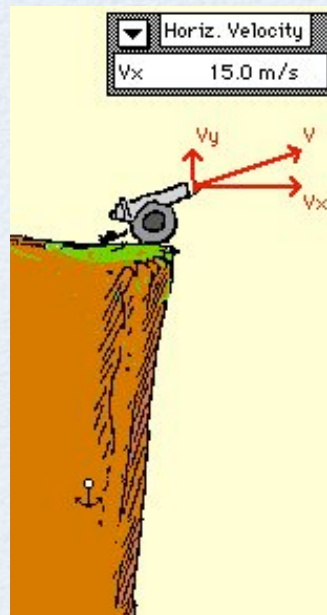
- **Ni proton, neutron
électron , neutrino du
modèle *standard* de
physique des particules .**

	MATIERE	ATOME	NOYAU	PROTON
FERMIONS	LEPTONS		QUARKS	
1 ^{ère} famille (matière stable)	électron	neutrino électron	bas (down)	haut (up)
2 ^{ème} famille	muon	neutrino muon	étrange (strange)	charme (charm)
3 ^{ème} famille	tau	neutrino tau	beauté (beauty)	sommet (top)
BOSONS Messagers des Forces	photon	bosons vecteurs	gluon	graviton

**Les particules de matière noire: un
objet de recherche en laboratoire!
Il y en a plusieurs centaines dans
chaque cm³ cette pièce!!!**



MAIS LES
SURPRISES NE
SONT PAS
ENCORE
TERMINEES...



**COMME ON L'A VU:
L'UNIVERS EST EN EXPANSION**

**ON S'ATTEND A CE QUE CETTE
EXPANSION SOIT
RALENTIE PAR LE CONTENU
EN MATIERE DE L'UNIVERS**

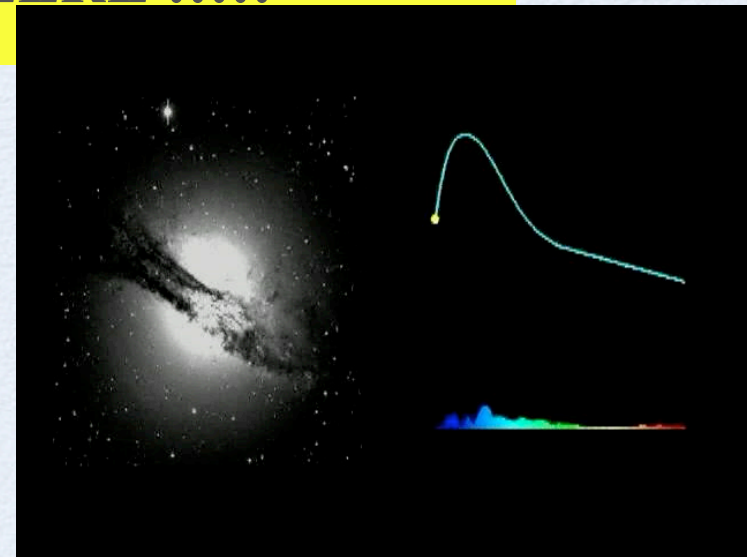
**MATIERE =
*GRAVITATION ATTRACTIVE***

LA DECOUVERTE DES ANNEES 95's: L'EXPANSION S'ACCELERE !!!!!



S. Perlmutter et al (95's)

+



MESURE L'ECLAT D'ETOILES
TRES BRILLANTES,
LES SUPERNOVAE, →
EN FONCTION DE
LEURS DISTANCES

La variation
de cet éclat en fonction
de la distance teste
l'expansion

- **L'EXPANSION EST ACCELEREE !**
- **GRAVITATION REPULSIVE ?**
- **ENERGIE NOIRE !!**

POUR COMPRENDRE
L'ORIGINE
DE CETTE
ENERGIE NOIRE
"REPULSIVE"

IL FAUT REMONTER
A
L'UNIVERS
TRES PRIMORDIAL

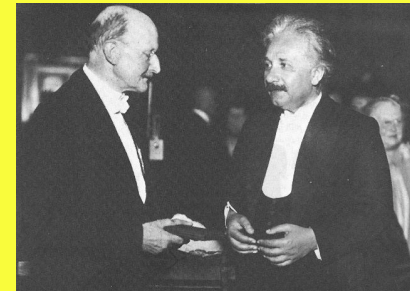
L'UNIVERS TRES PRIMORDIAL !!

- **TEMPS DE PLANCK $\sim 10^{-43}$ s**

**A CES ECHELLES DE TEMPS,
CORRESPONDENT DES DIMENSIONS ET DES ENERGIES
TELLES QUE
LA PHYSIQUE ORDINAIRE NE S'APPLIQUE PLUS !**

**L'UNIVERS:
EST UN
« SYSTEME QUANTIQUE »**

!!!!!!



L'ENERGIE DU « VIDE » !

UN « SYSTEME QUANTIQUE »

POSSEDE

DES

PROPRIETES INHABITUELLES

- En physique « classique », un pendule sera au repos sauf si on "l'excite"
- En Mécanique Quantique: il est toujours en mouvement

Il possède une énergie minimum !

- Un « système quantique » a toujours une énergie minimum non nulle appelée « Energie du vide »

LE VIDE (QUANTIQUE) N'EST PAS VIDE = ENERGIE !

ZZZZ



**HEUREUSEMENT
LES THEORICIENS
SONT AU TRAVAIL !**

QUID DE "L'ENERGIE DU VIDE" POUR LE « SYSTEME UNIVERS »?

- Extrapolé à l'Univers:
 - L'UNIVERS PRIMORDIAL GOUVERNE PAR
L'ENERGIE DU "VIDE QUANTIQUE"
 - CETTE "ENERGIE NOIRE"
DOMINERAIT
DE NOUVEAU L'UNIVERS ACTUEL
(14 MILLIARDS D'ANNEES APRES)!

UNE PROPRIETE BIEN ETRANGE
MAIS BIEN UTILE !

- **ELLE A LA PROPRIETE D'ETRE UNE
SOURCE DE**

« *GRAVITATION REPULSIVE* »

(CONTRAIREMENT A LA MATIERE

ORDINAIRE OU NOIRE)



ACCELERE ALORS L'EXPANSION

COMME ON L'OBSERVE

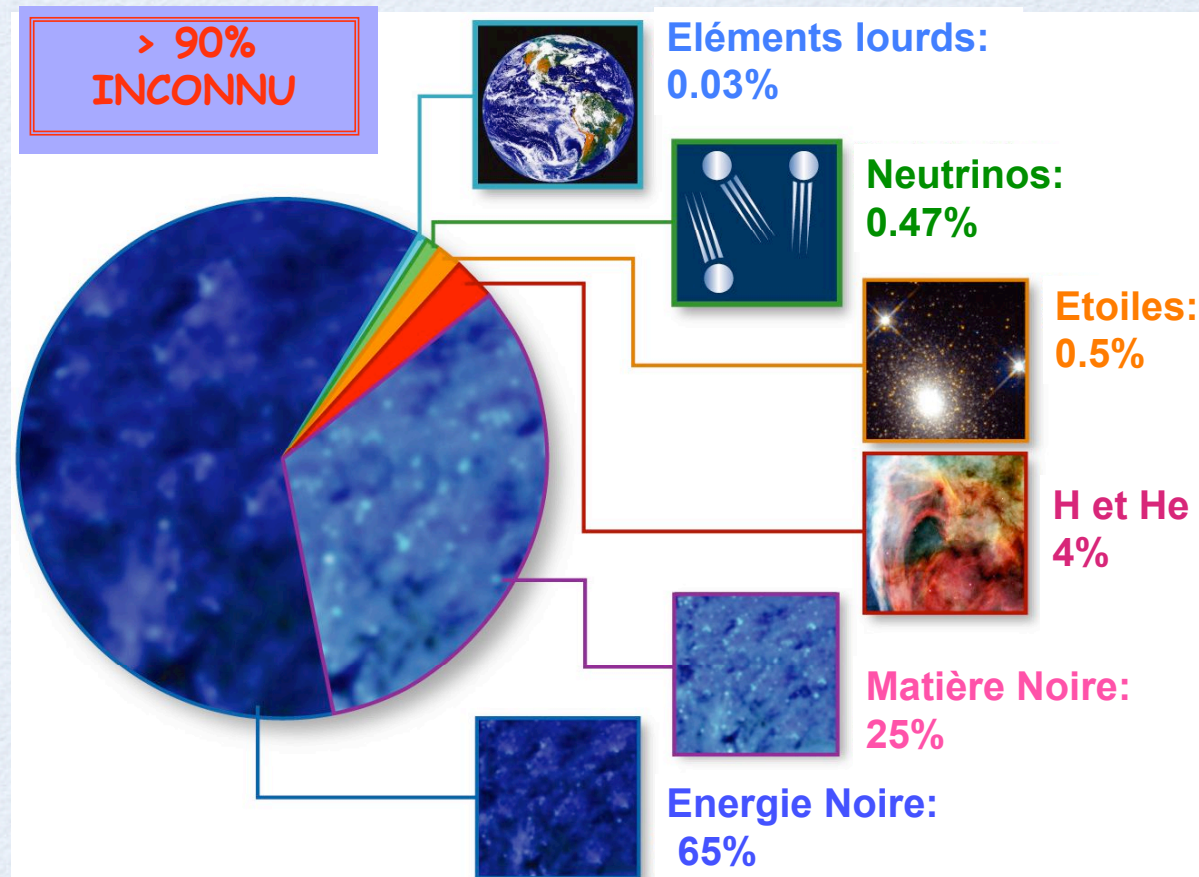
LE TOUR EST TERMINE!

ON PEUT
ALORS
FAIRE LE
BILAN GLOBAL
EN
ENERGIE-MATIERE

LE BILAN COMPLET ENERGIE-MATIERE

Un Univers
en
Clairs-obscurs

Mais où
"l'obscur"
domine
sur
"le clair"





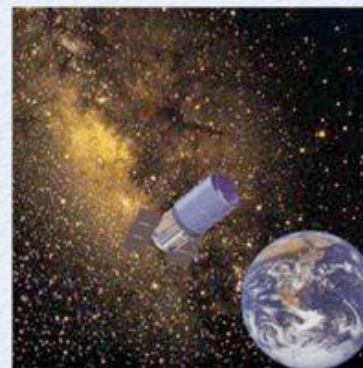
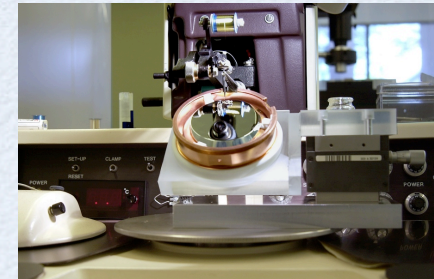
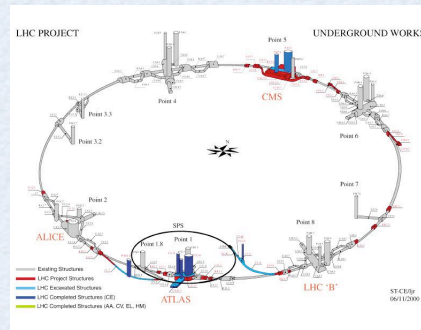
IL EST TEMPS

DÉ

CONCLURE

LA QUÊTE DE LA MATIÈRE NOIRE ET DE L'ÉNERGIE NOIRE

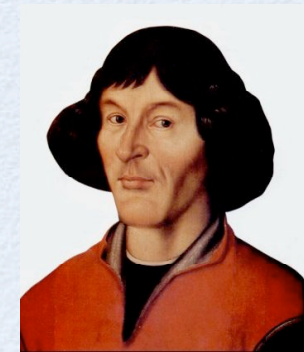
*Une entreprise
où se rejoignent
astrophysique et
physique
fondamentale*



CONCLUSIONS: DE NOUVELLES REVOLUTIONS COPERNICIENNES?

A côté de son intérêt
astronomique, l'oeuvre de
Copernic eut une portée
philosophique immense.

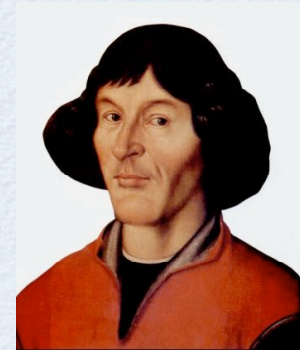
Elle marqua l'un des tournants
essentiels de la pensée, ébranlant la
vision médiévale
du monde qui plaçait l'Homme au centre
d'un Univers fait pour lui.



COPERNIC
1473- 1543

NI LA TERRE/NI LE SOLEIL/NI LA VOIE LACTEE/
NI L'HOMME NE SONT PAS AU CENTRE DE
L'UNIVERS

ON SAIT MAINTENANT
QUE L'HOMME N'EST EN FAIT QUE
"POUSSIERES D'ETOILES"



ELLES MEMES INFIMES VAGUELETTES
D'UN OCEAN DE MATIERE ET D'ENERGIE ISSUES DES INSTANTS
LES PLUS PRIMORDIAUX DU BIG BANG ET D'UNE NATURE
DIFFERENTE DE NOUS ET ENCORE A DECOUVRIR!