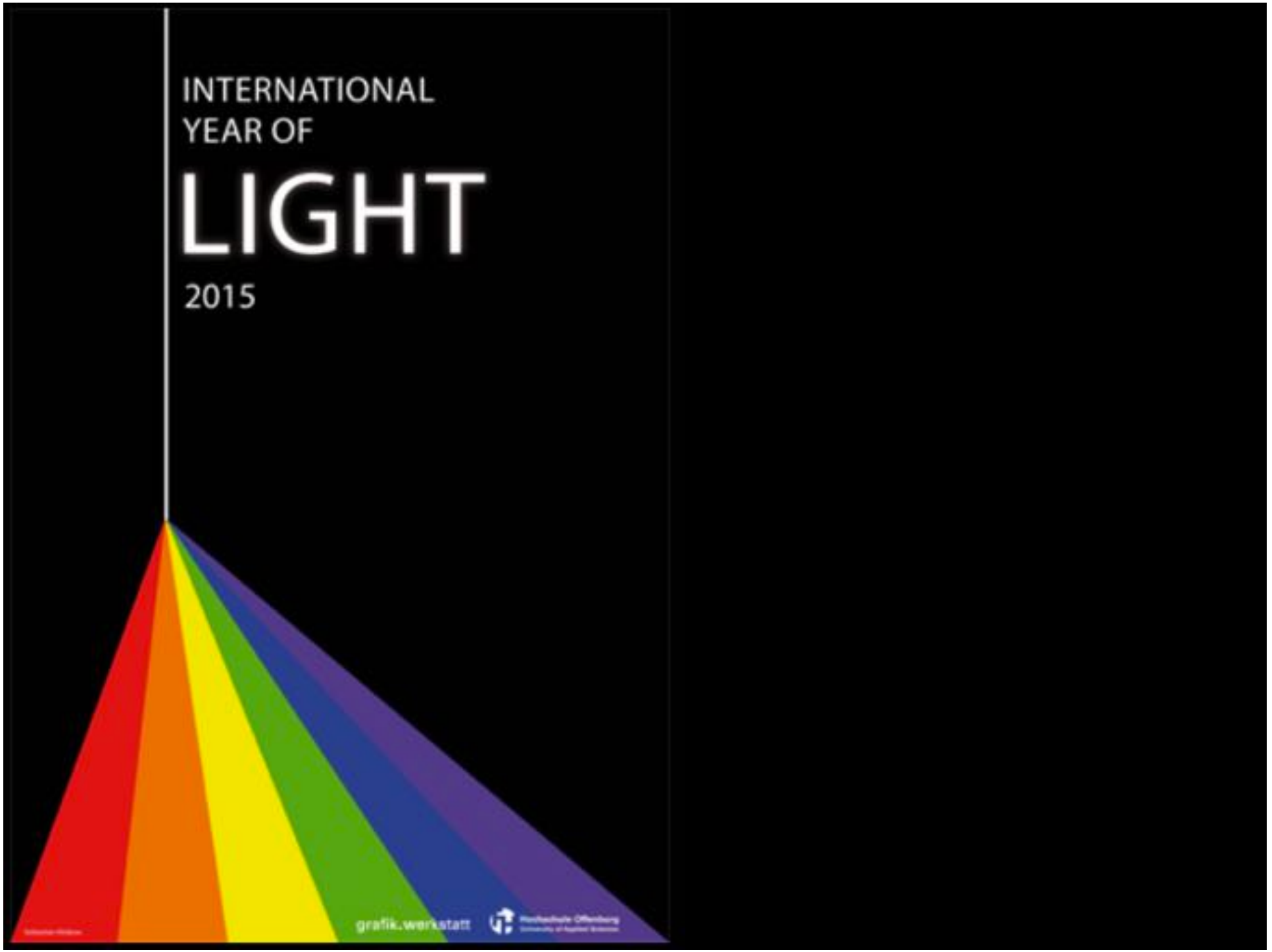
Lumière sur le côté obscur de l'Univers

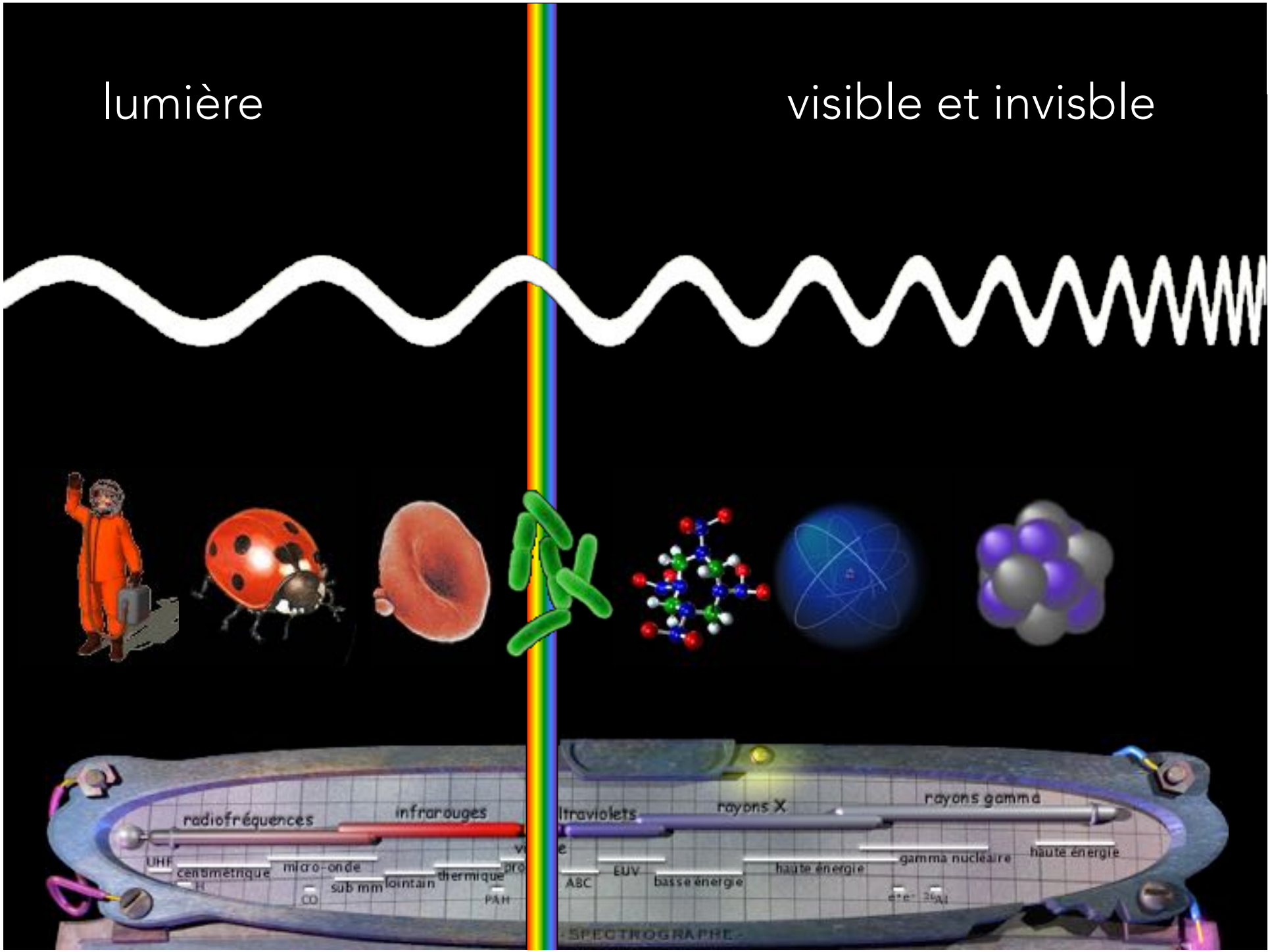
Peter von Ballmoos, IRAP Toulouse

la lumière qui nous parvient des astres
nous inspire bon nombre "d'idées noires" ...

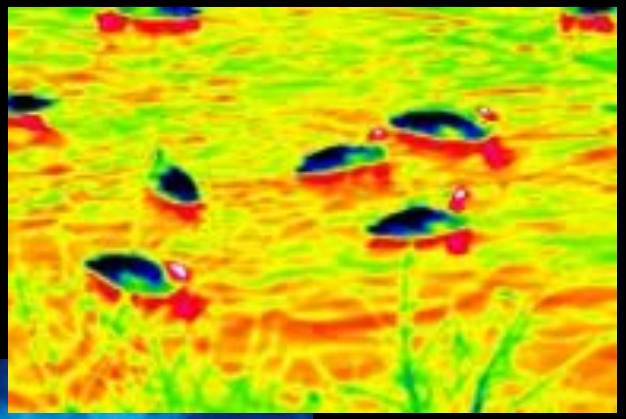
ciel nocturne noir
nébuleuses sombres
trous noirs
matière noire
énergie sombre

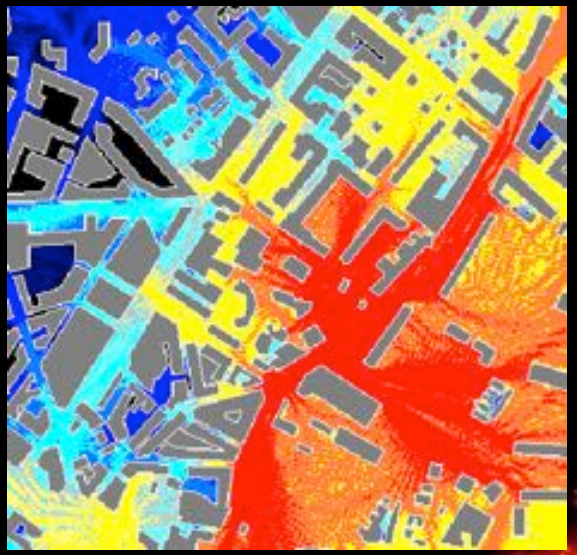

INTERNATIONAL
YEAR OF
LIGHT
2015
grafik.werkstatt

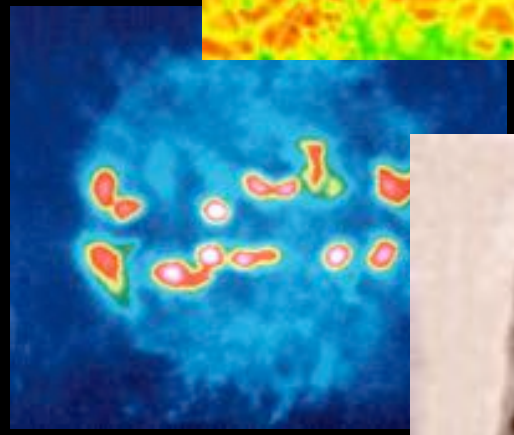

LIGHT
INTERNATIONAL YEAR OF LIGHT
2015
YEAR OF LIGHT
2015
LIGHT
2015
CLICK
2015
INTERNATIONAL YEAR OF LIGHT
2015 INTERNATIONAL YEAR OF LIGHT
2015
INTERNATIONAL YEAR OF LIGHT
LIGHT
2015
INTERNATIONAL YEAR OF LIGHT
2015
INTERNATIONAL YEAR OF LIGHT
2015
HOW A PHOTON IS BORN
2015


lumière
visible et invisble
radiofréquences
infrarouges
UHF
centimetrique
micro-onde
sub mm
lointain
thermique
CD
PAH
ltraviolets
rayons X
rayons gamma
e
EUV
ABC
basse énergie
haute énergie
gamma nucléaire
haute énergie
SPECTROGRAPHE

Imaginer l'Univers invisible ?







Comment imaginer *mon* Univers ?

Comment classer les images de *mon* Univers ?

1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015

date

Comment classer les images de *mon* Univers ?

cm m km

taille

Comment classer les images de *mon* Univers ?

rouge orange jaune vert bleu violet

couleurs


lumière visible ?

lumière visible ?

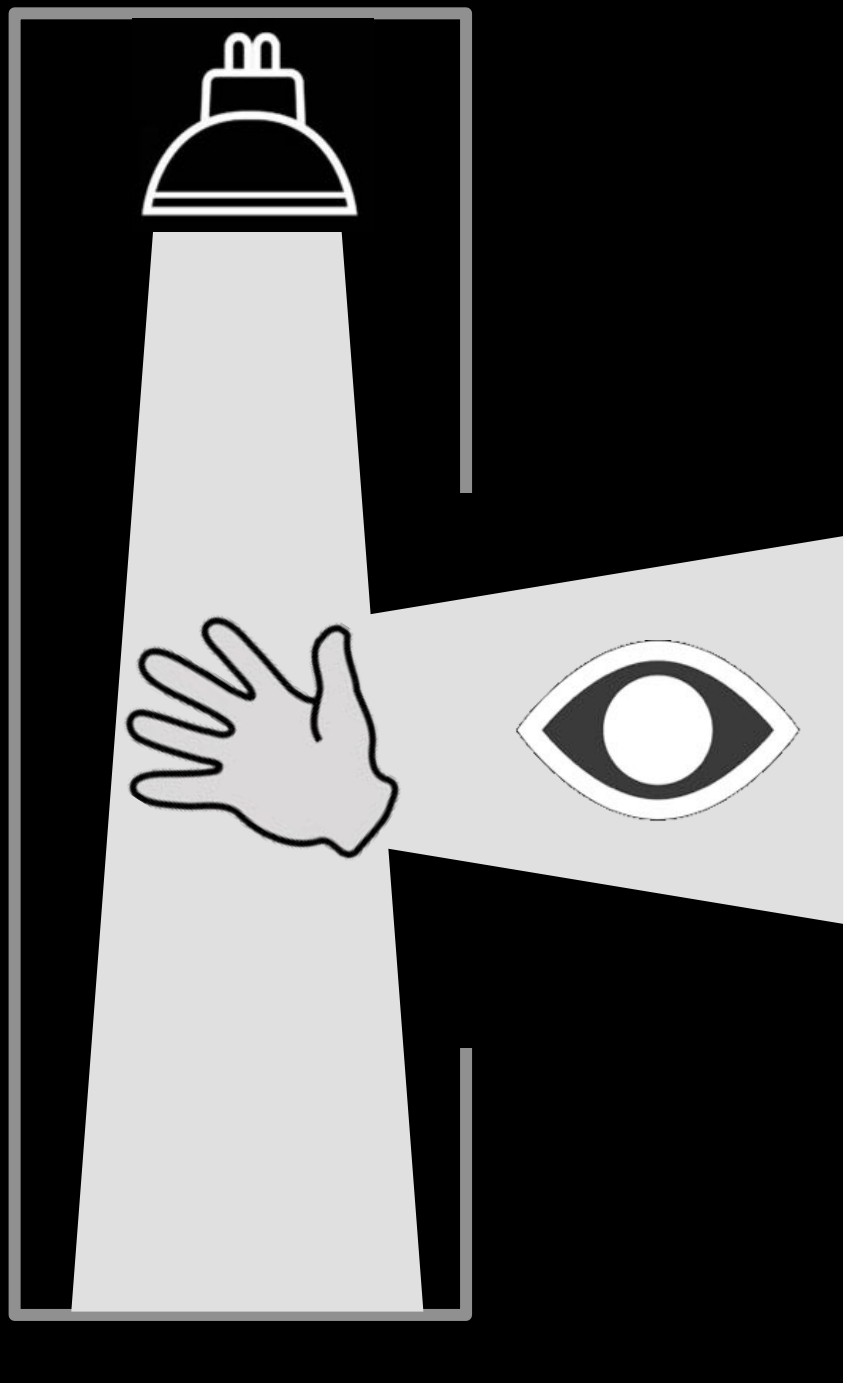
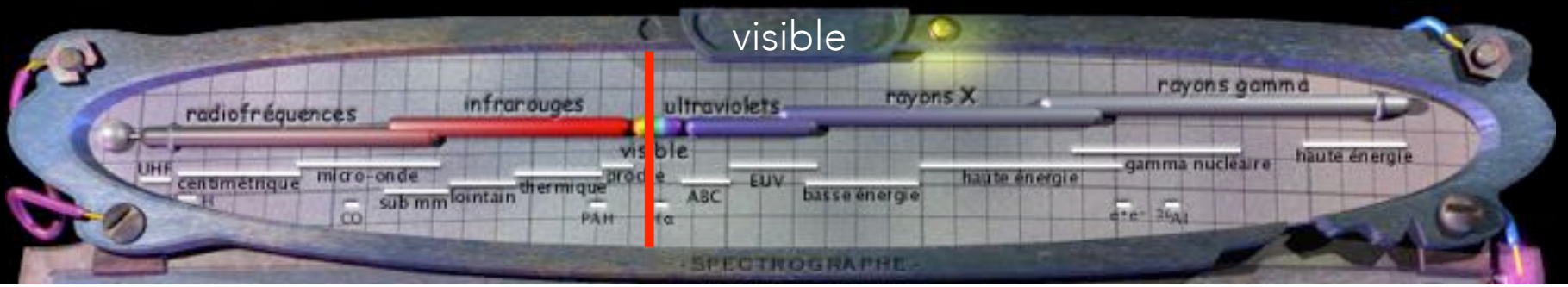
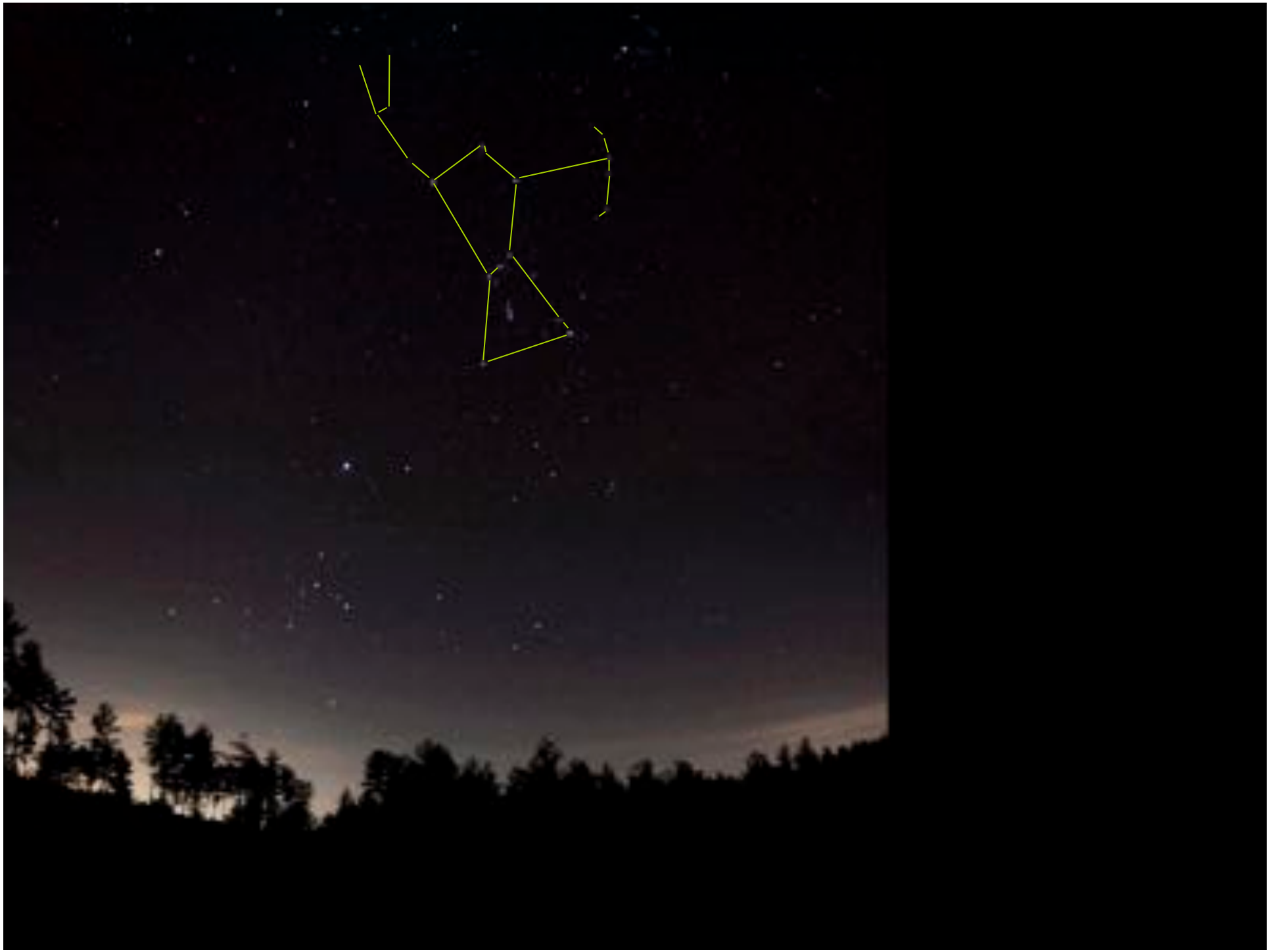
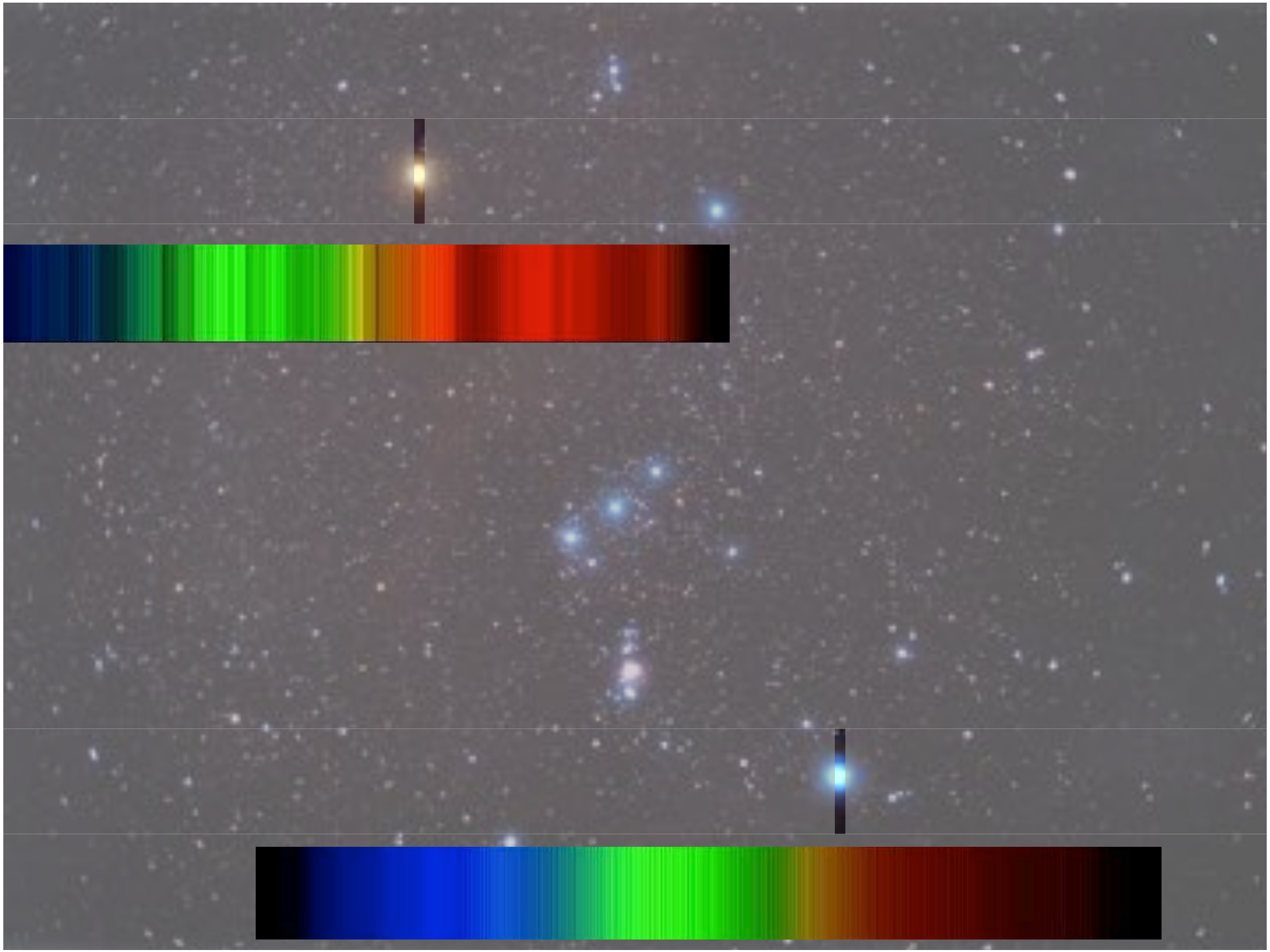


tableau de bord : lumière visible

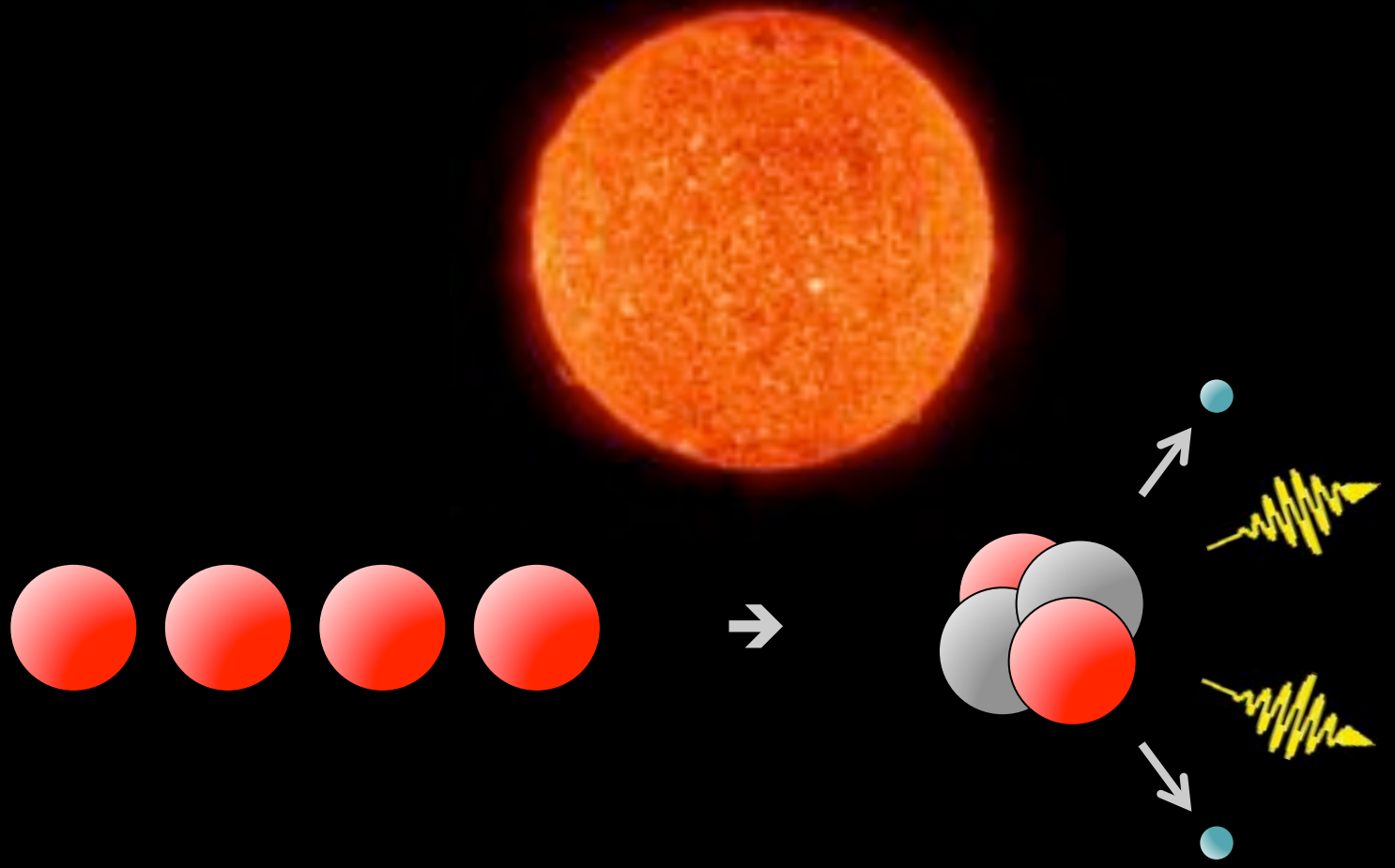



visible
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma



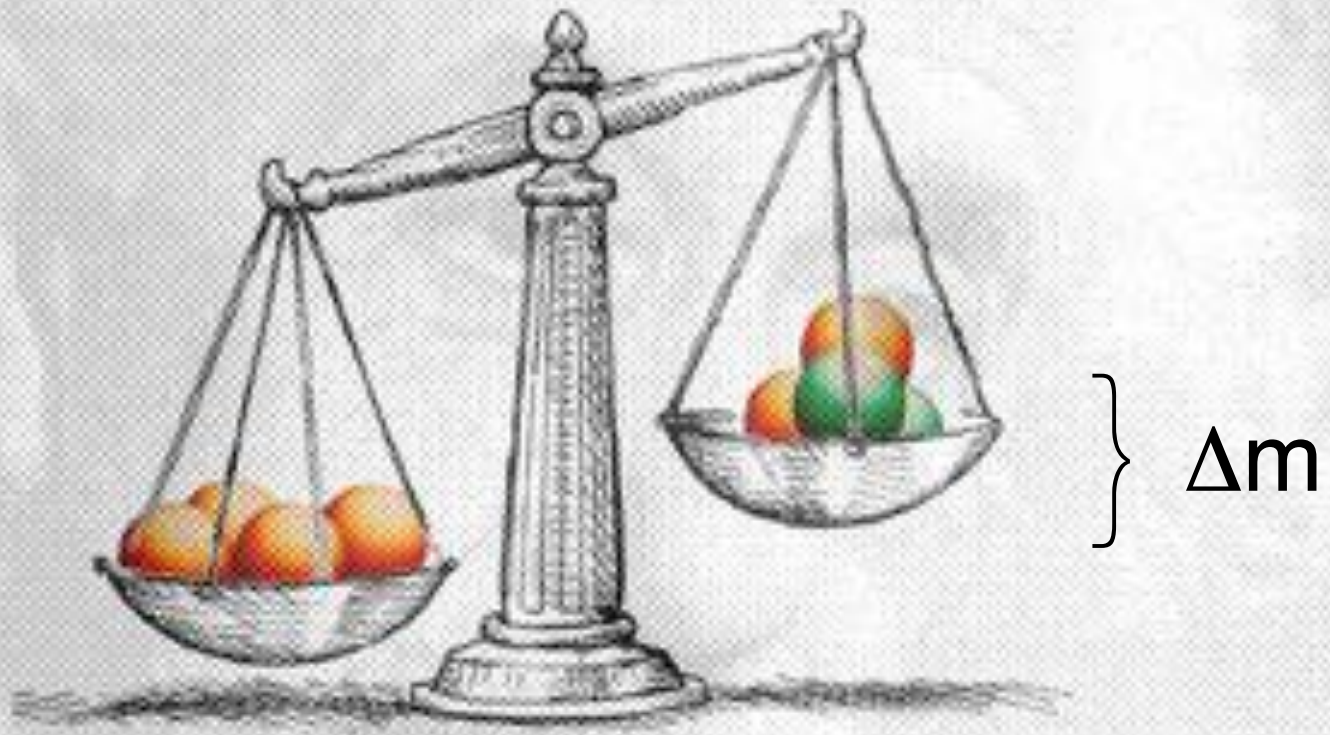


La fusion H ➔ He dans le Soleil



4 H ➔ 4 He + $2e^{+}$ + 2 ν + énergie

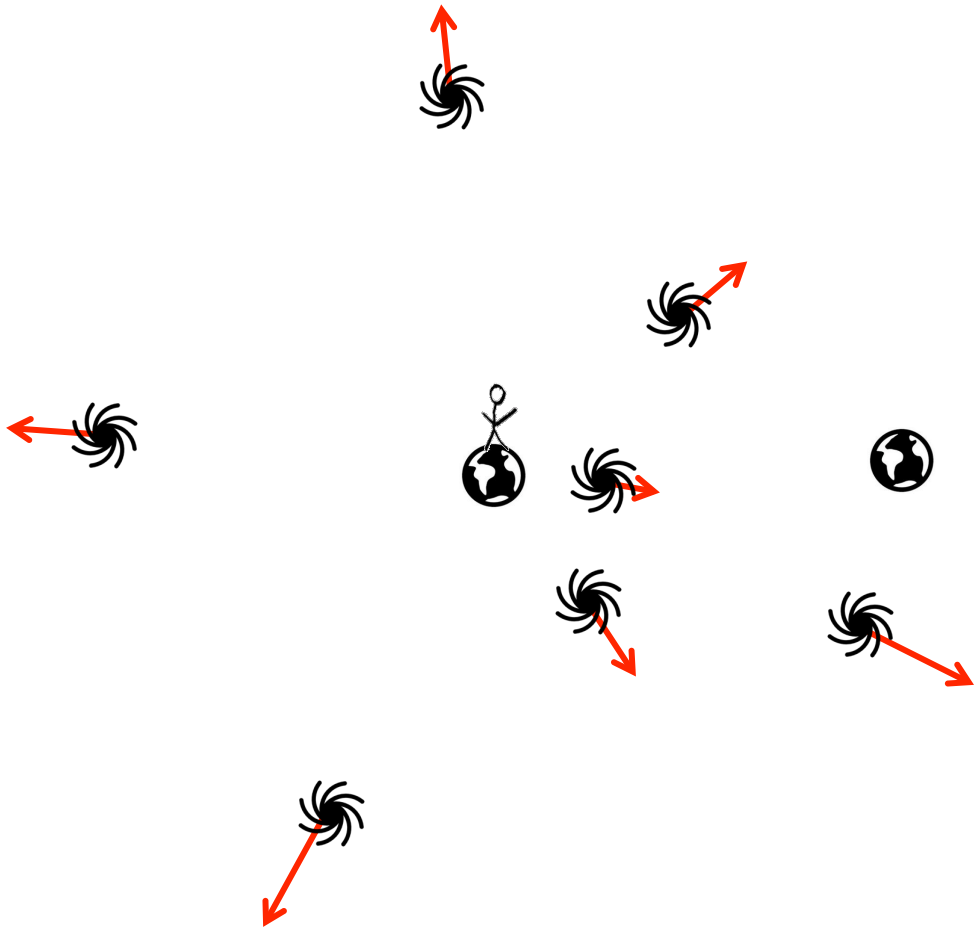
$E = mc^2$



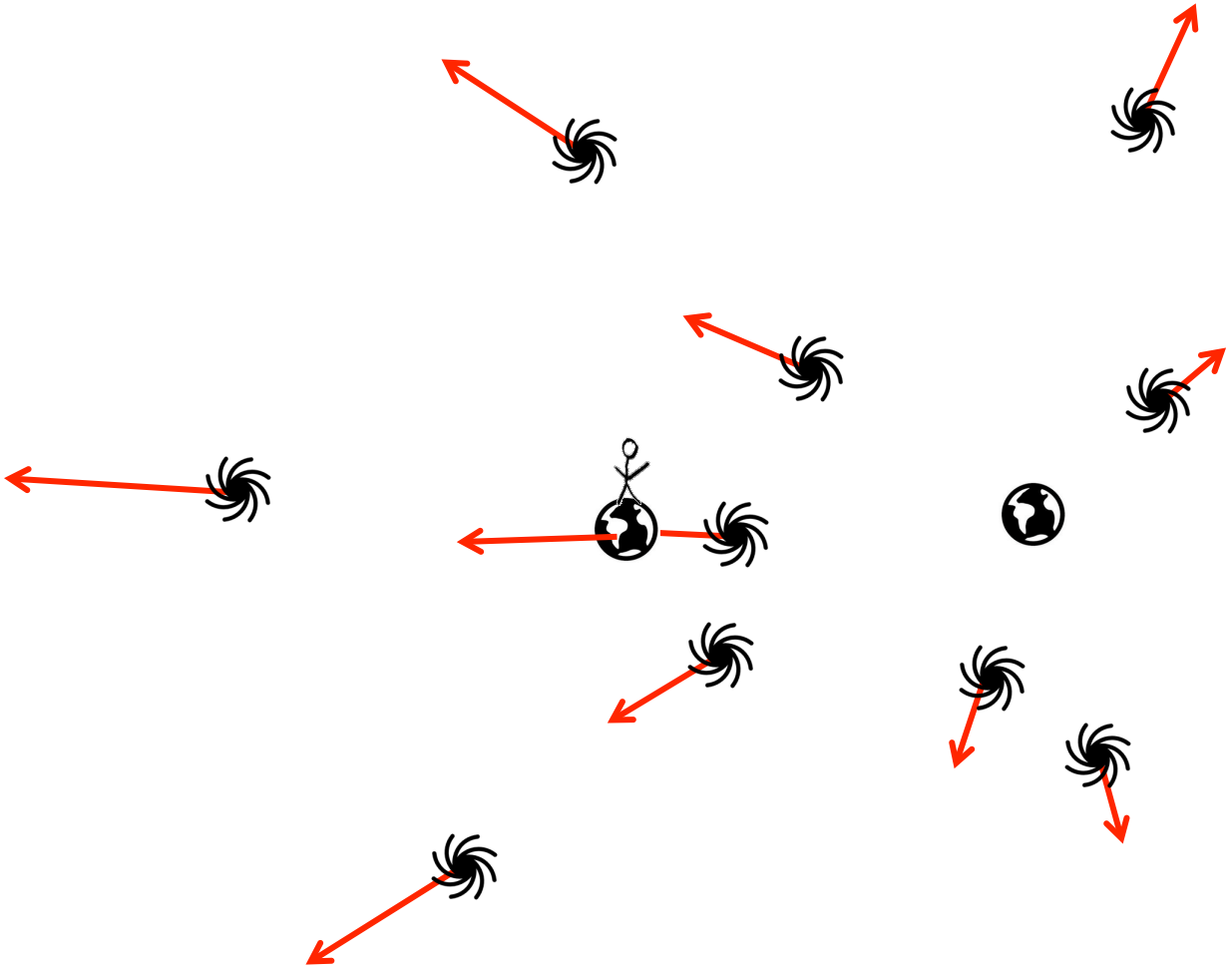
Δm


la récession des galaxies

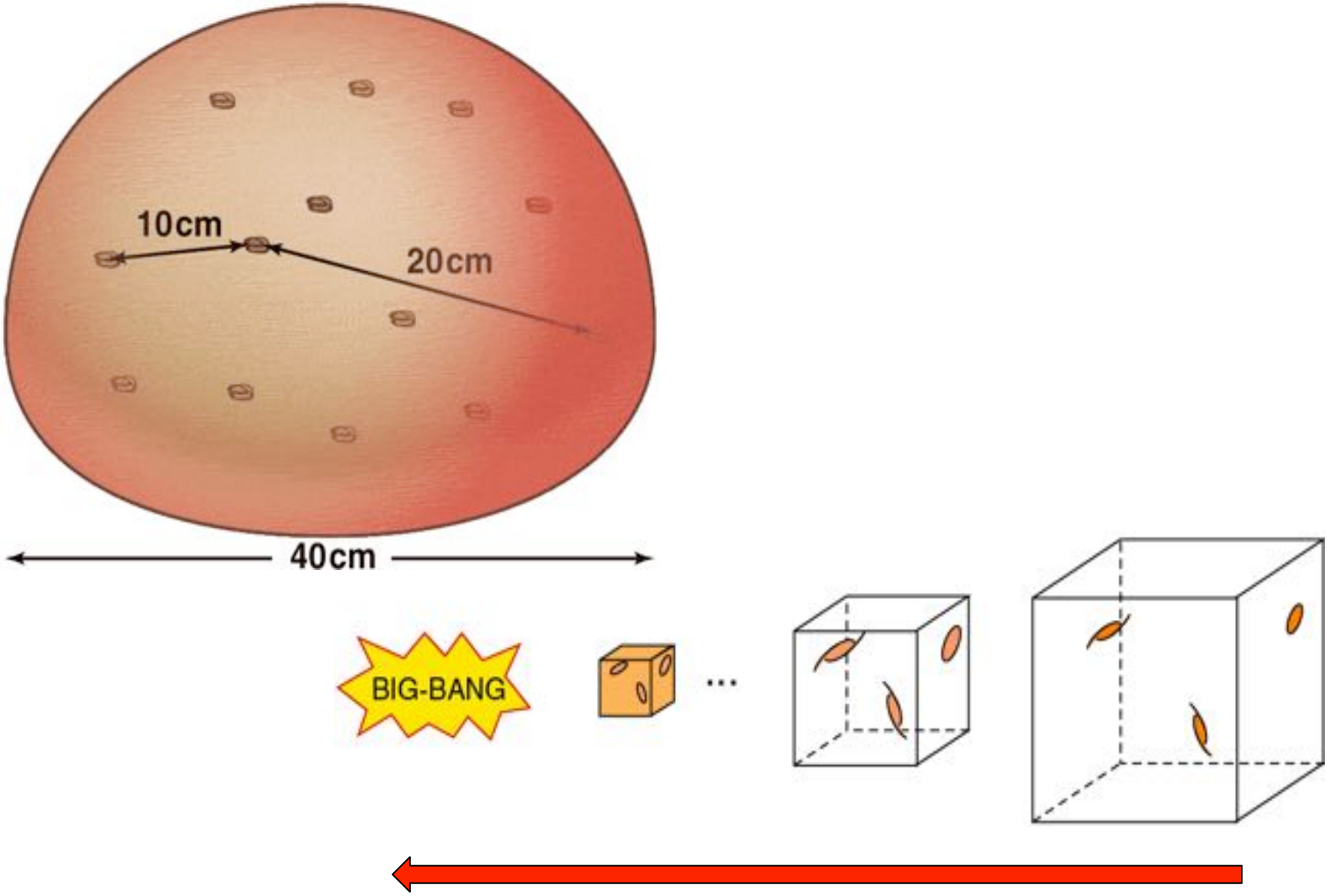
la récession des galaxies



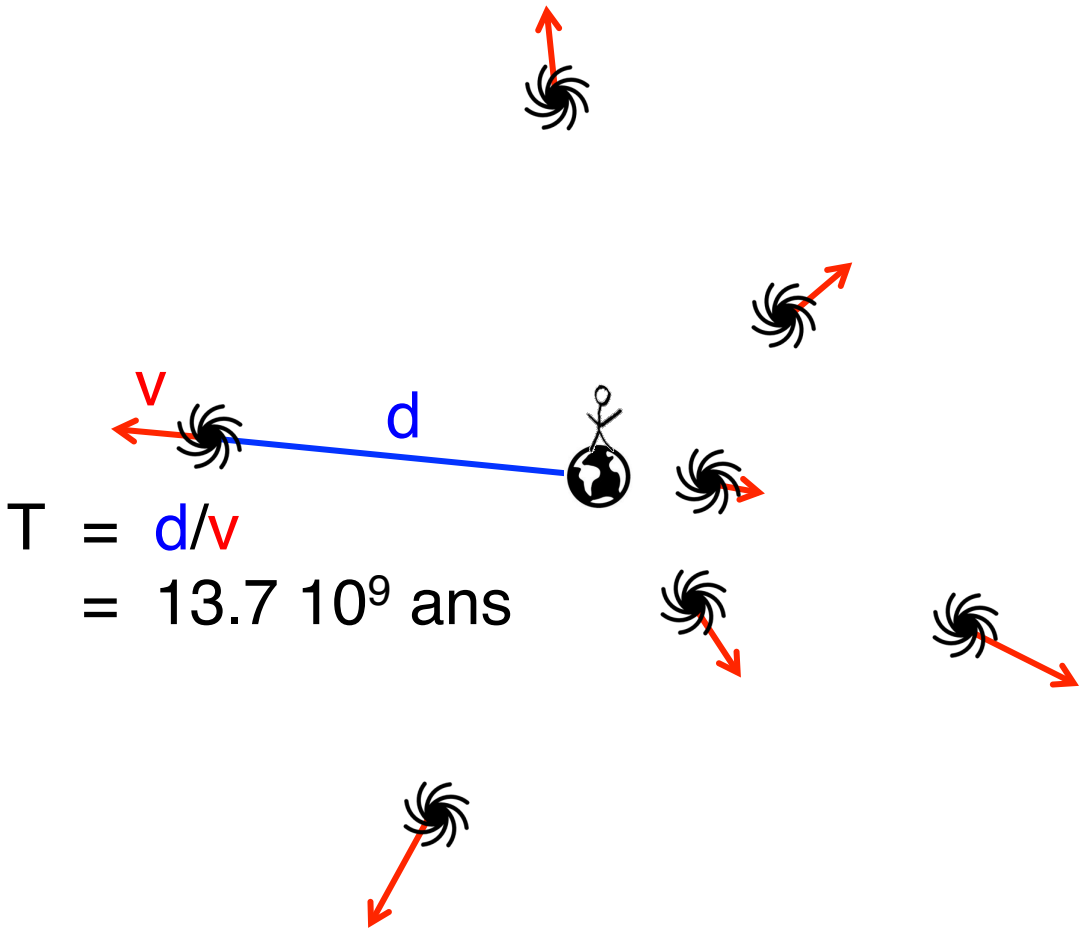
la récession des galaxies



l'expansion de l'Univers



l'expansion de l'Univers



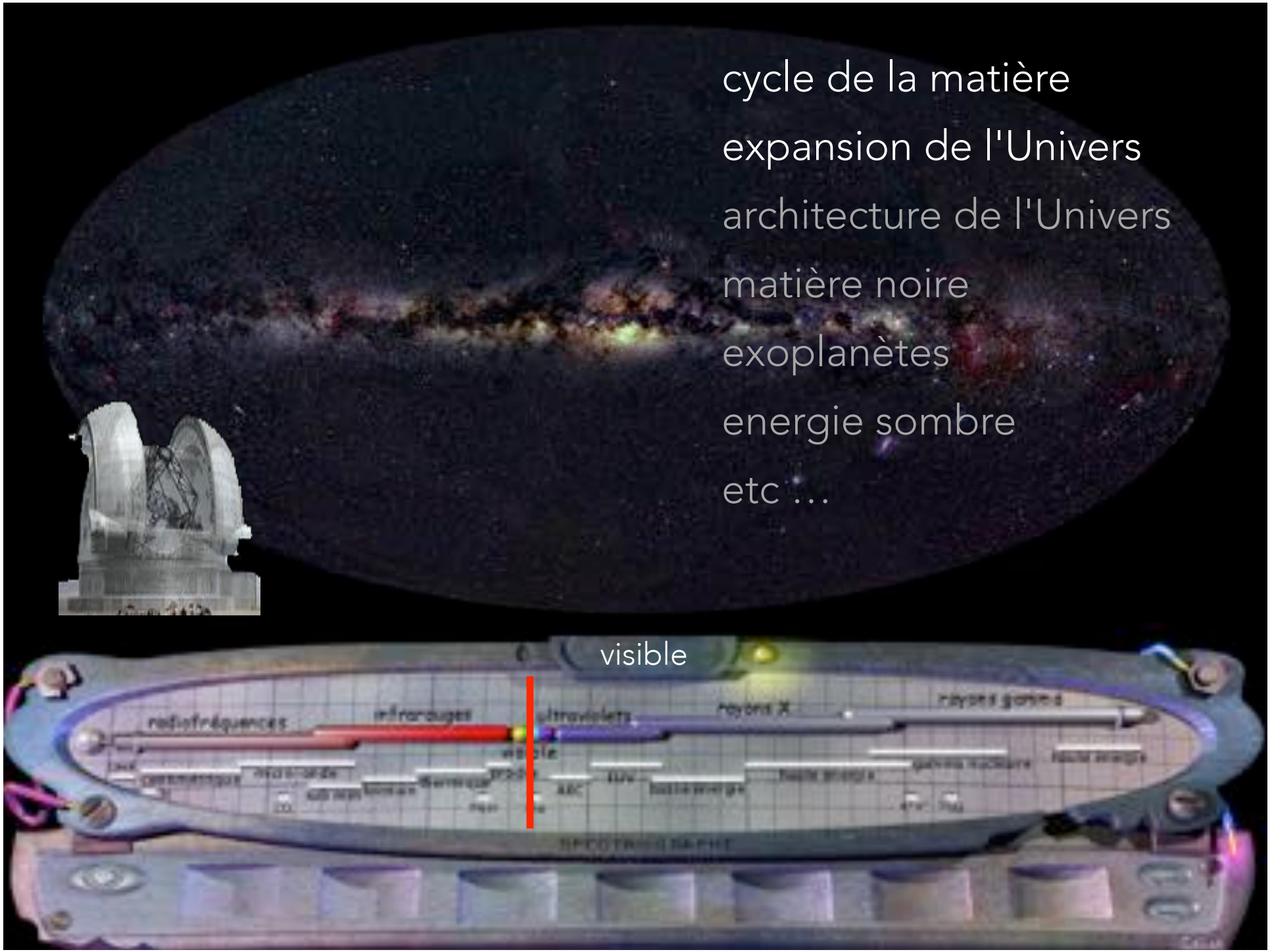
$T = d/v$

$= 13.7\ 10^9$ ans


lumière visible ...

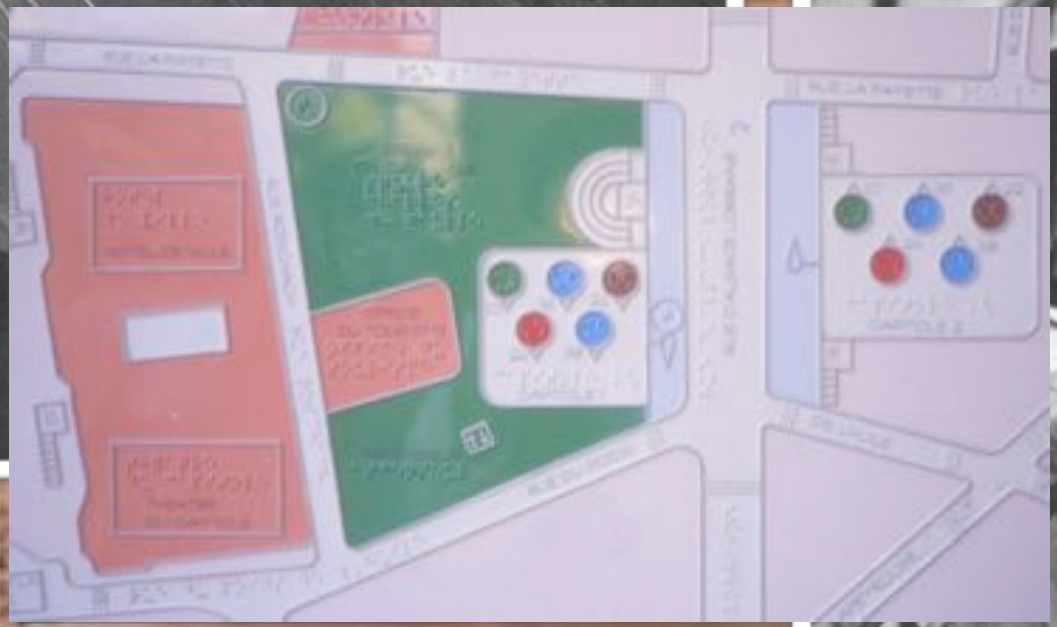

sombre

Paradoxe d'Olbers


cycle de la matière
expansion de l'Univers
architecture de l'Univers
matière noire
exoplanètes
energie sombre
etc ...
visible
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma

Comment imaginer l'invisible ?

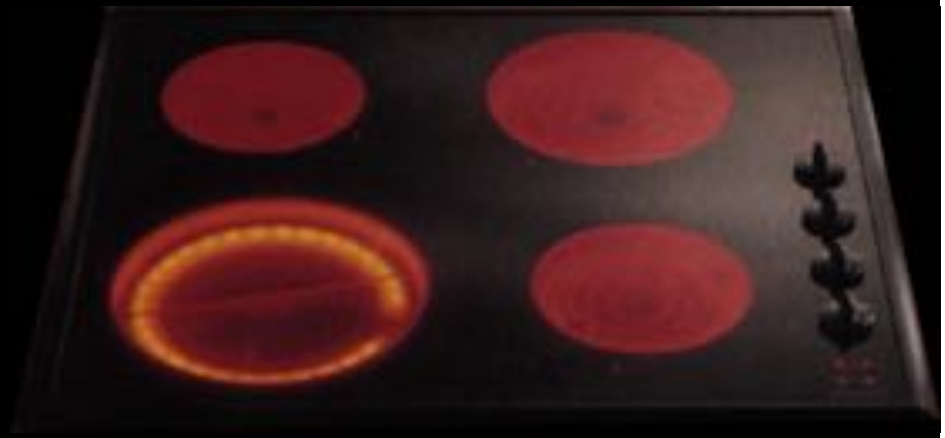
Comète

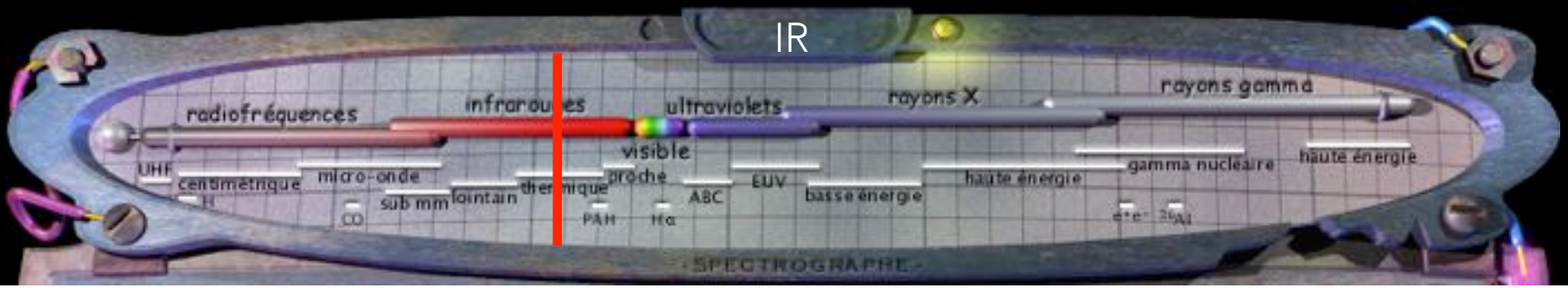


Plan de la station "Capitole" du Métro Toulousain

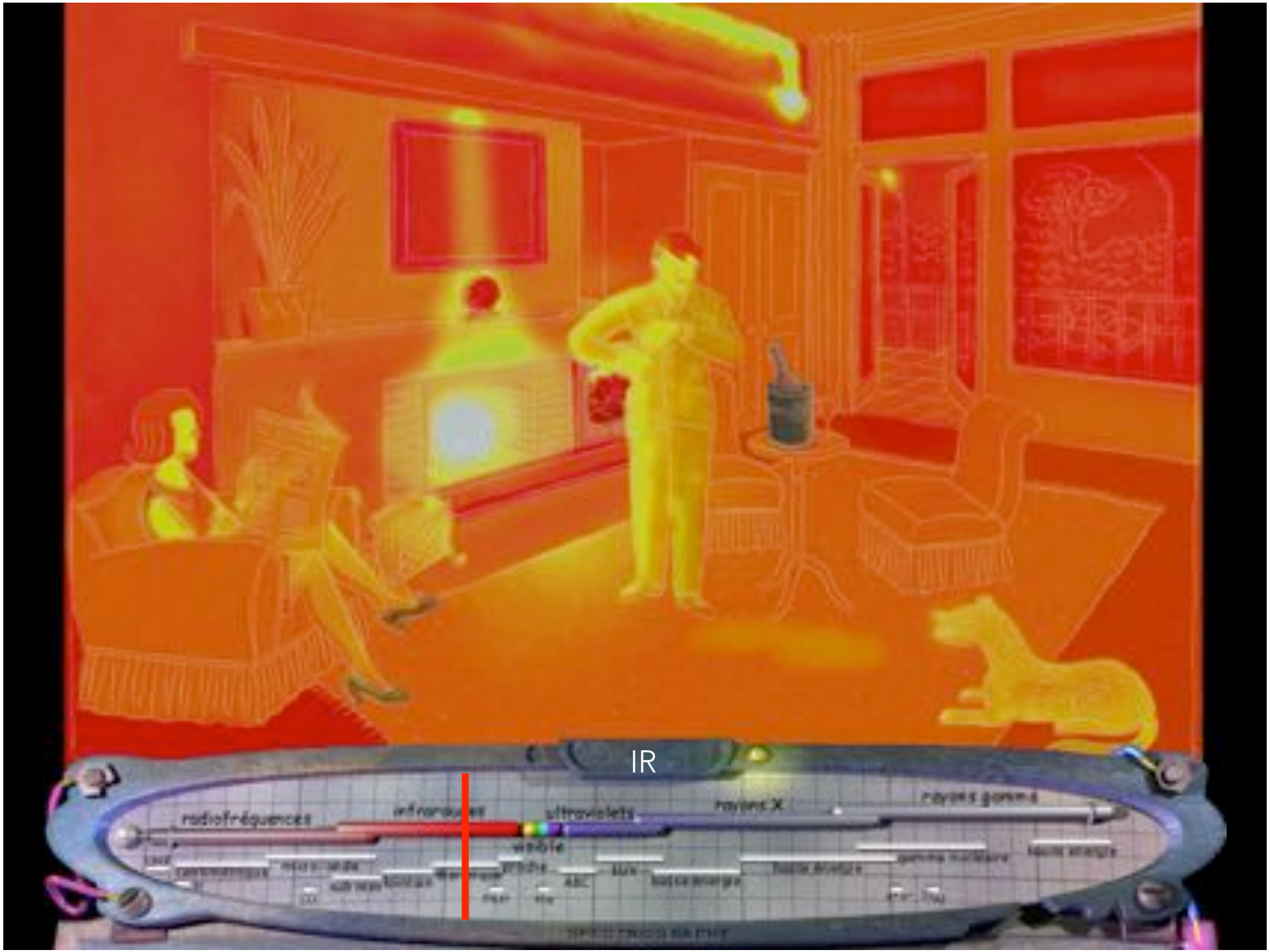
Evgen Bavcar

tableau de bord : infrarouge



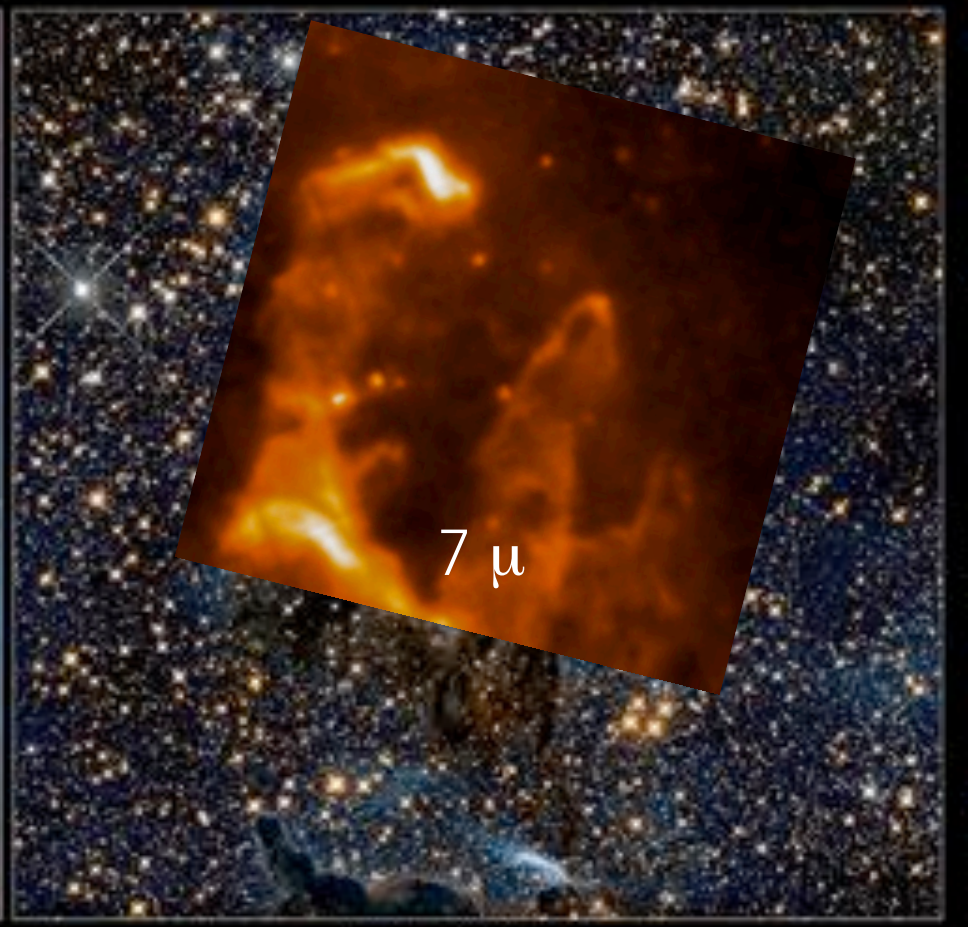



visible
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma

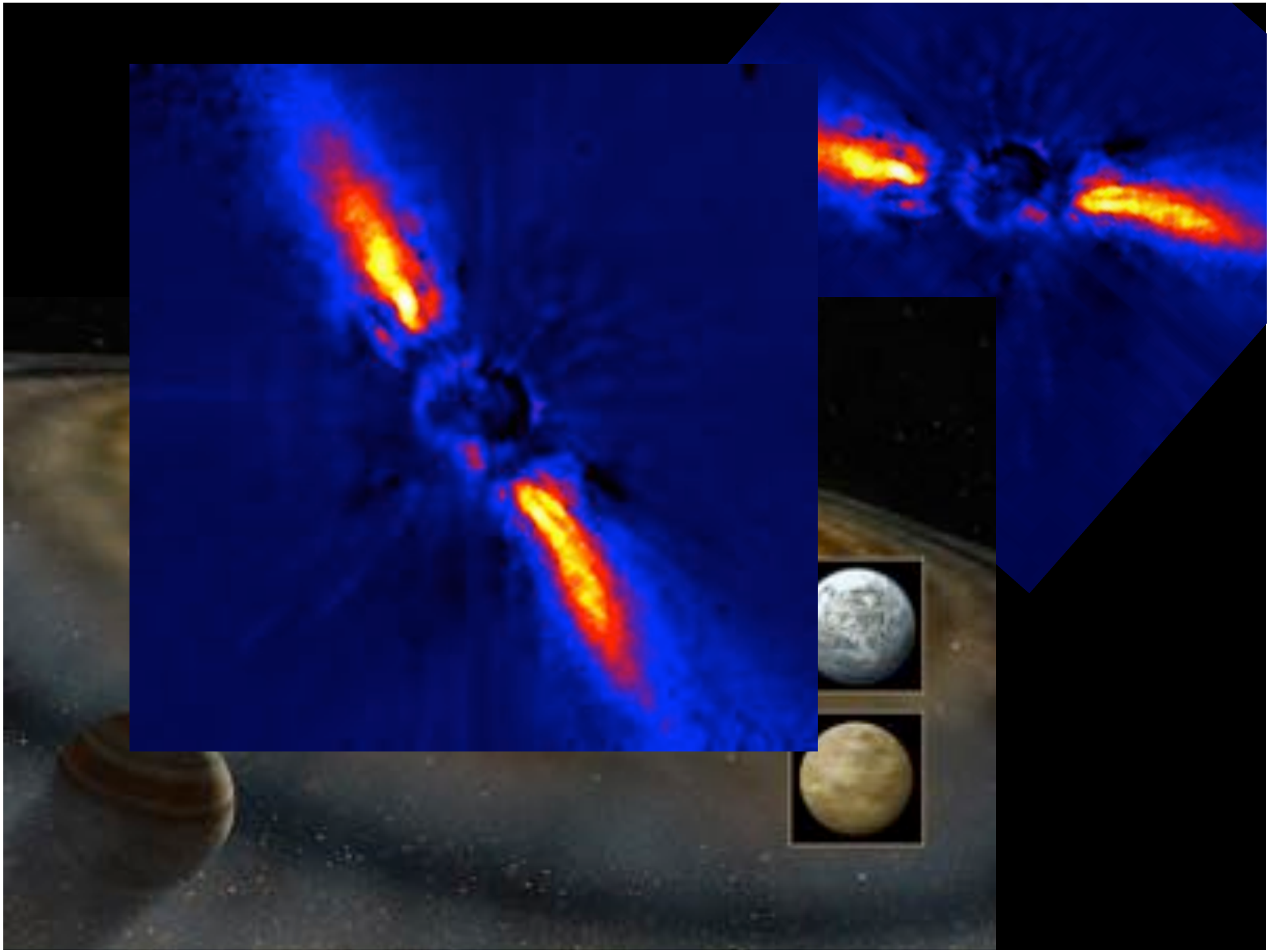

IR
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma
visible

M16 – les "pilliers de la création"

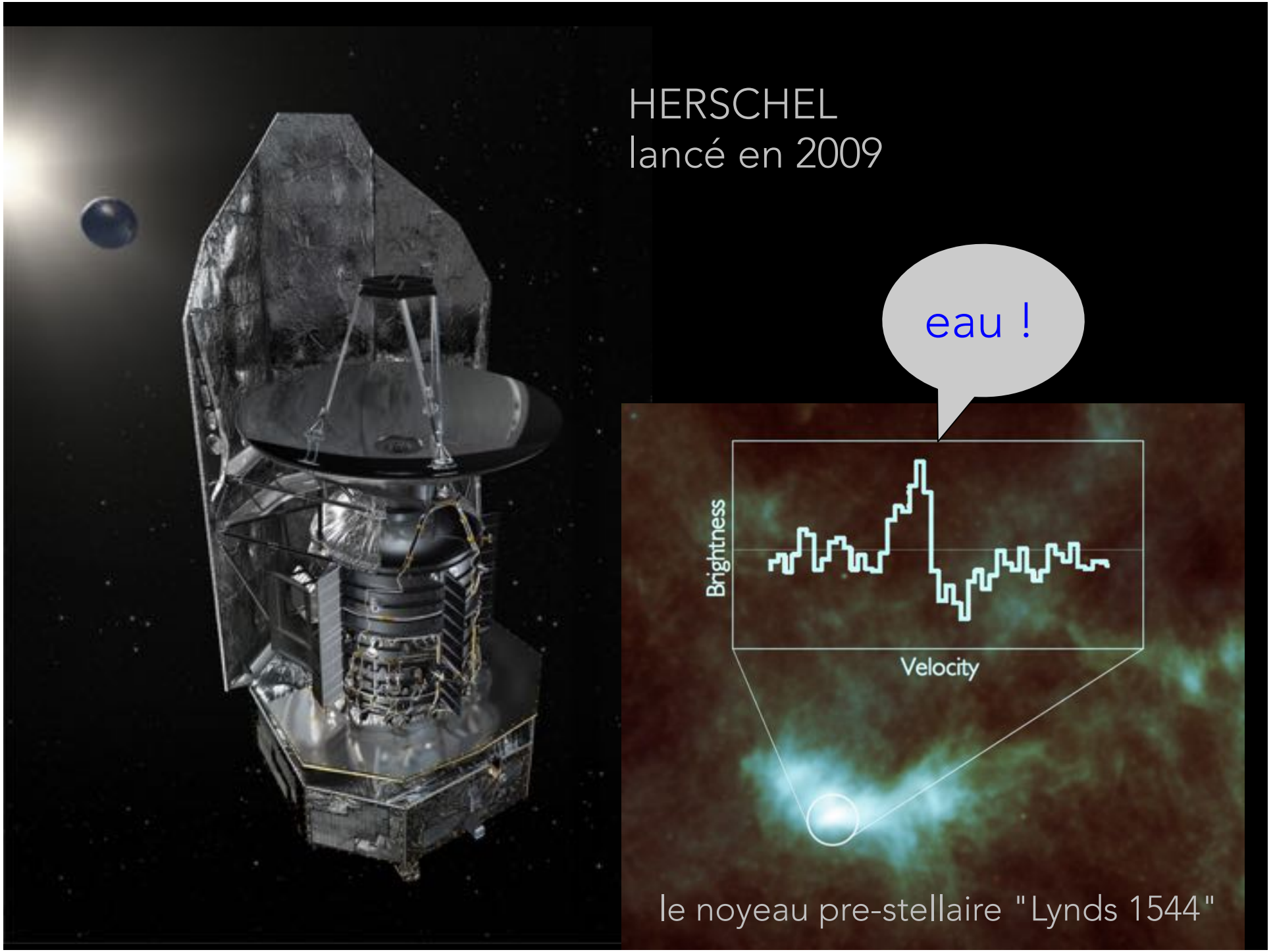
visible

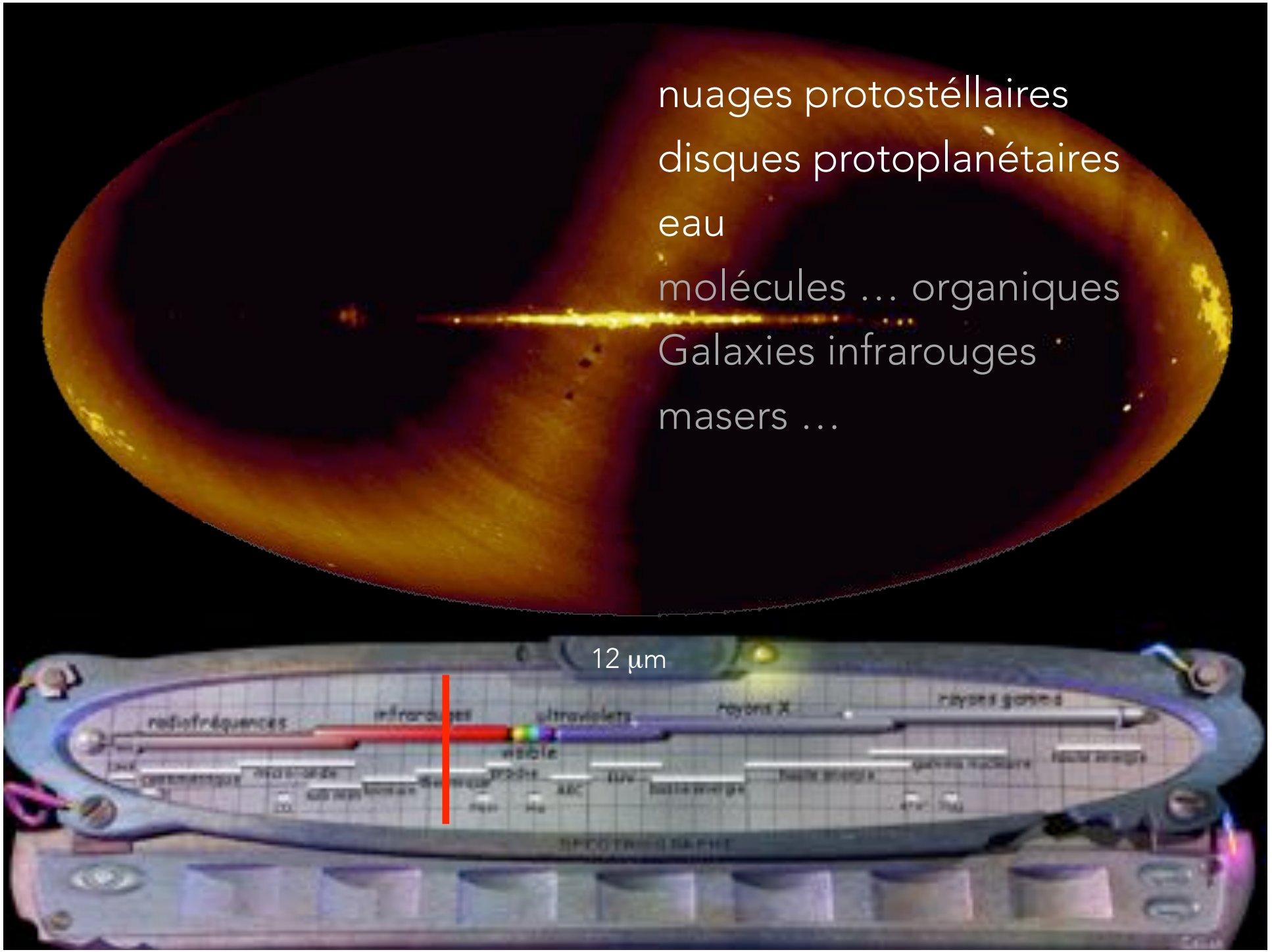


infrarouge 1.1 et 1.6 μ



HERSCHEL
lancé en 2009




nuages protostéllaires
disques protoplanétaires
eau
molécules … organiques
Galaxies infrarouges
masers …
12 µm
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma
visible

Comment comprendre un ciel "oval" ?

les instruments de l'astronomie multi-longueur d'onde

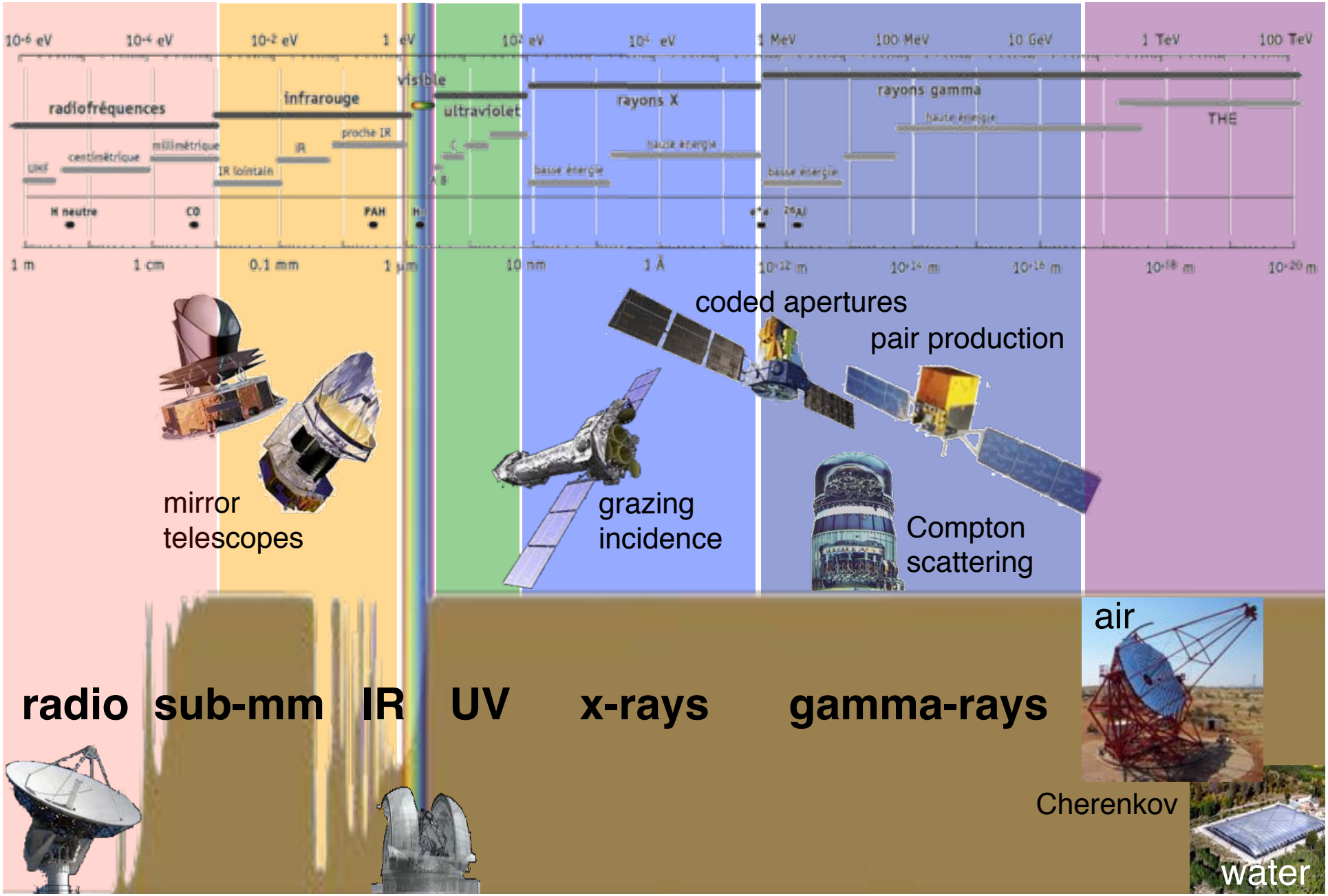
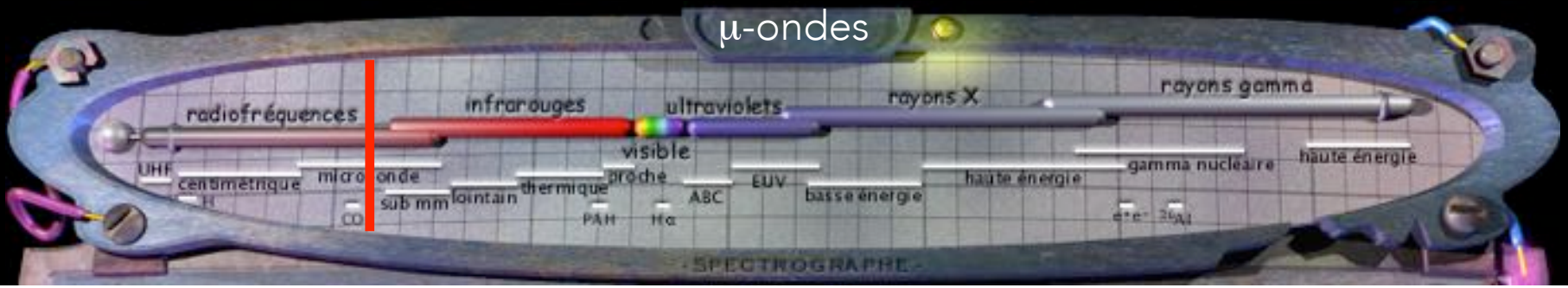
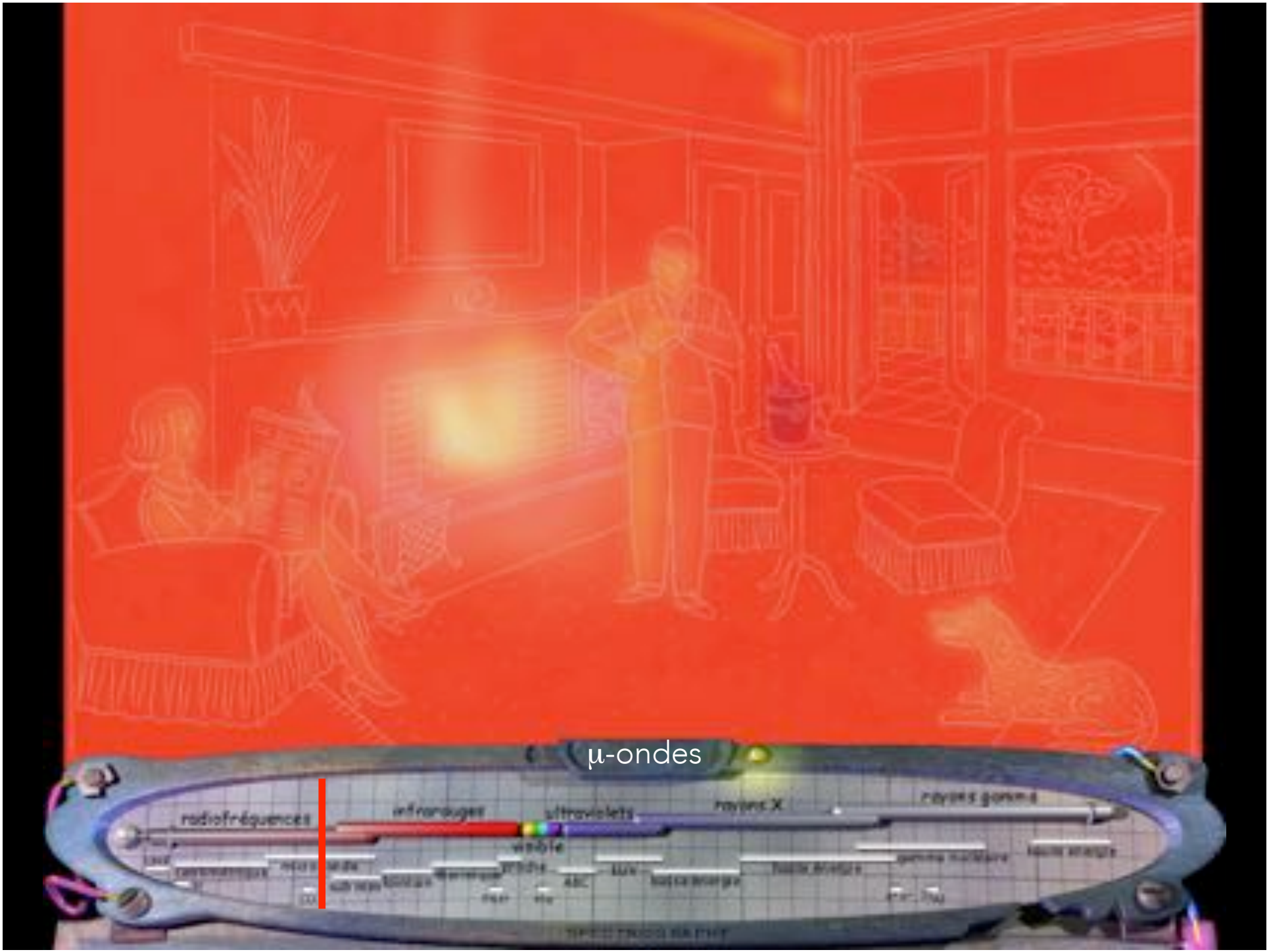


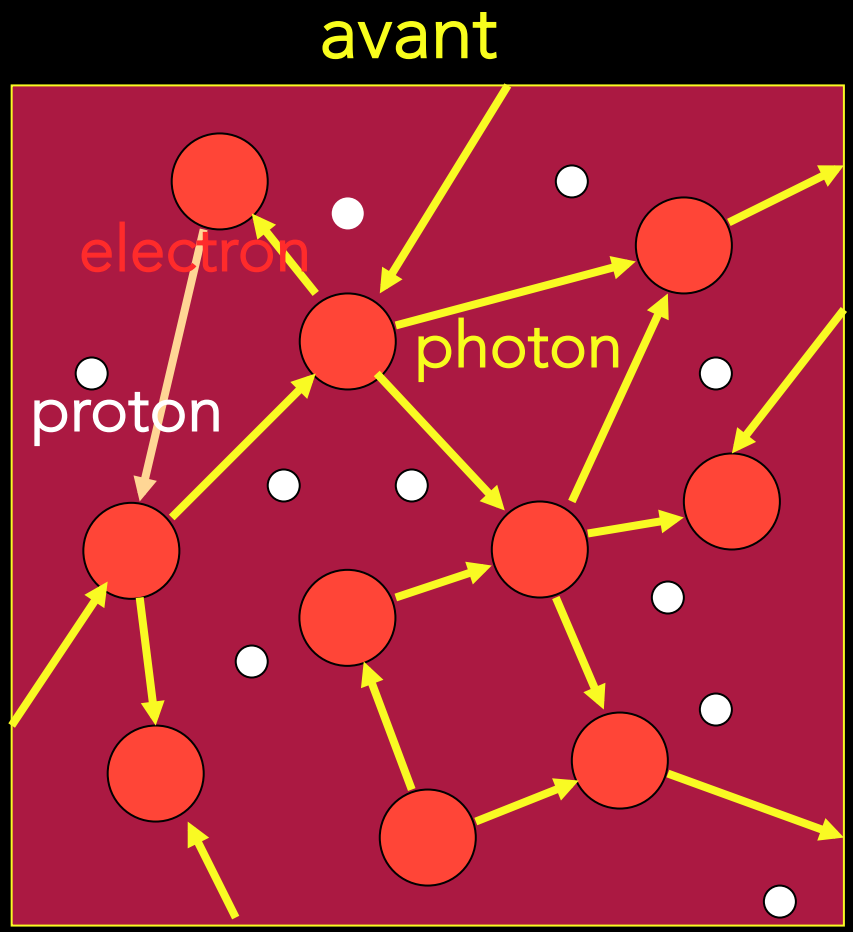
tableau de bord : micro-ondes



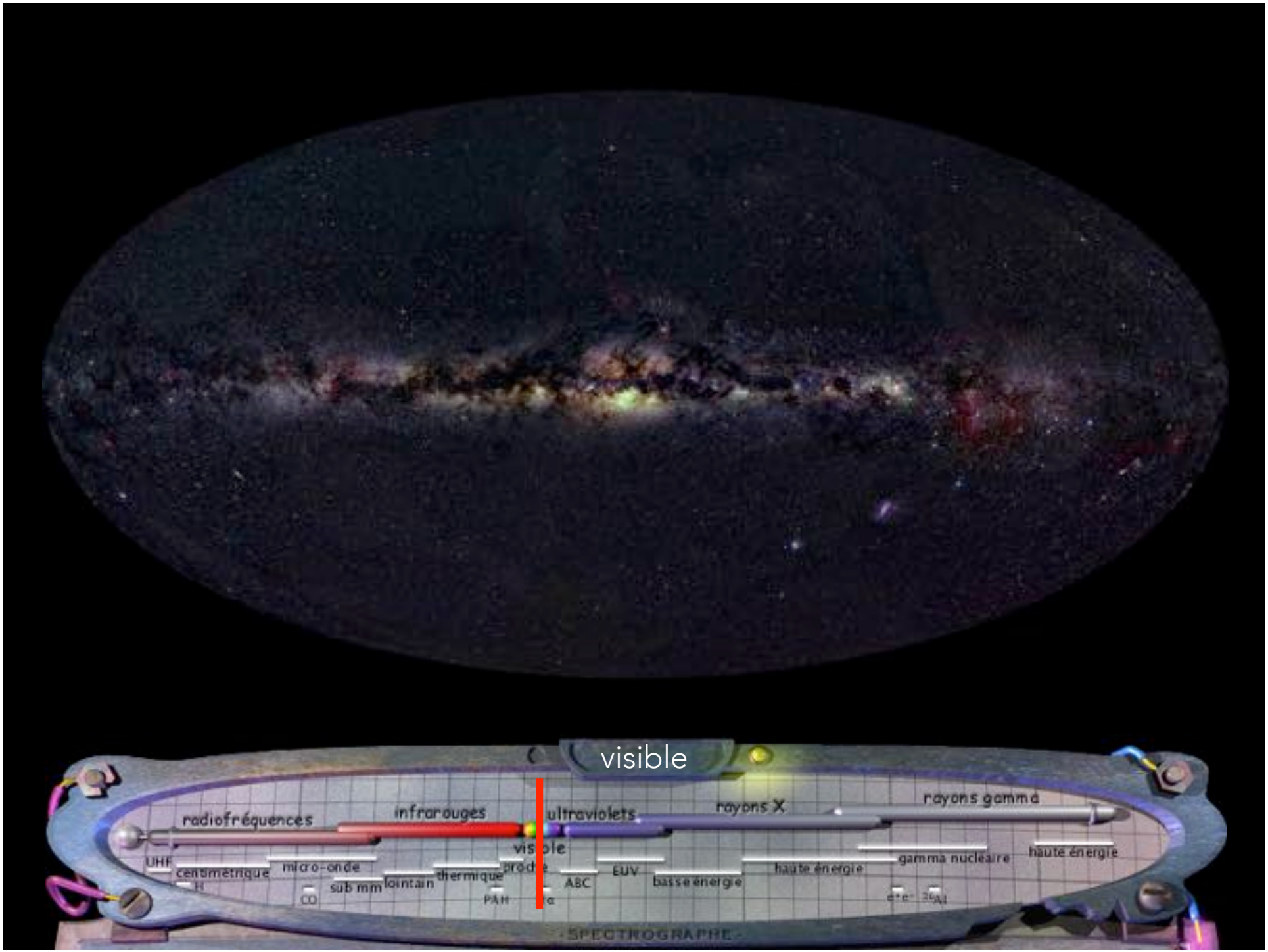

visible
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma


µ-ondes
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma
visible

380'000 ans après le Big Bang
lumière et matière "divorcent"



l'Univers devient transparent – les atomes (H) naissent


visible
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma
UHF
centimétrique
micro-onde
sub mm
lointain
thermique
proche
ABC
EUV
basse énergie
haute énergie
gamma nucléaire
haute énergie
CO
PAH
SPECTROGRAPHE

fond cosmologique

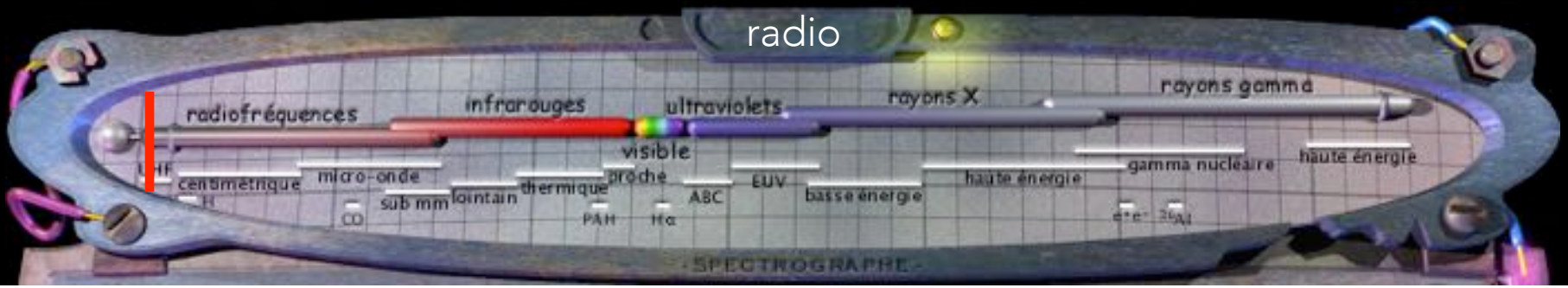
age précis de l'Univers

geometrie de l'Univers

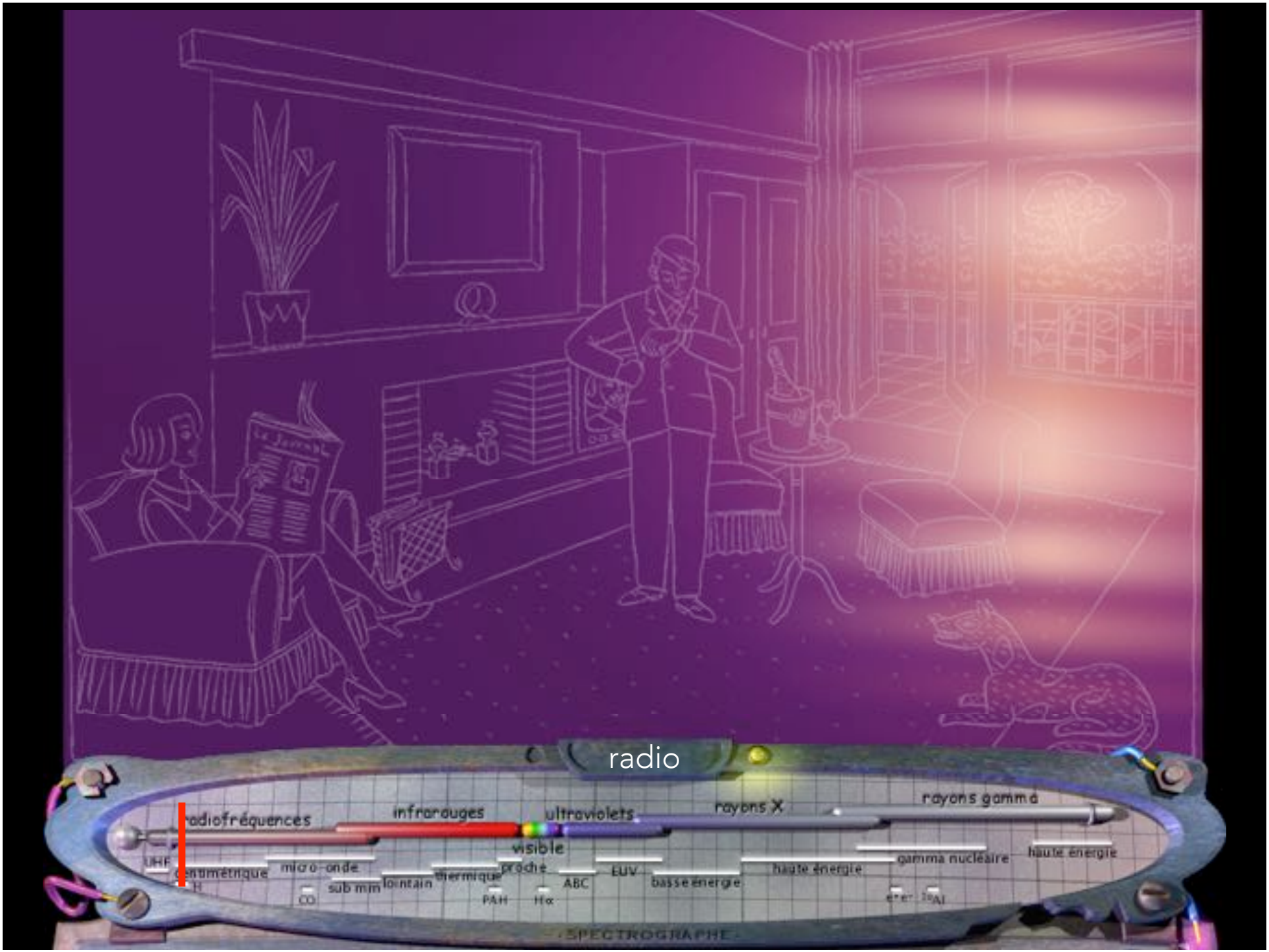
PLANCK

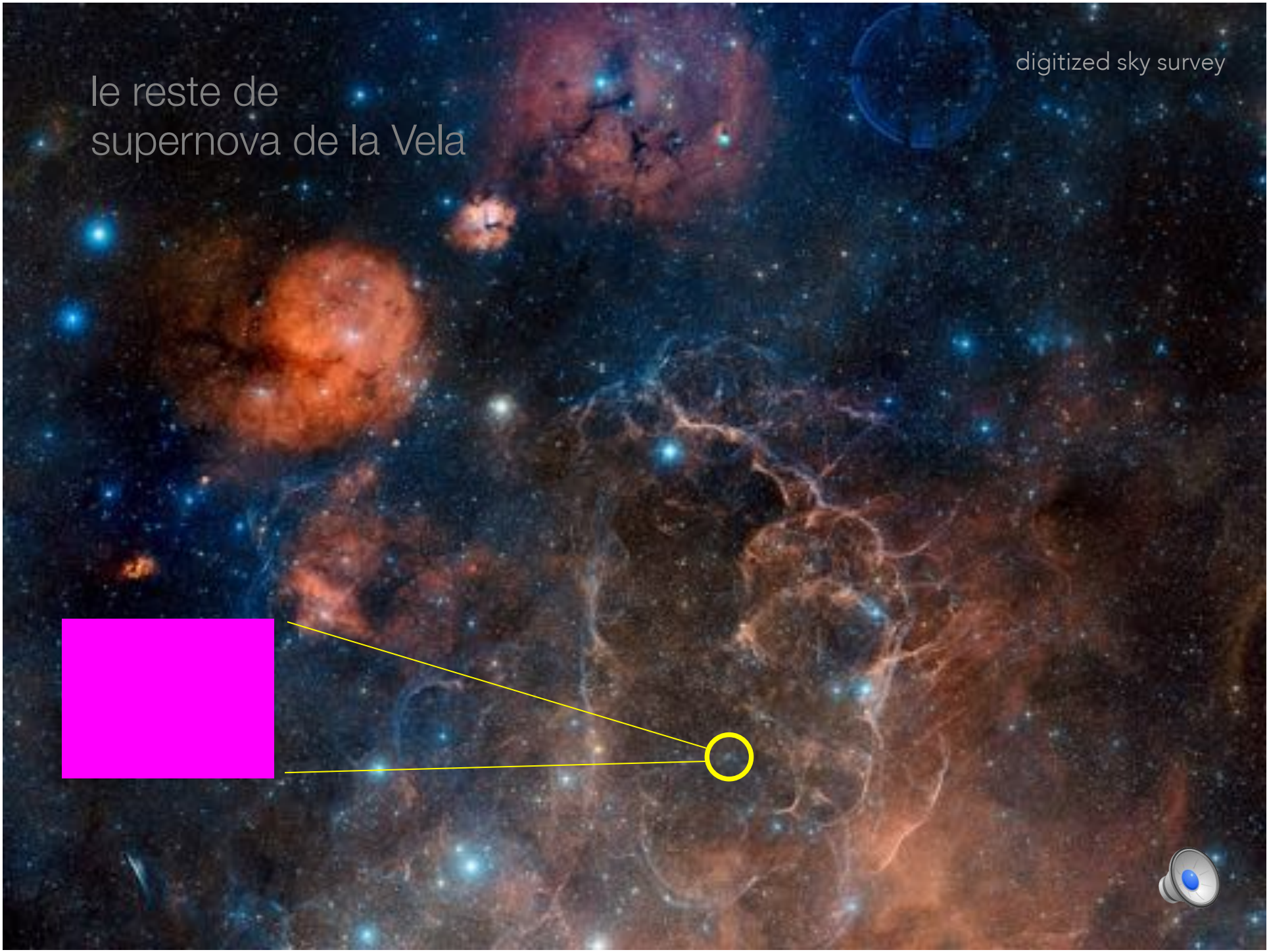
=> L'Univers a 13.8 Milliards d'années

tableau de bord : ondes radio




visible
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma


radio
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma
visible
UHF
micro-onde
sub mm
lointain
thermique
proche
ABC
EUV
basse énergie
haute énergie
gamma nucléaire
haute énergie
CO
PAH
Hα
SPECTROGRAPHE


le reste de
supernova de la Vela
digitized sky survey

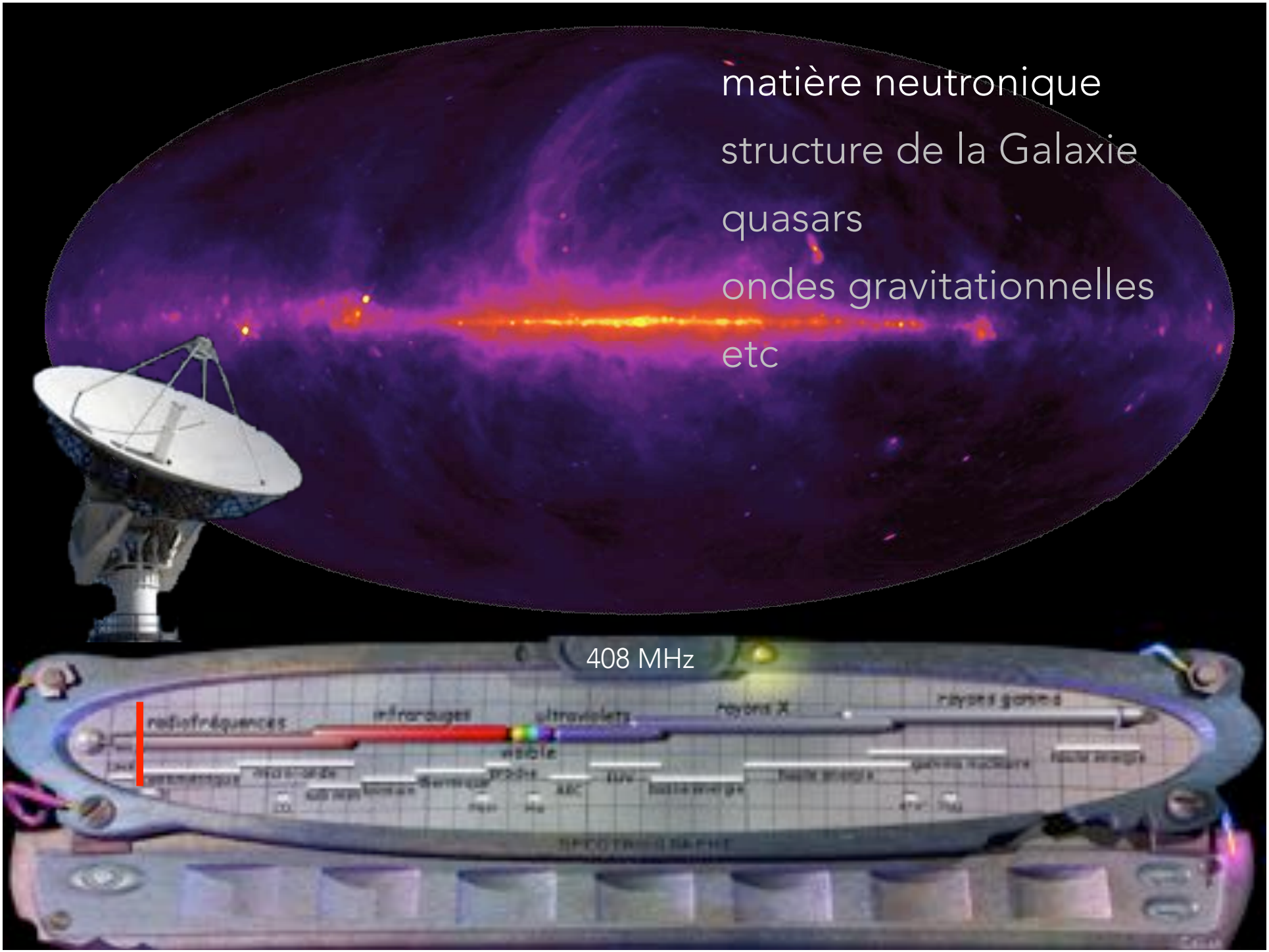
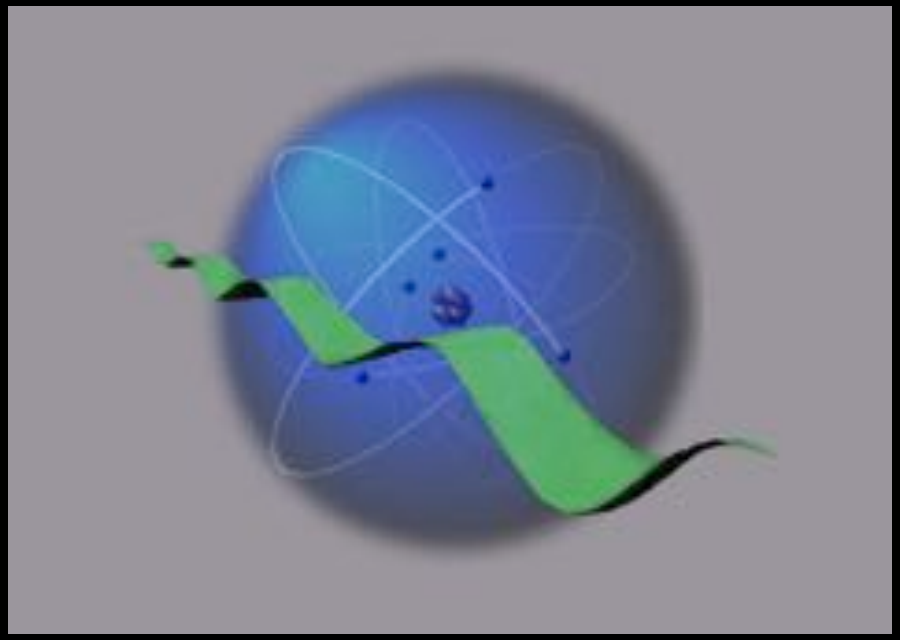
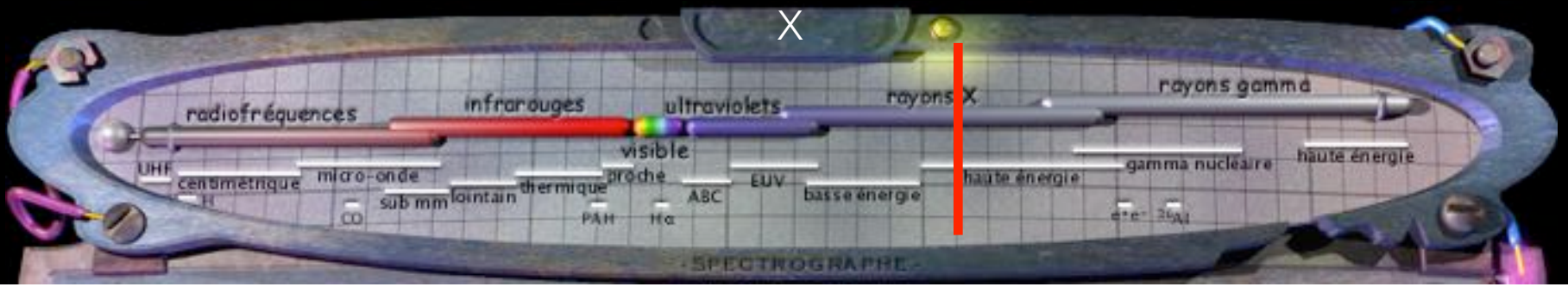
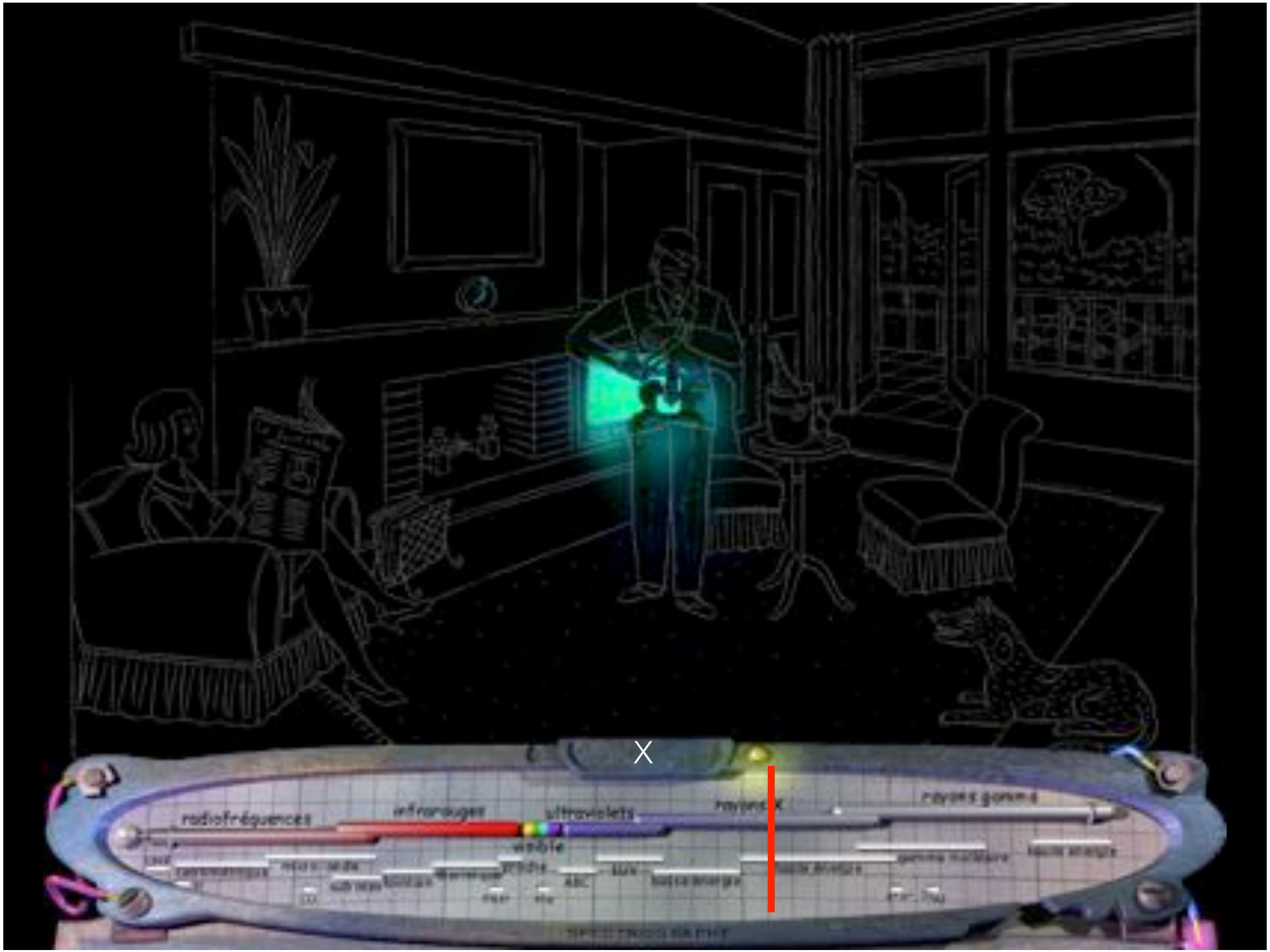

matière neutronique
structure de la Galaxie
quasars
ondes gravitationnelles
etc
408 MHz
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma
visible

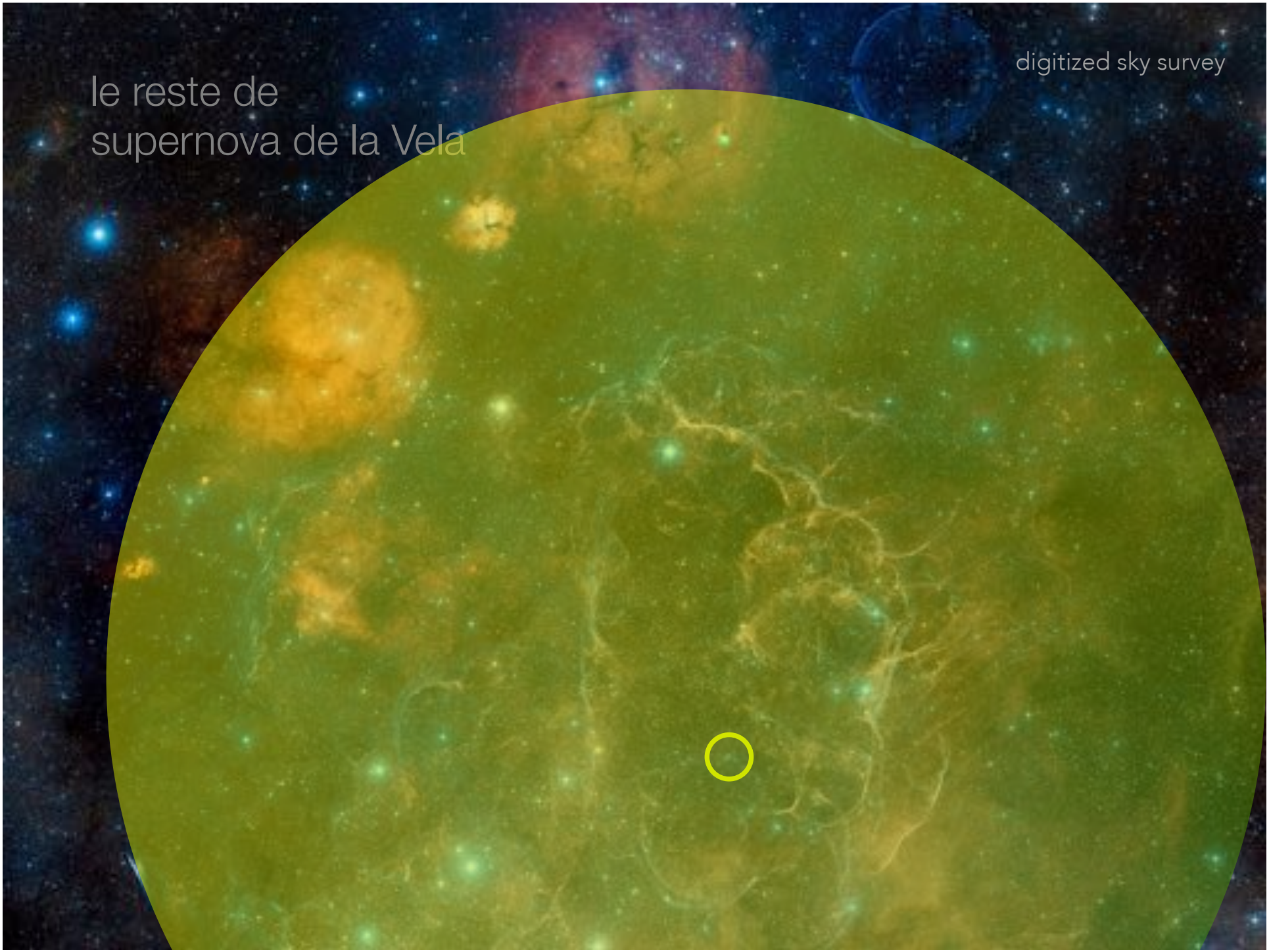
tableau de bord : rayons X






visible
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma

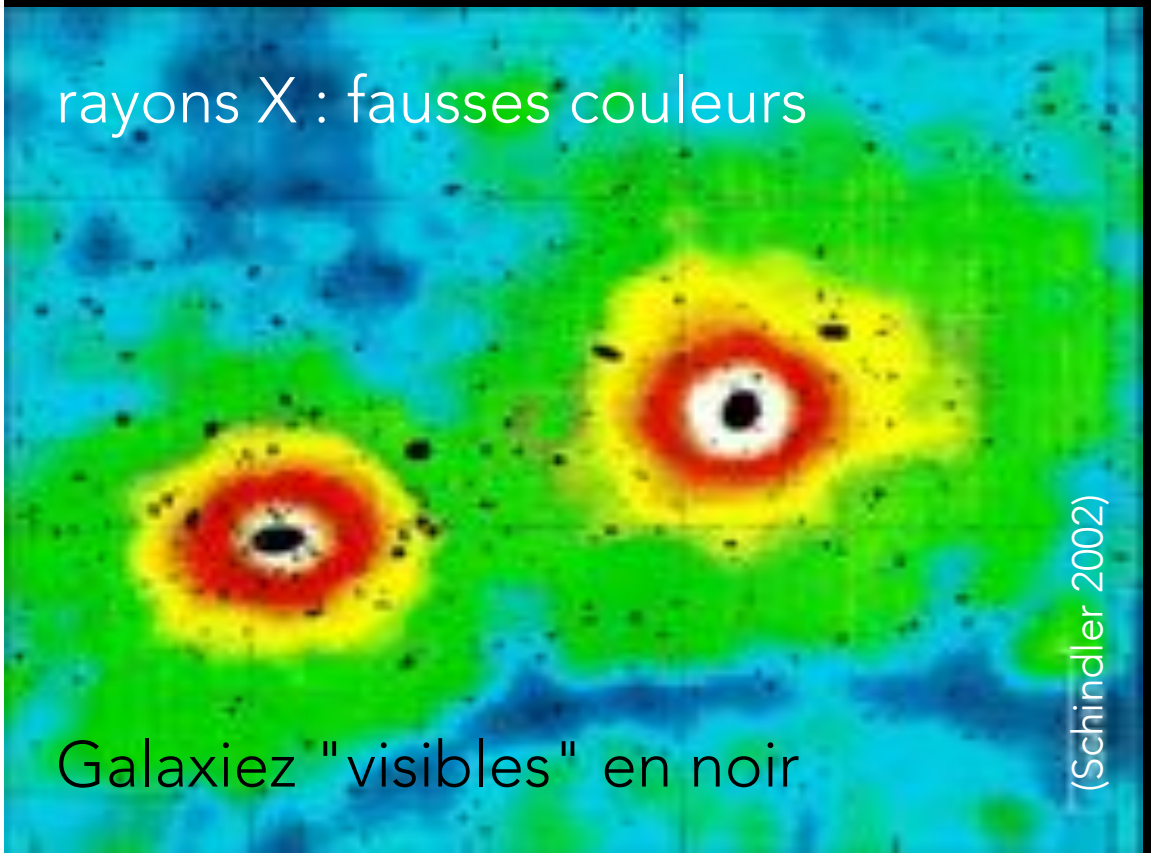

X
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma
visible


le reste de
supernova de la Vela
digitized sky survey

Abell 3528

"merger"

de deux amas de galaxies

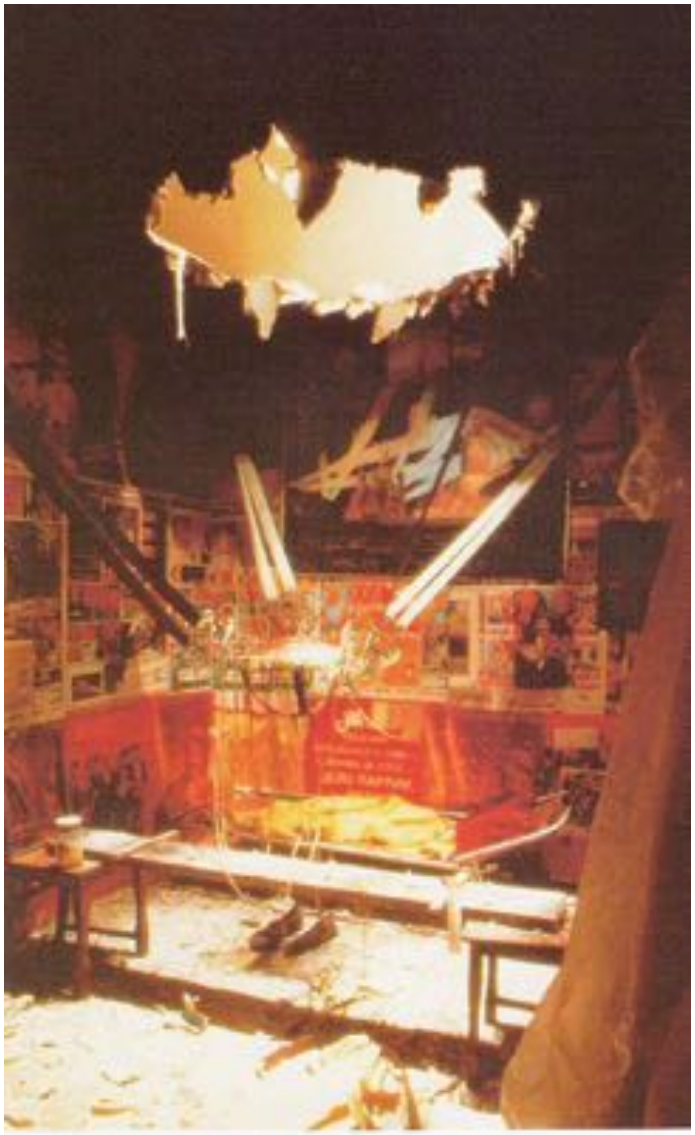


ROSAT


binaire X (vue d'artiste)

Qu'est ce qu'un trou noir ?

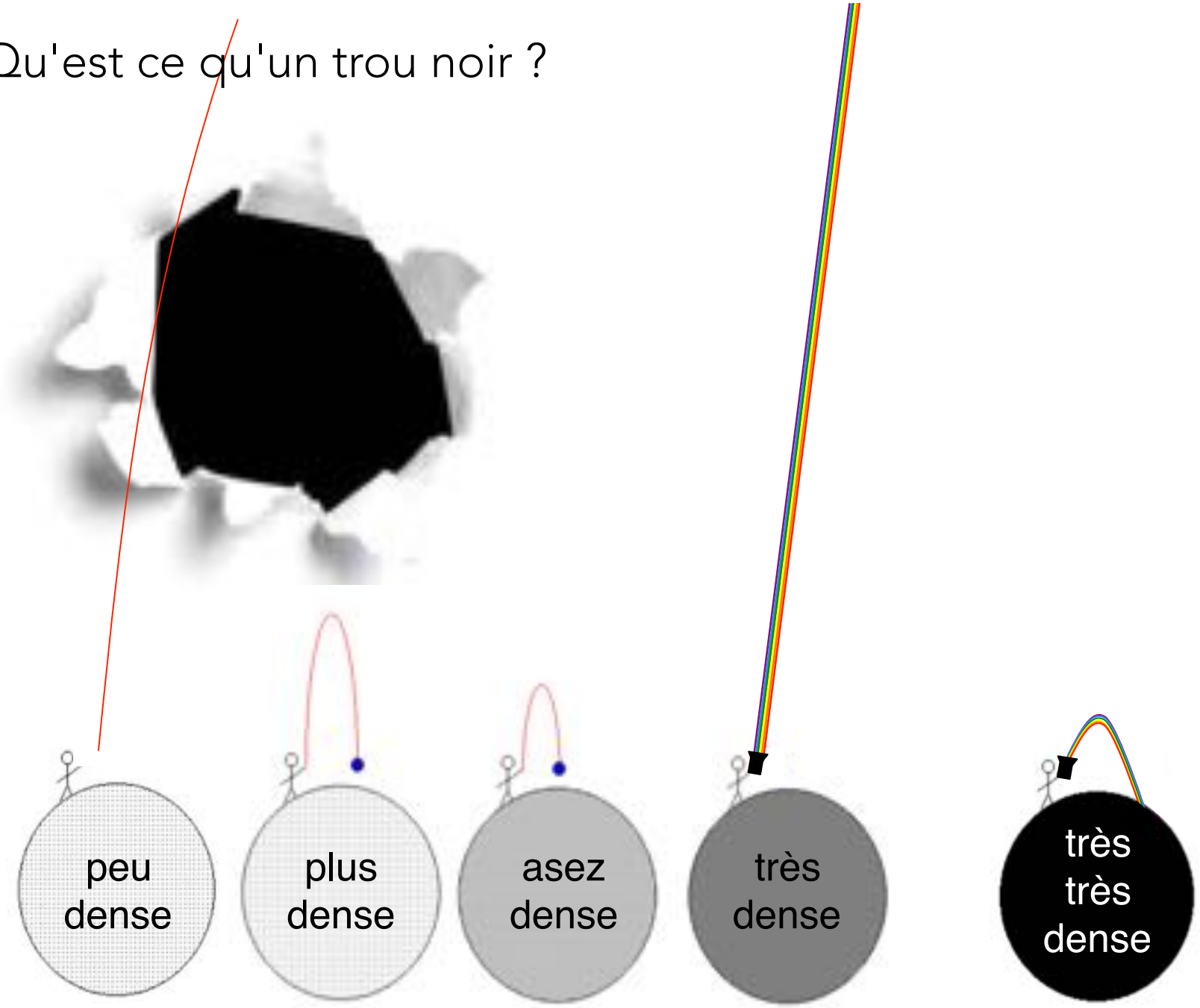
vitesse de liberation



300'000 km/s

pour se liberer de la Terre : 11 km/sec

Qu'est ce qu'un trou noir ?



Swift J1644+57 : une nouvelle source de haute énergie dans le "dragon"

animation

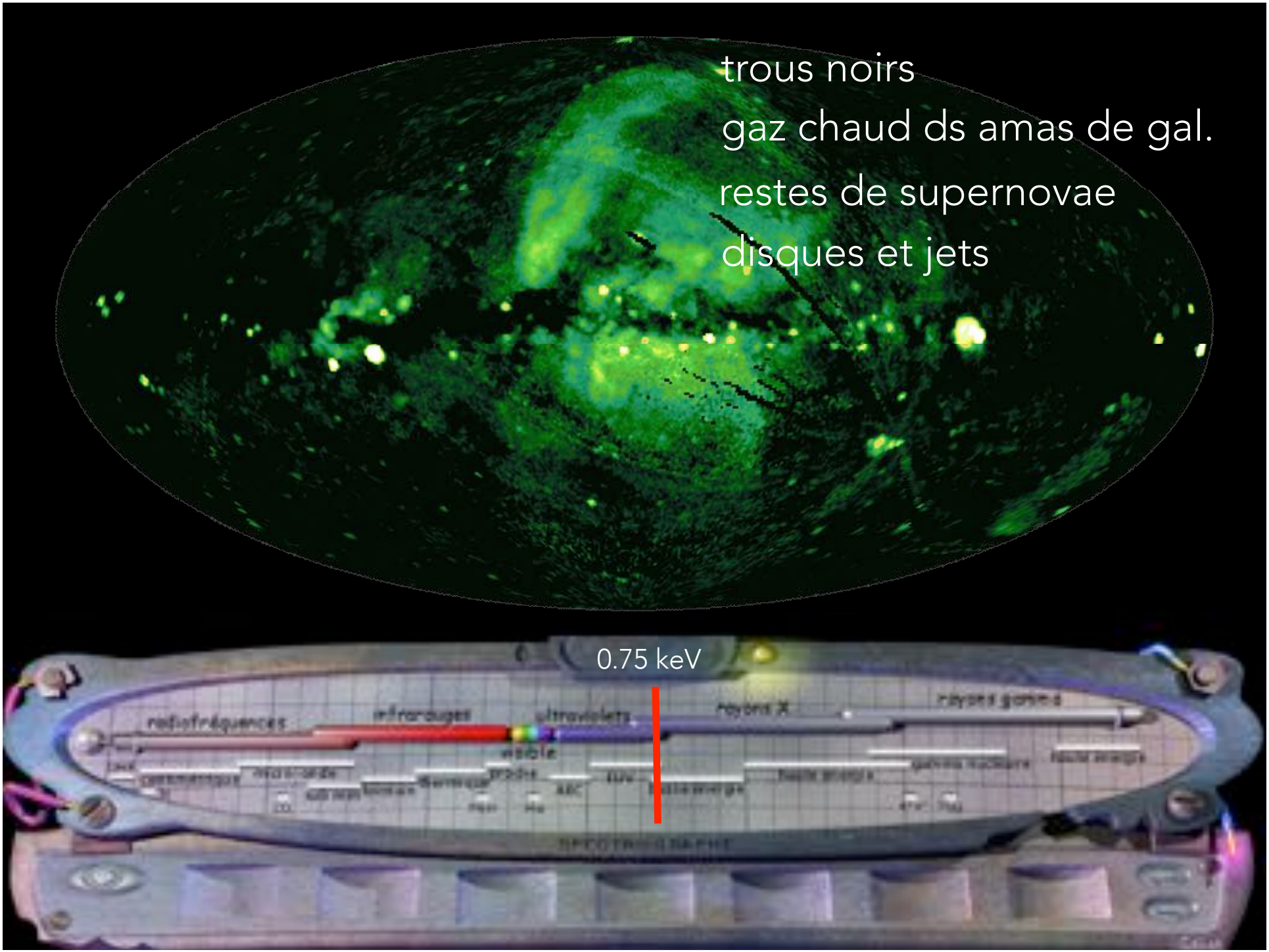
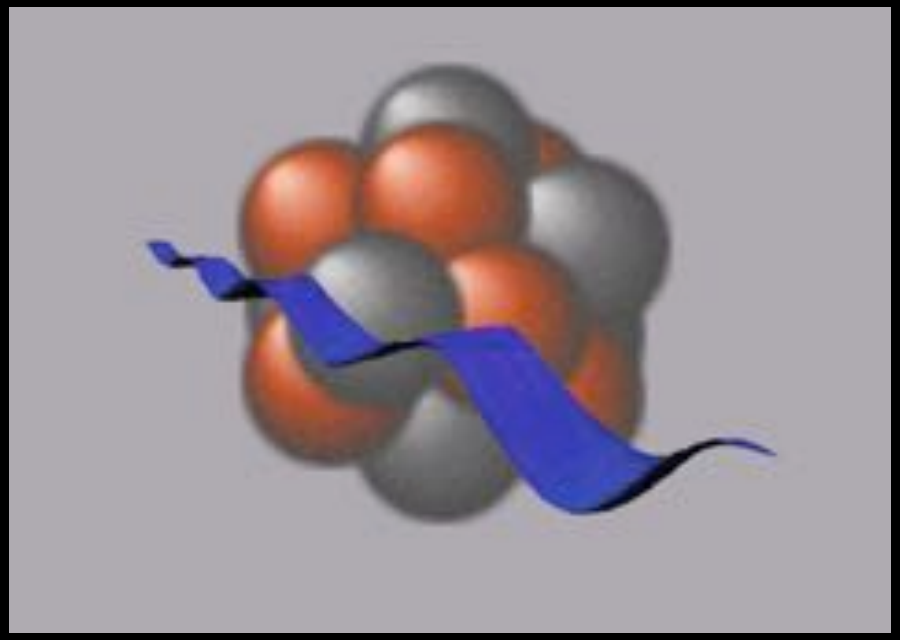
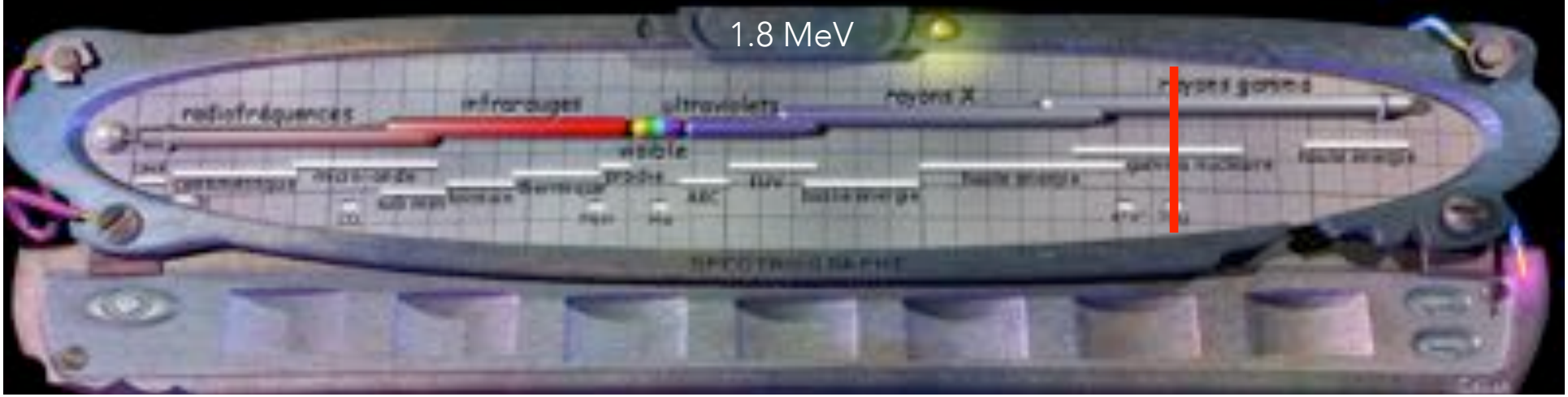
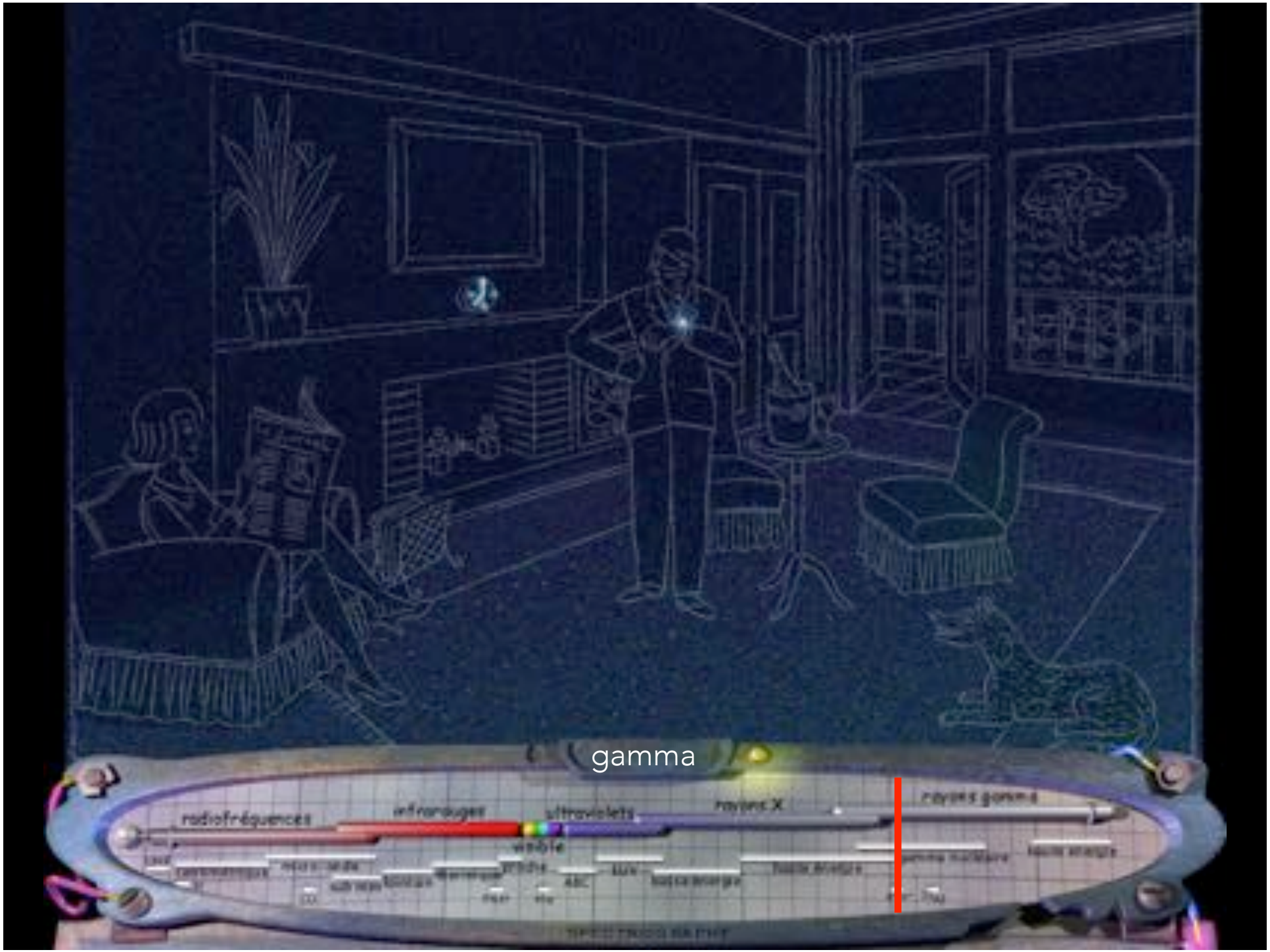

trous noirs
gaz chaud ds amas de gal.
restes de supernovae
disques et jets
0.75 keV
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma
visible

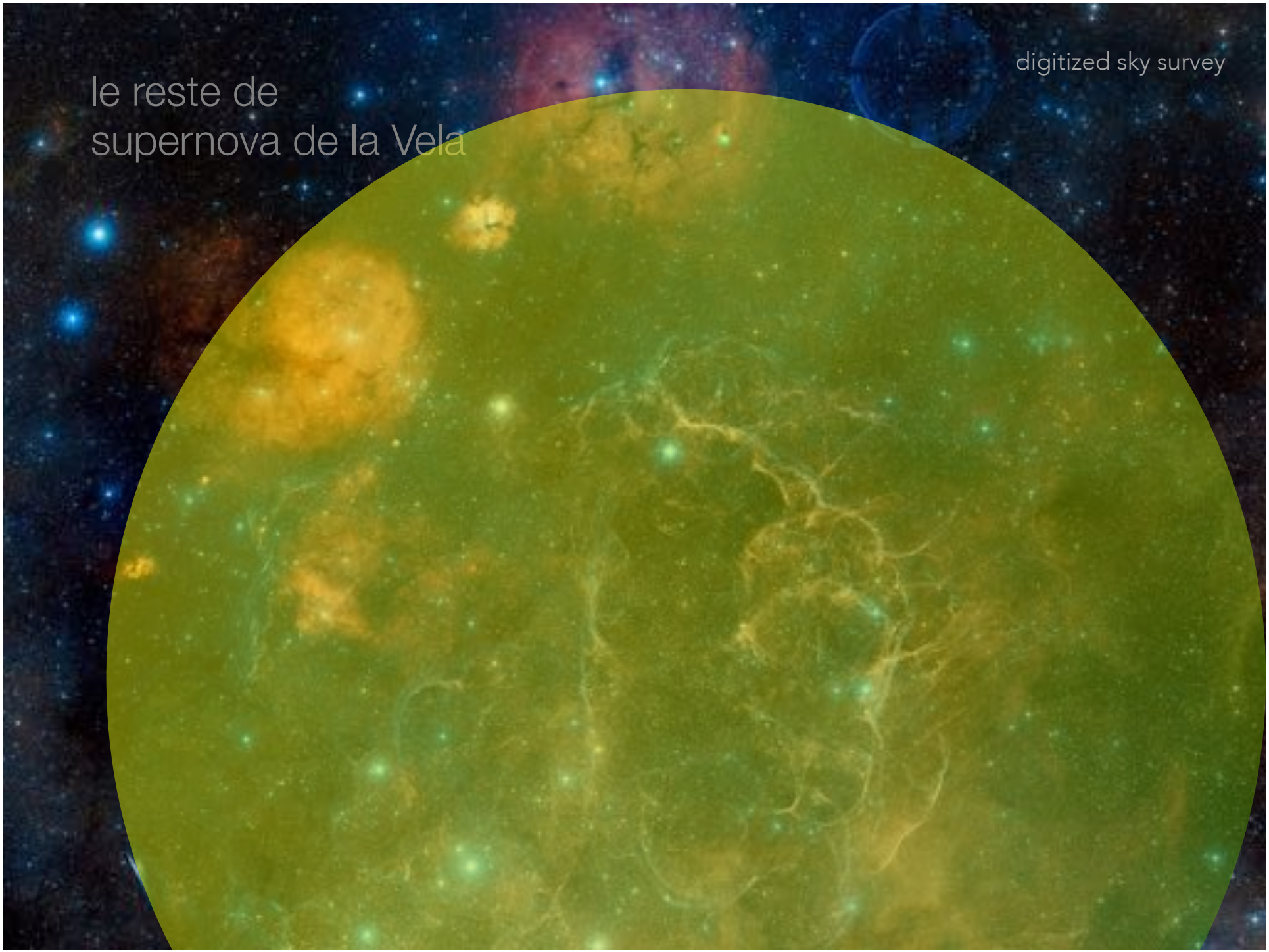
tableau de bord : rayons gamma





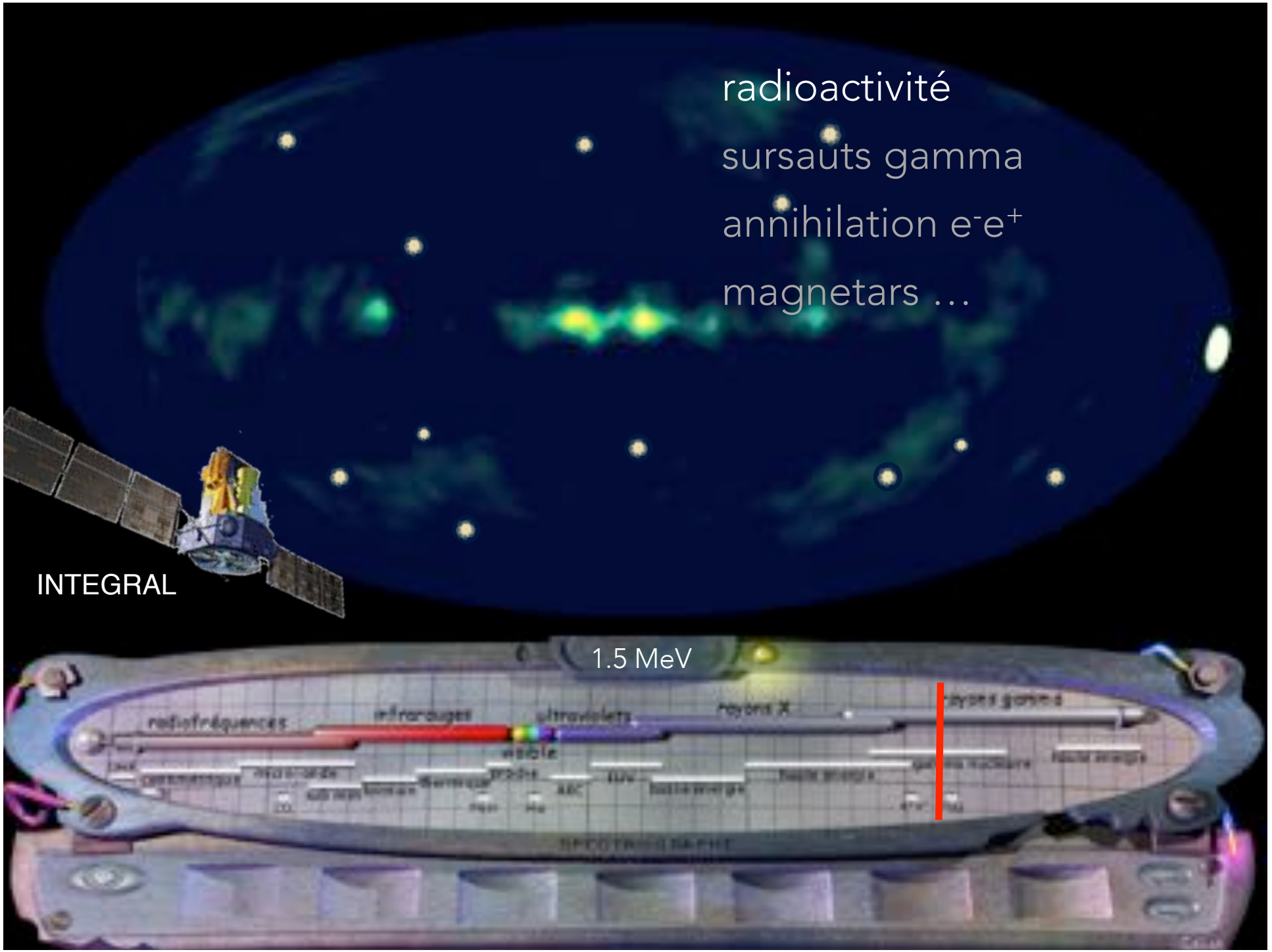

visible
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma

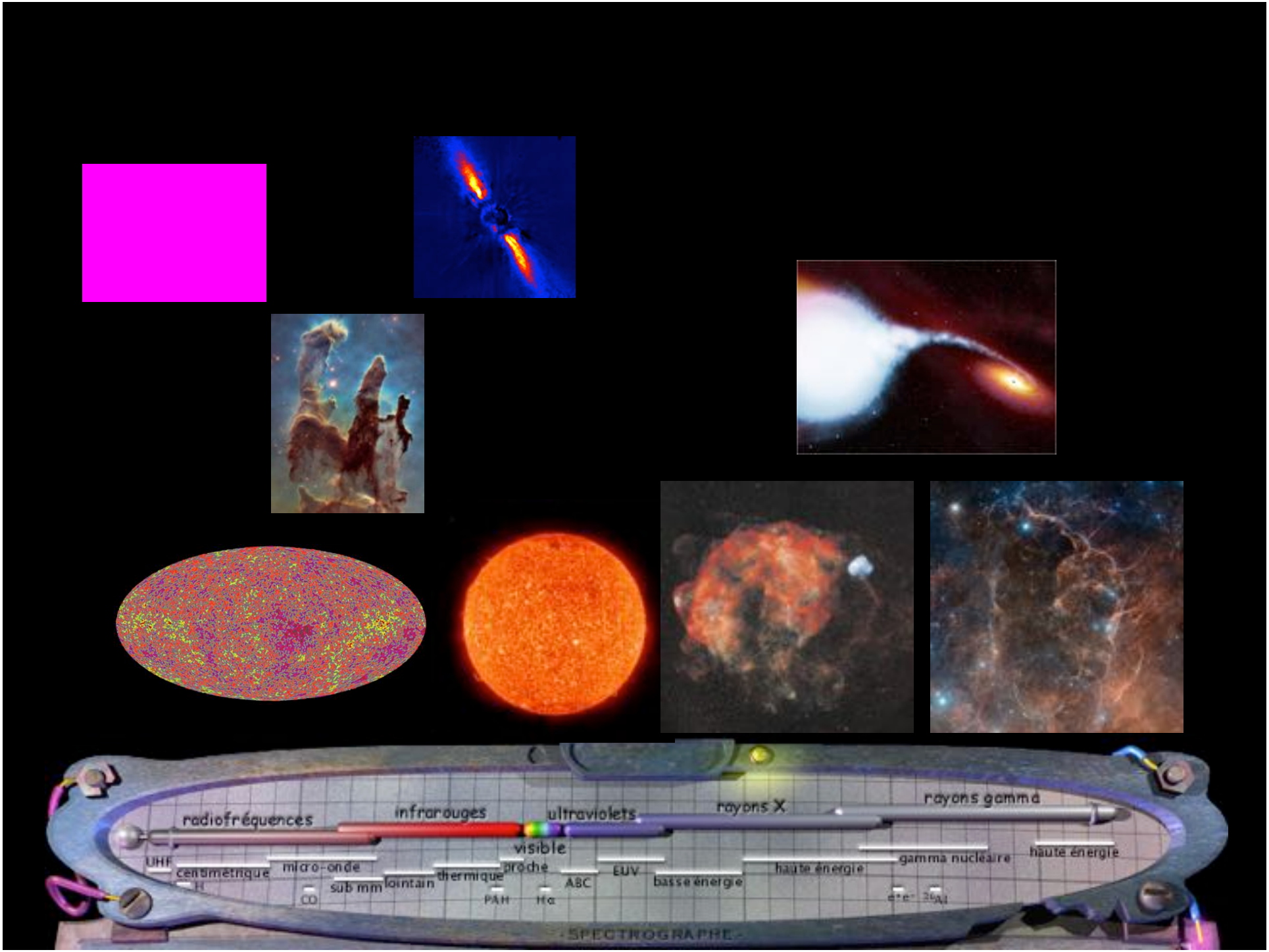

gamma
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma
visible


le reste de
supernova de la Vela
digitized sky survey

les éléments chimiques

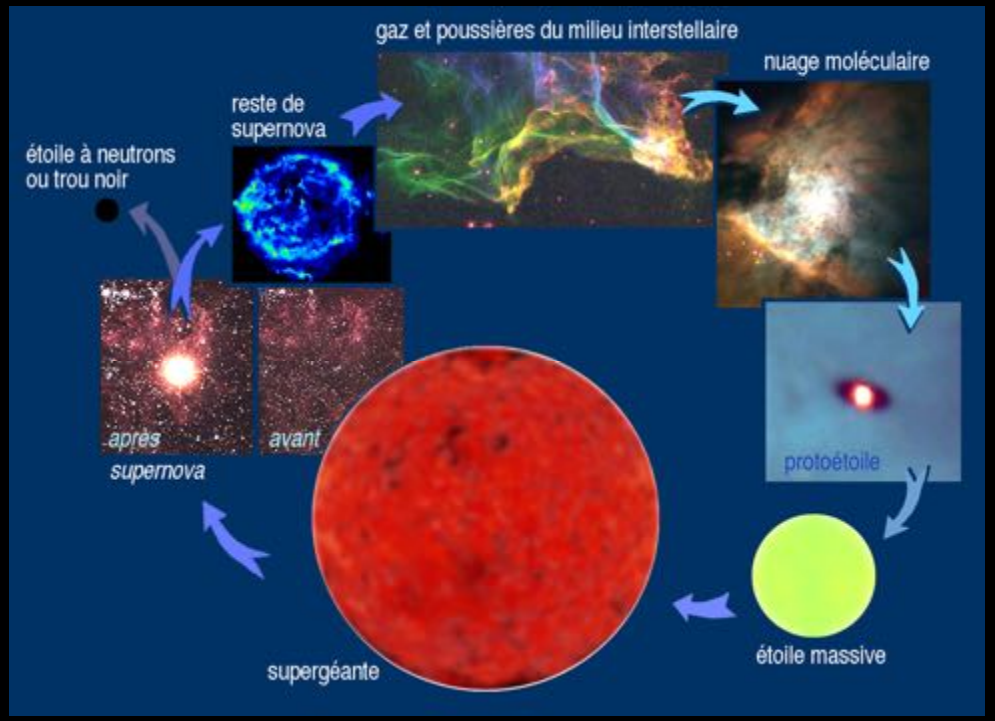
évolution stellaire - le cycle de la matière


radioactivité
sursauts gamma
annihilation e^-e^+
magnetars …
INTEGRAL
1.5 MeV
radiofréquences
infrarouges
visible
ultraviolets
rayons X
rayons gamma


radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma
visible
UHF
centimetrique
micro-onde
sub mm
lointain
thermique
proche
ABC
EUV
basse énergie
haute énergie
gamma nucléaire
haute énergie
CO
PAH
Hα
SPECTROGRAPHE

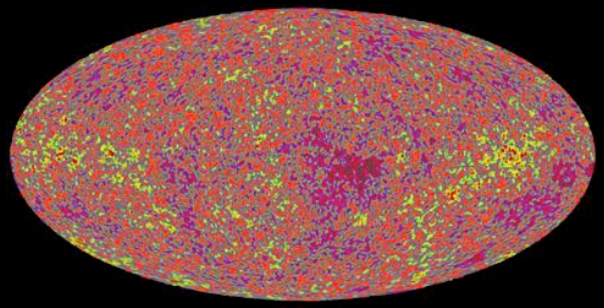

ROUNDY'S

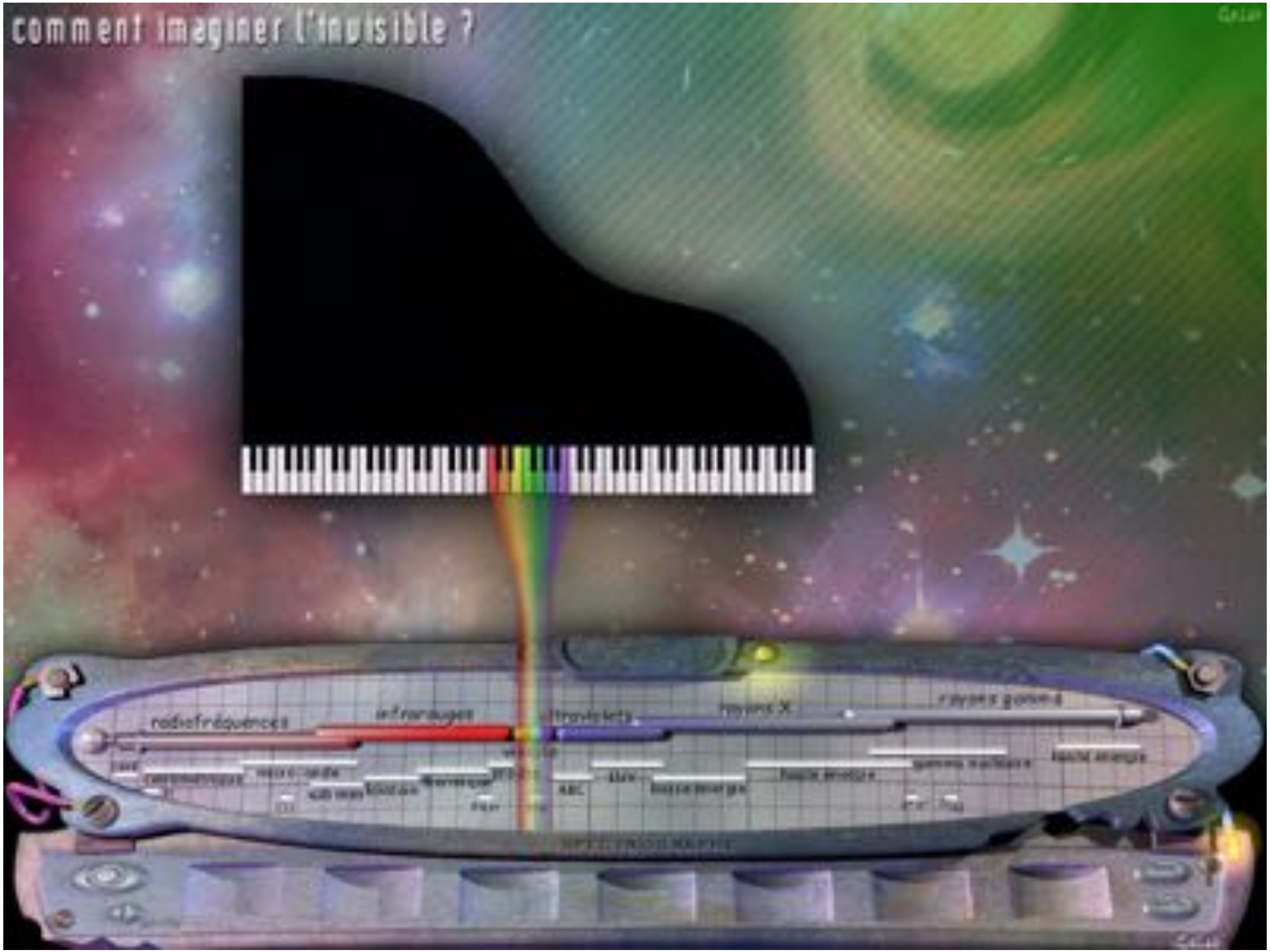
- les éléments qui nous constituent sont produites dans les étoiles

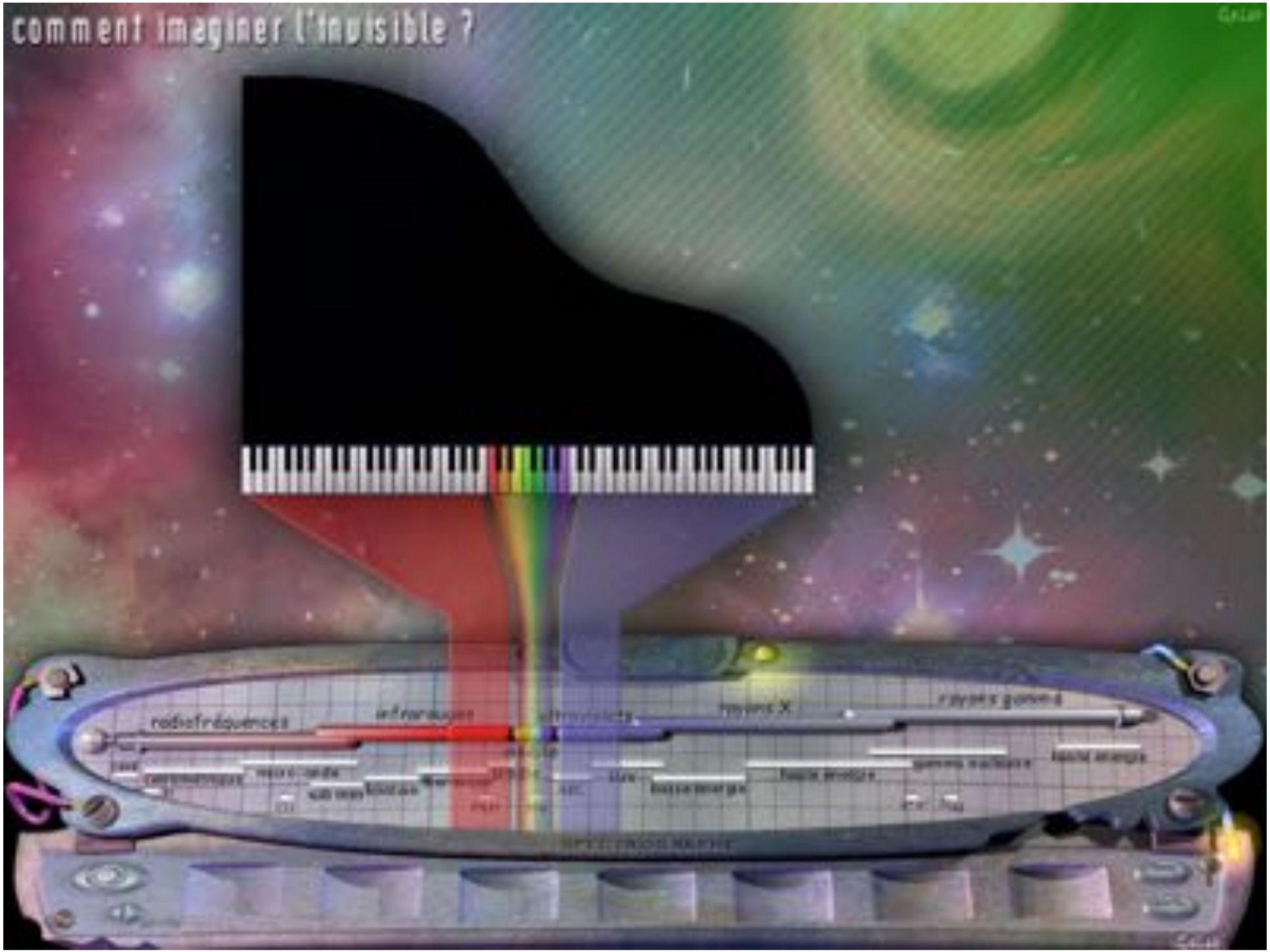


le cycle de la matière

- l'Univers a un début

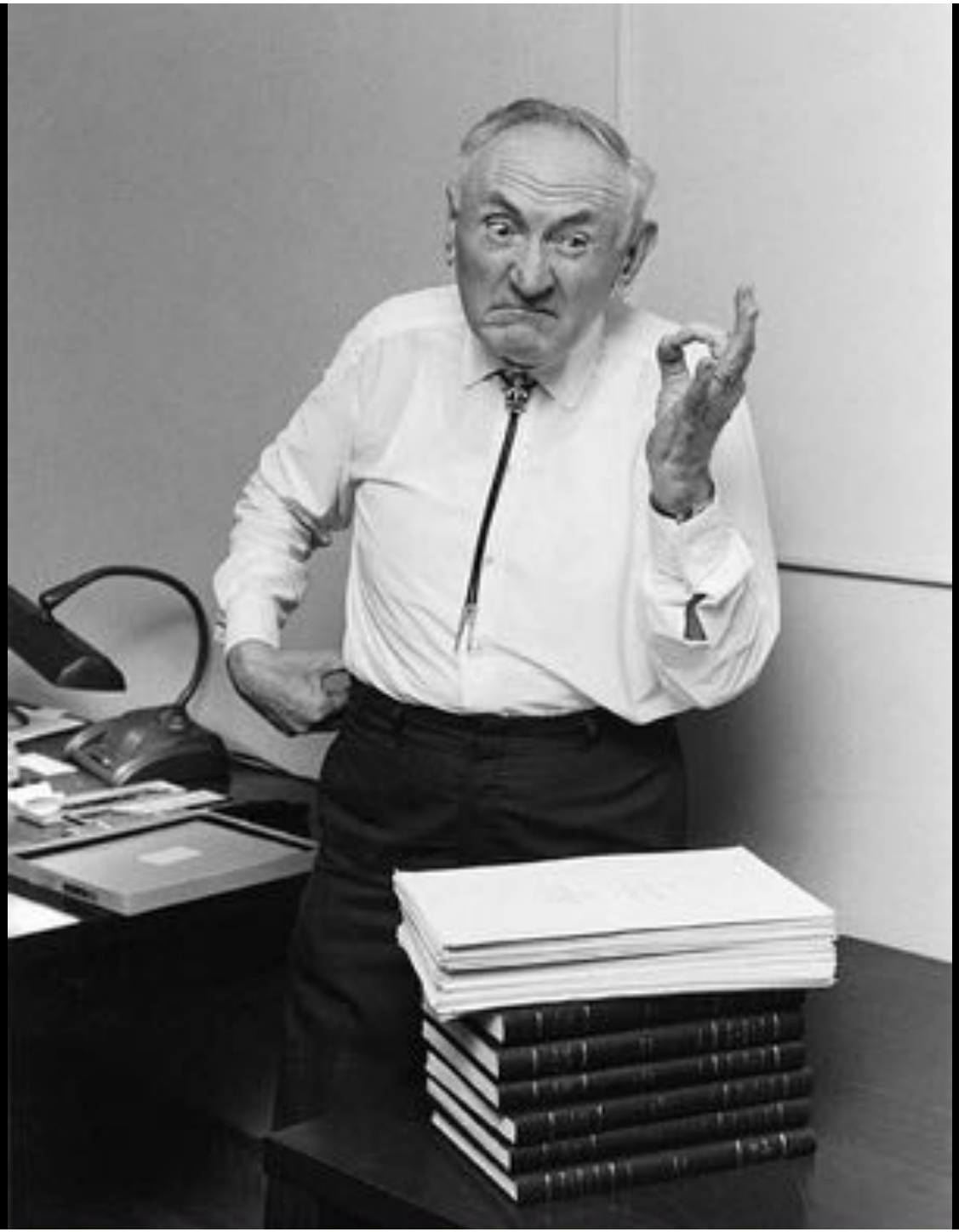



comment imaginer l'invisible ?
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma


comment imaginer l'invisible ?
radiofréquences
infrarouges
ultraviolets
rayons X
rayons gamma
basse énergie
haute énergie

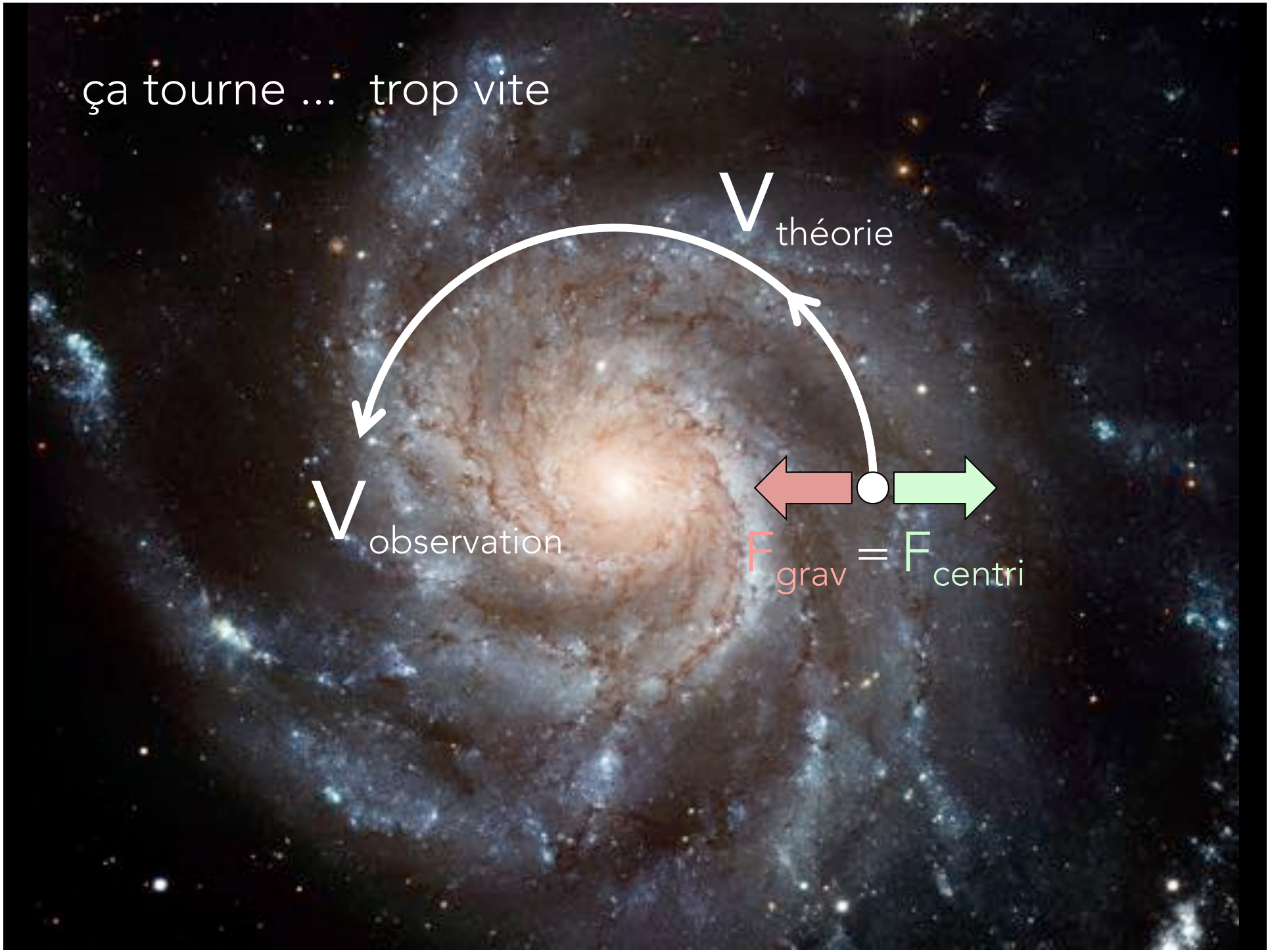
4 % de ce qu'il y a dans l'Univers

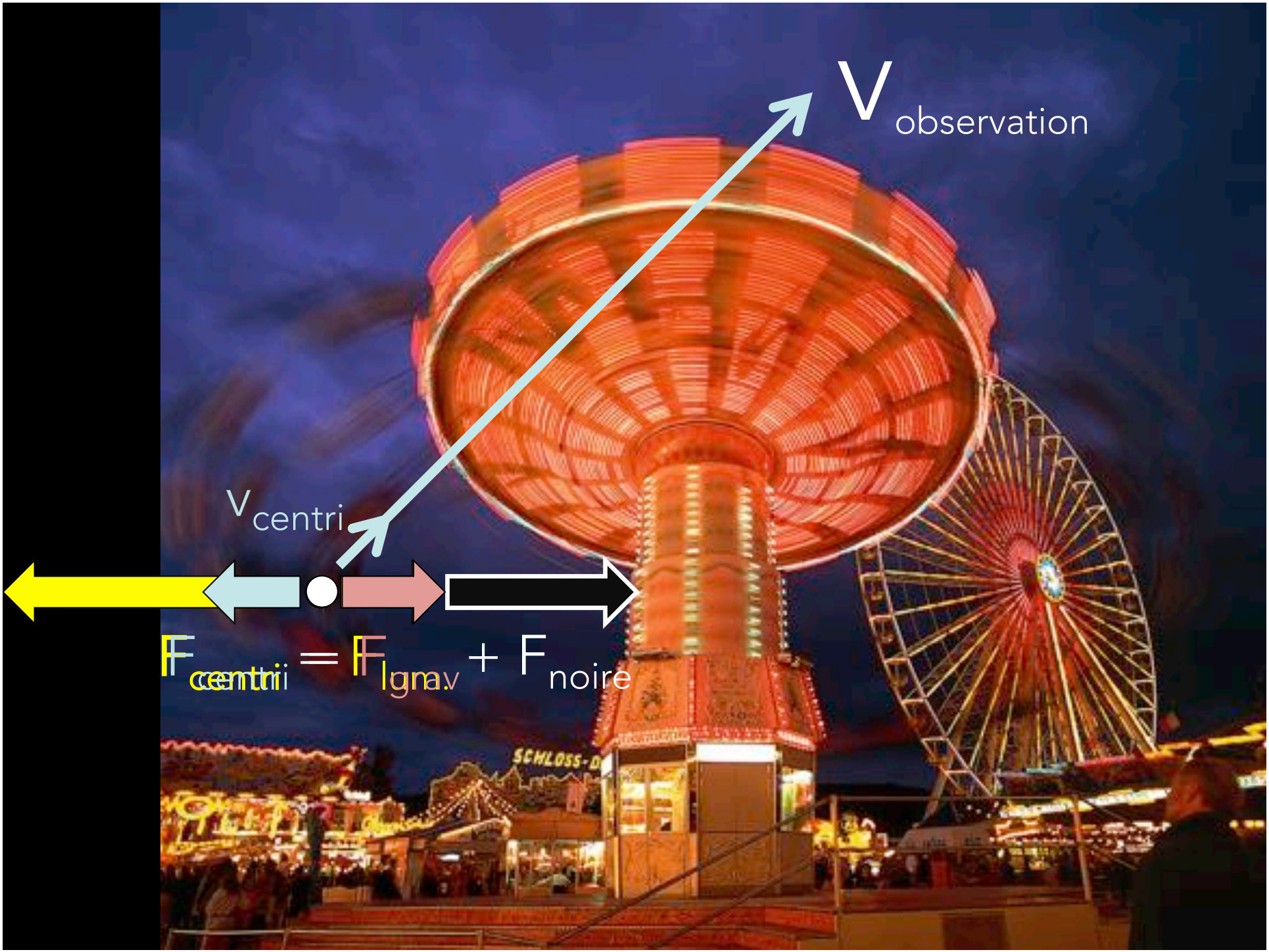
Qu'est ce que la matière noire ?



Fritz Zwicky
(1898-1974)

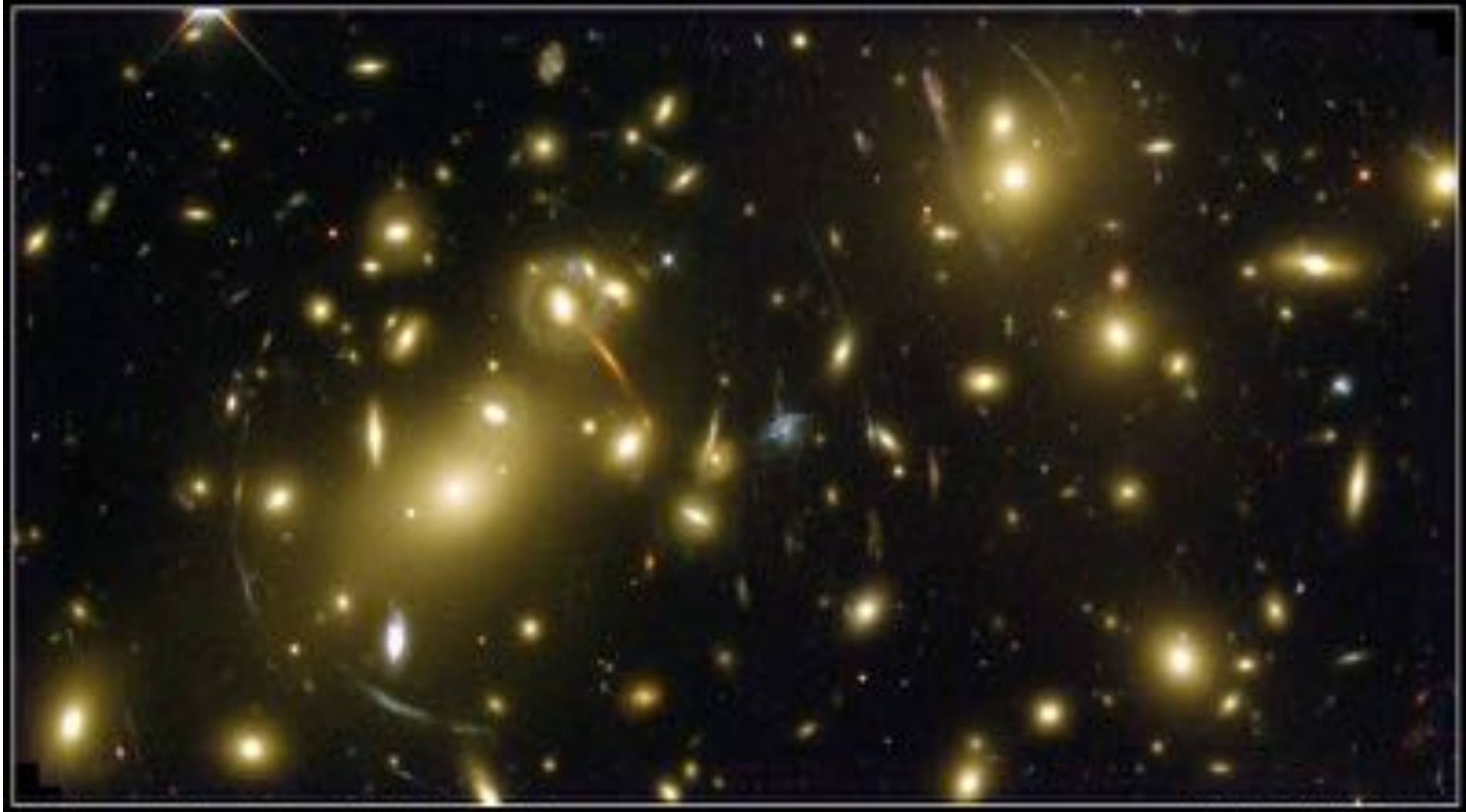

l'amas de Galaxies Coma
Zwicky étudie la distribution des vitesses des Galaxies
sa conclusion : il faut $M_{gravitation} >> M_{visible}$
sinon les galaxies seraient éparpillées par leur vitesse.

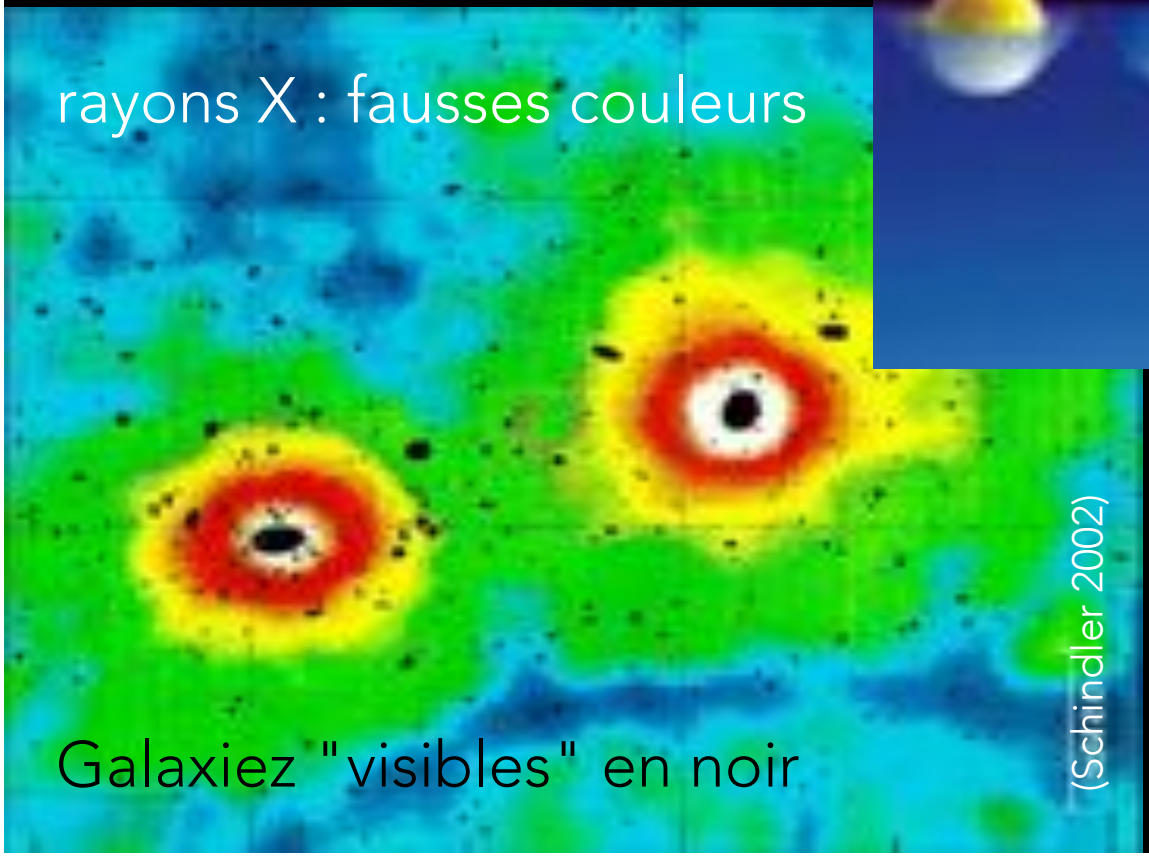

ça tourne ... trop vite
V théorie
V observation
F grav = F centri


V observation
V centri
F centri = F grav + F noire

lentilles gravitationnelles

gravitational lensing par des amas de galaxies => $\Omega_{\text{matière}} \approx 0.3$





les "puits de potentiel"
de la matière noire
sont remplis de gaz chaud

Quelle est la nature de la matière noire?

De la matière « normale » mais obscure?

- ~~poussières?~~
- ~~planètes, astéroïdes?~~
- ~~étoiles noires, brunes, blanches?~~
- ~~trous noirs stellaires?~~
- ~~trous noirs géants?~~

Machos

~~Neutrinos?~~

Axions

Un nouveau type de particule élémentaire stable?

- très légère et très abondante?
- très lourde et très rare?

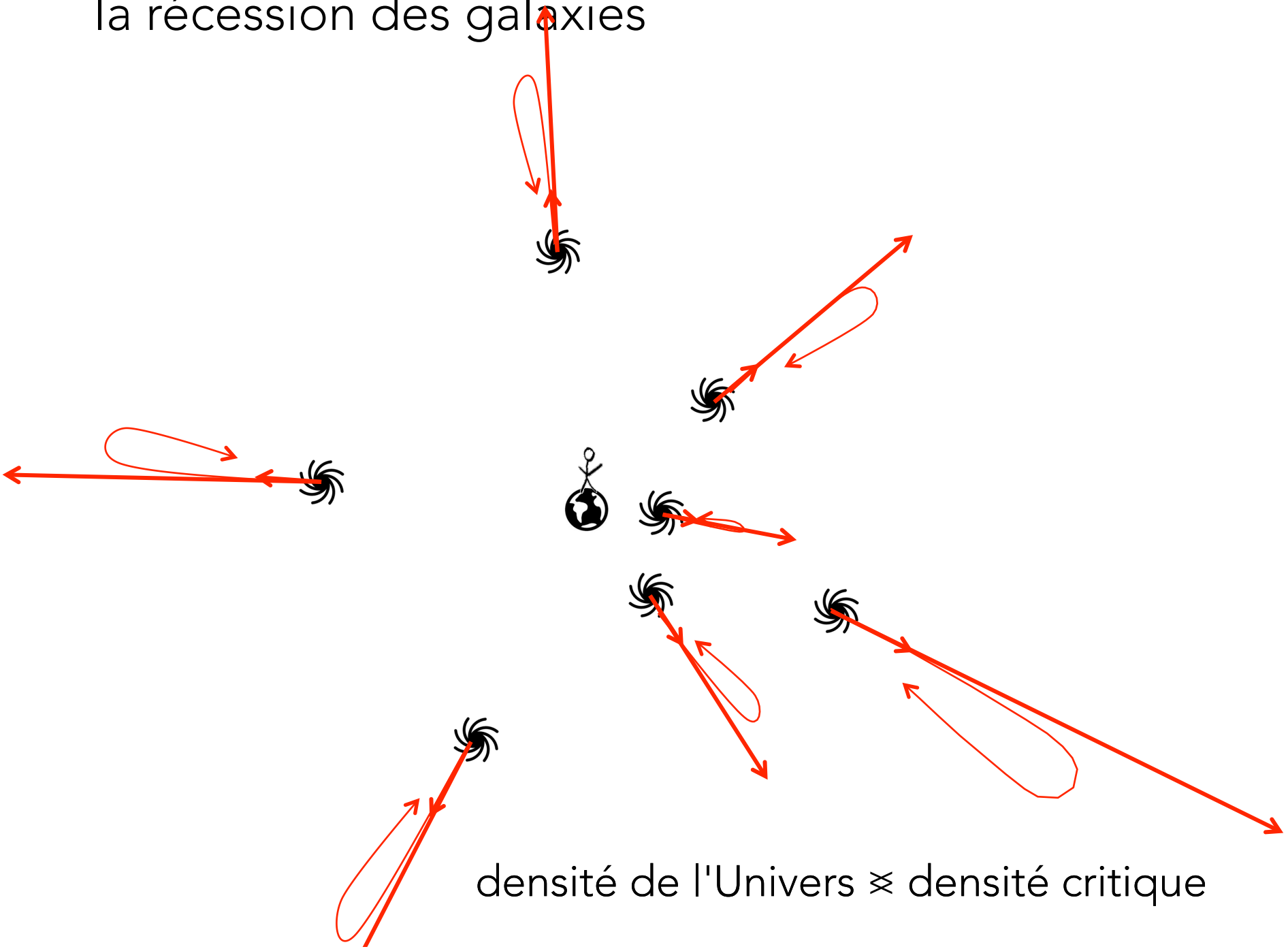
Wimps

~~Gravitation modifiée~~

Qu'est ce que l'énergie noire ?

=>

la récession des galaxies



densité de l'Univers ≷ densité critique

L'expansion de l'Univers : Le Diagramme de Hubble

A RELATION BETWEEN DISTANCE AND RADIAL VELOCITY
AMONG EXTRA-GALACTIC NEBULAE

By Edwin Hubble

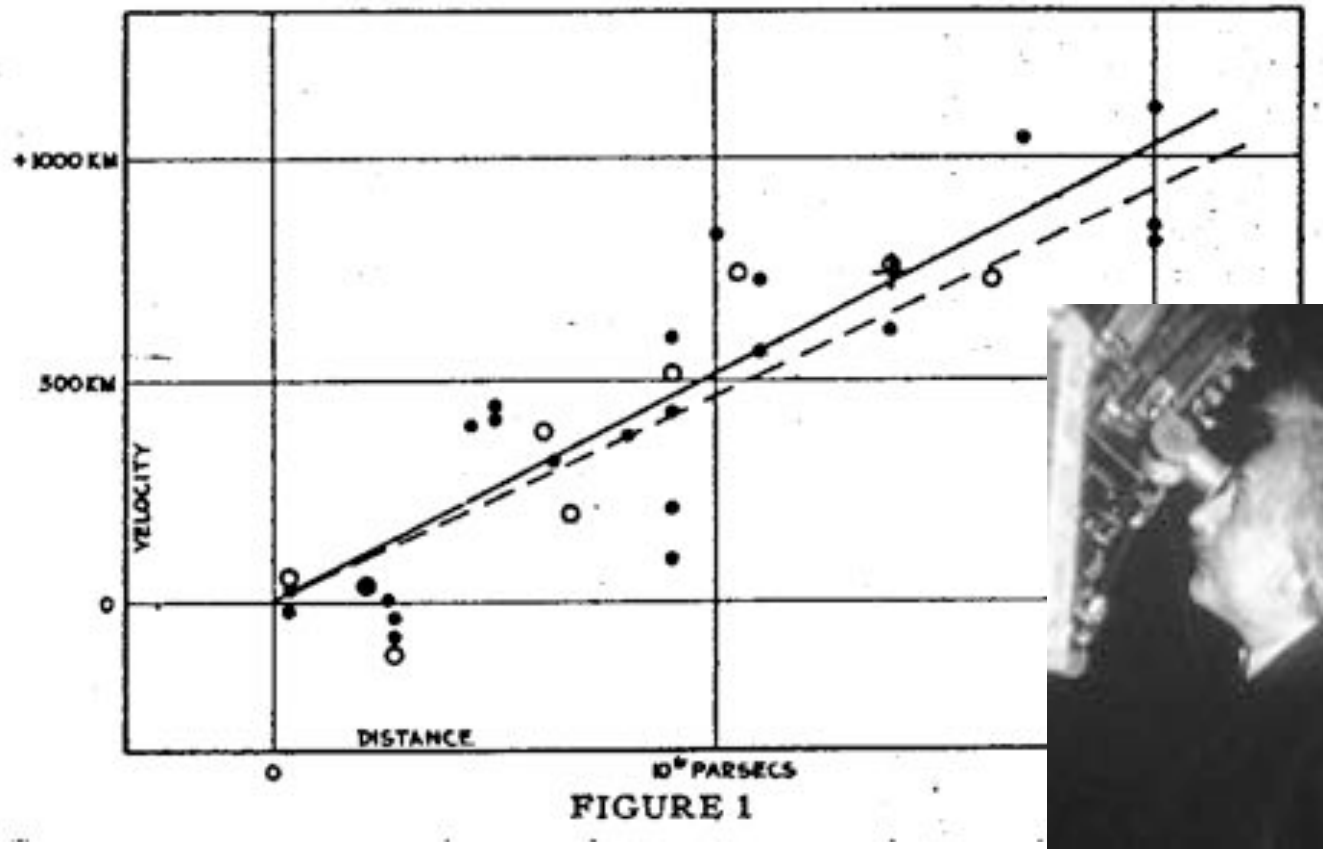


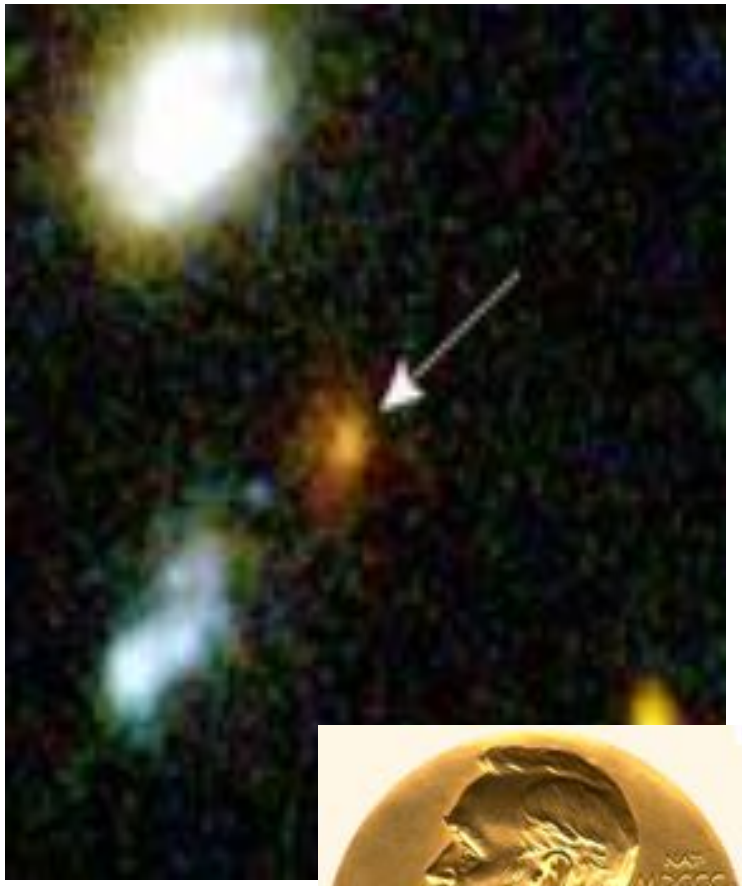
FIGURE 1

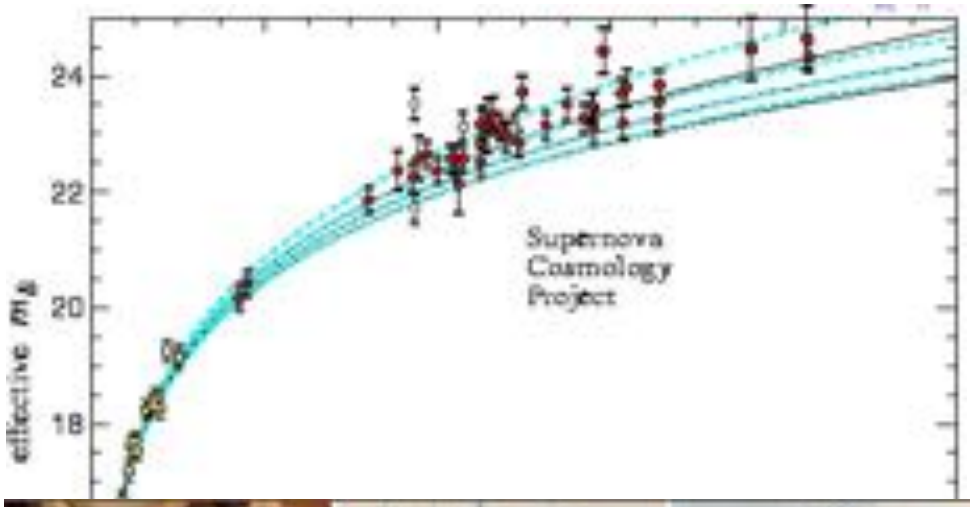
from the Proceedings of the National Academy of Sciences Volume 15 : March 15, 1929 : Number 3

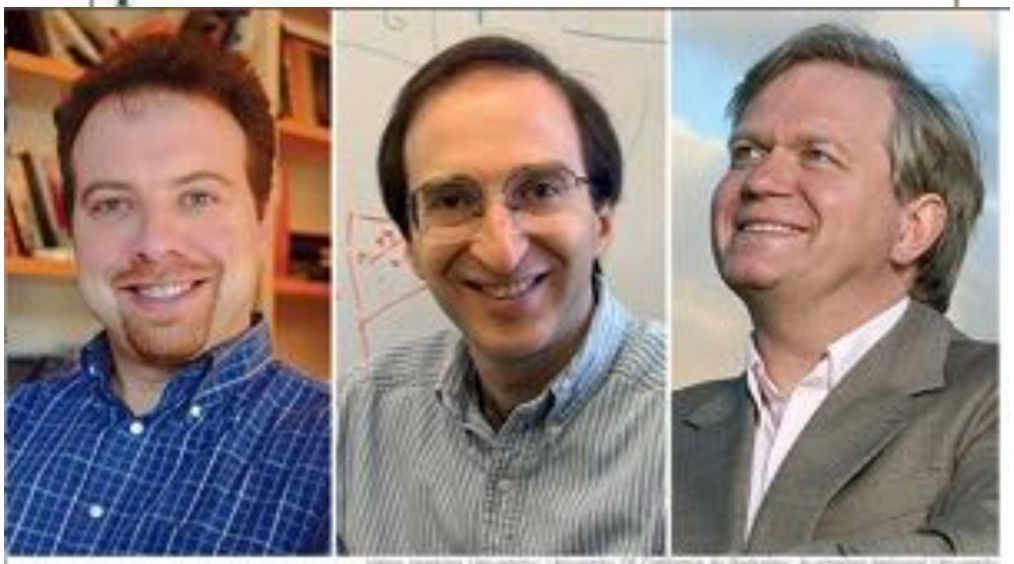
Qu'est ce que l'énergie noire ?

Supernovae de type Ia

le message des chandelles standart SNIa

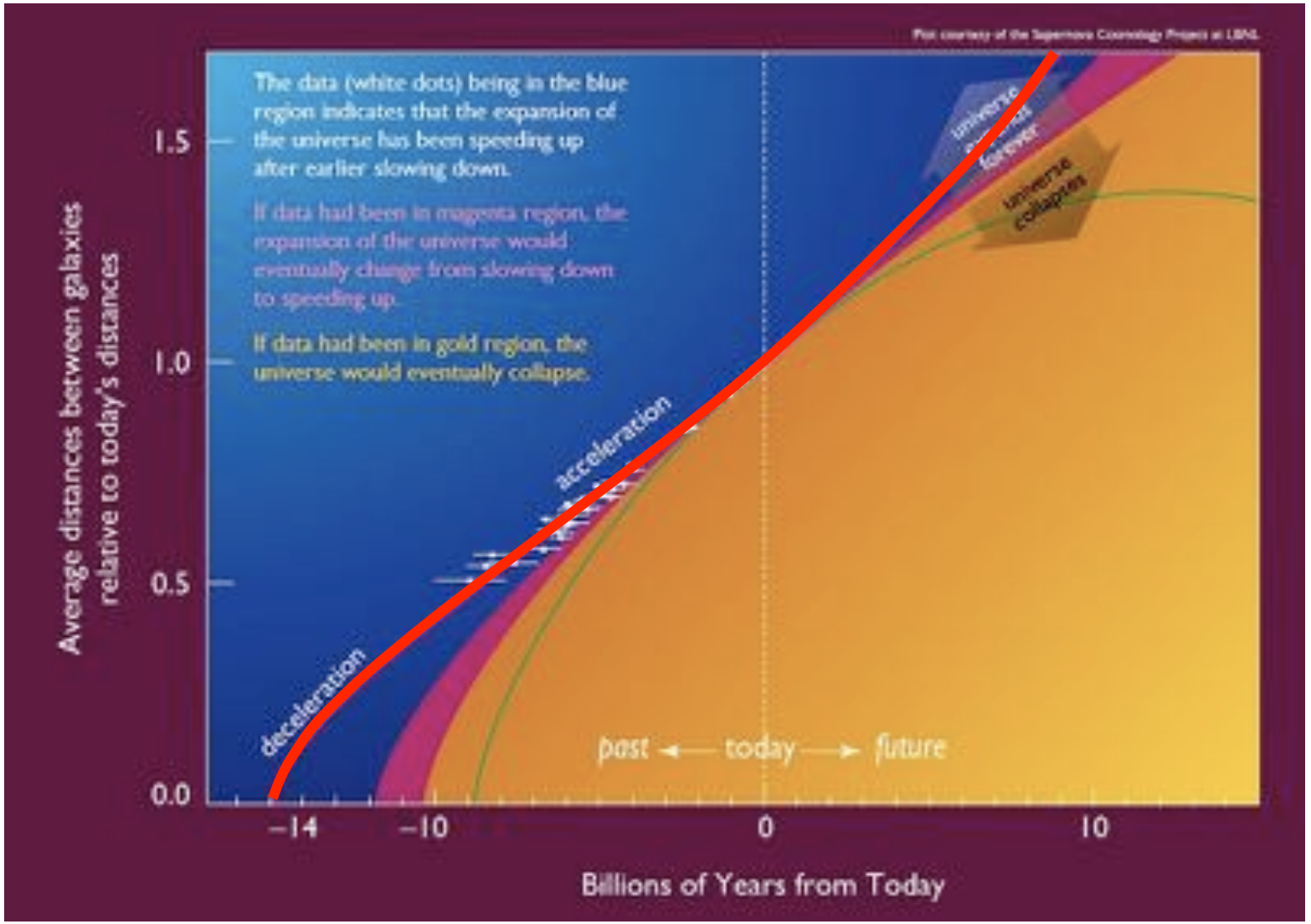




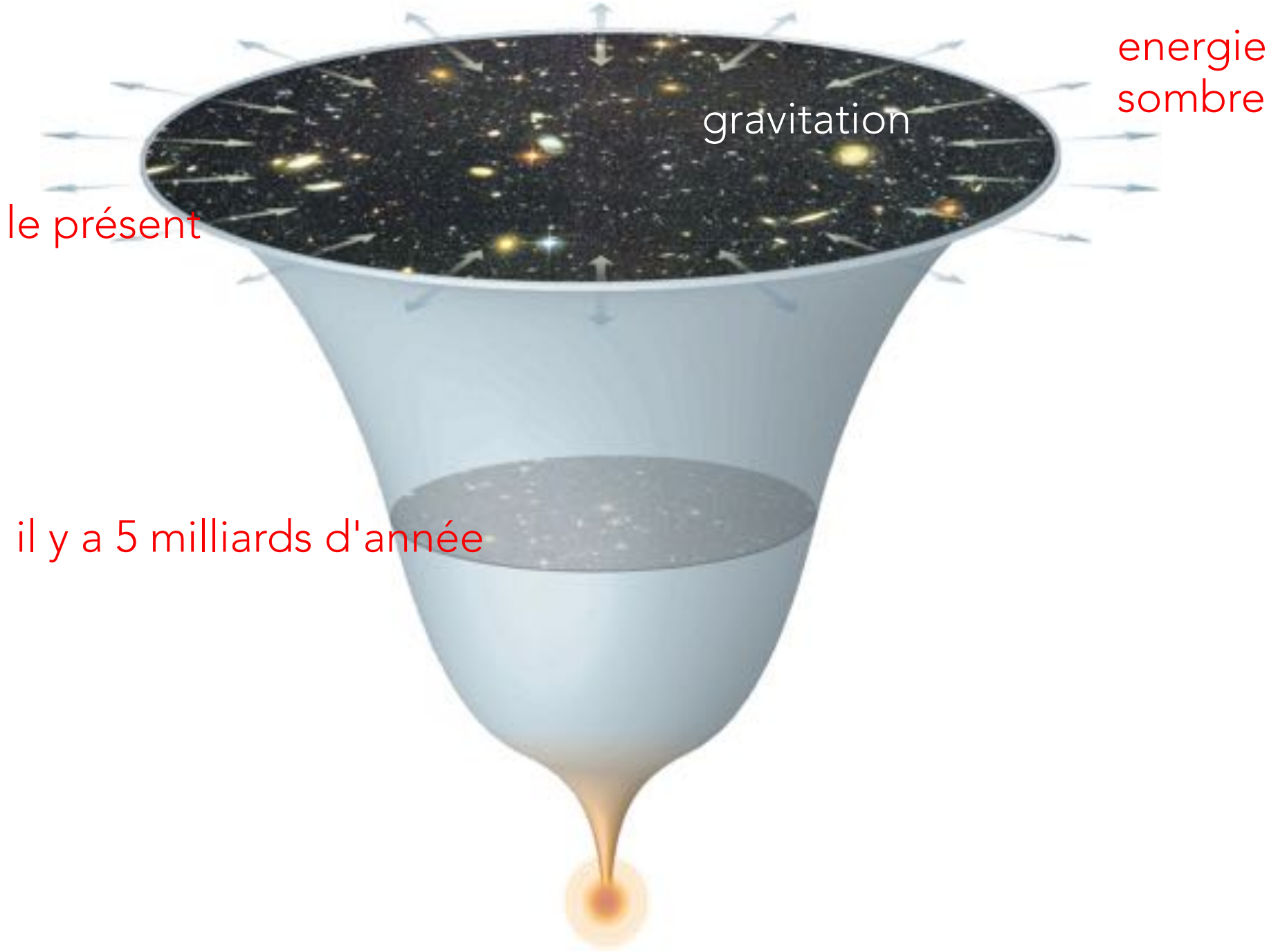


From left, Adam Riess, Saul Perlmutter and Brian Schmidt shared the Nobel Prize in physics awarded Tuesday.

L'histoire de l'expansion universelle



Expansion accélérée -> nouvelle forme d' énergie : l' énergie noire


energie
sombre
gravitation
le présent
il y a 5 milliards d'année

Energie noire

- 70% du bilan énergétique
- répartie de façon extrêmement uniforme dans l'univers
- propriétés opposées à celles de la matière ordinaire (répulsion gravitationnelle)
- ressemble beaucoup à la constante cosmologique d'Einstein

Matière noire

- 25% du bilan énergétique
- répartie à peu près comme les étoiles, mais en plus diffus
- propriétés analogues à la matière ordinaire, quoique elle interagisse moins
- longue liste de candidats rejetés
- liste encore plus longue de candidats imaginés

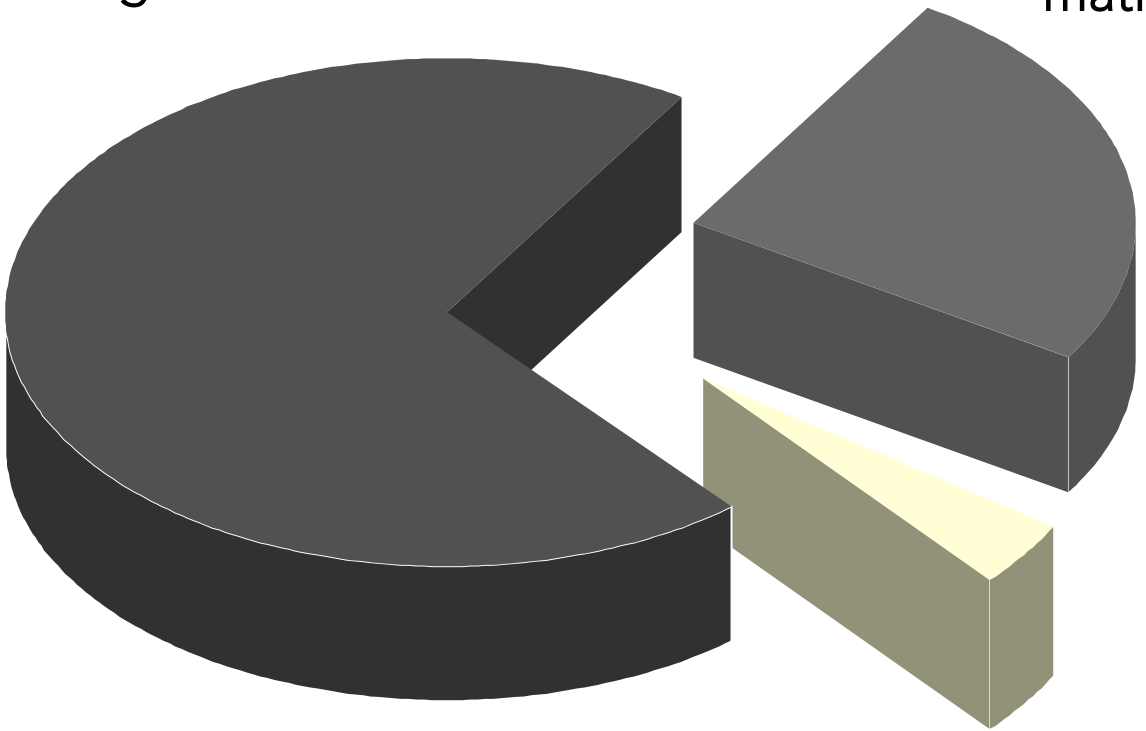
dans la salle de contrôle de l'Univers

la constante cosmologique

l'Univers est constitué de :

énergie sombre 68.3 %

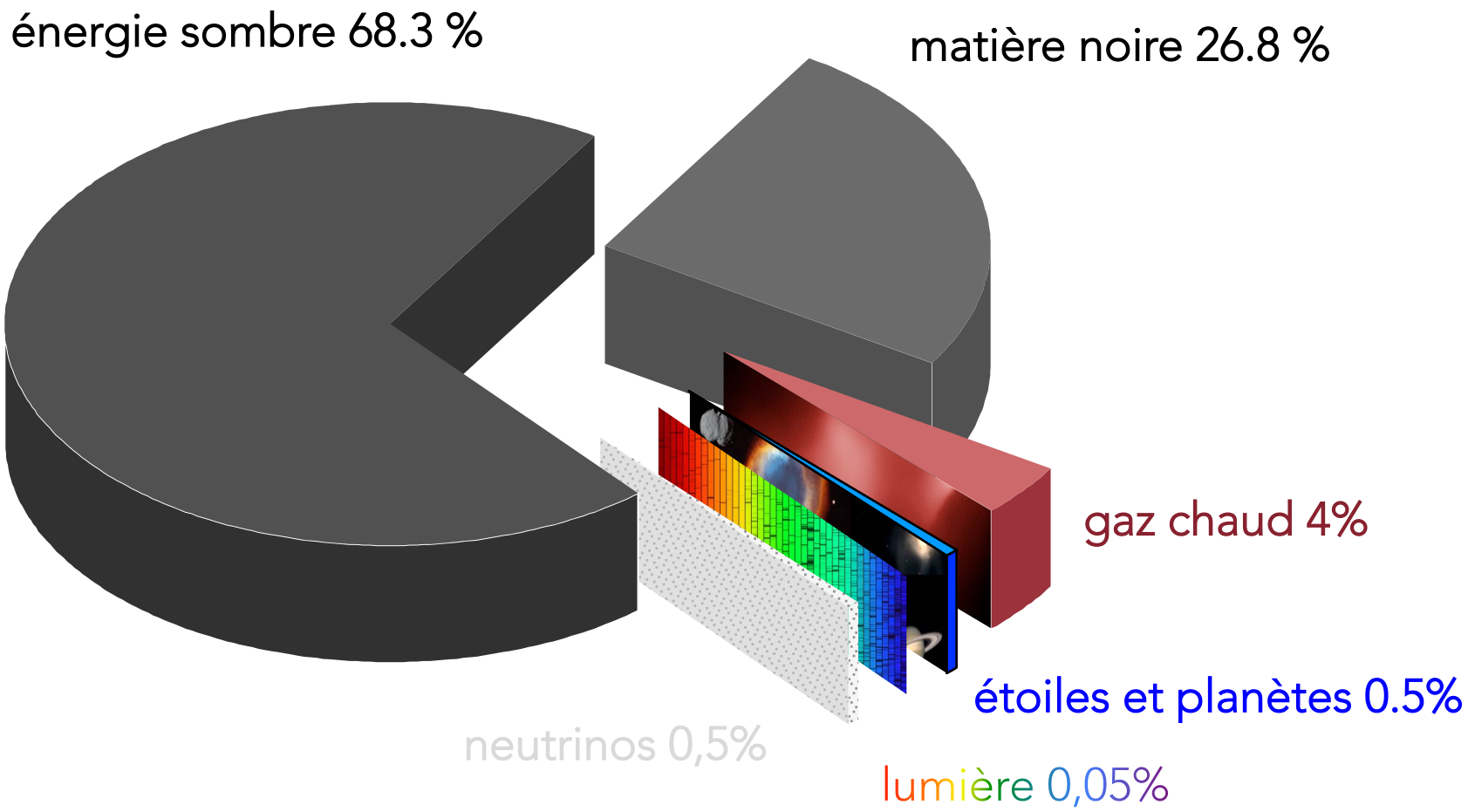
matière noire 26.8 %



matière baryonique 4.9 %

selon les données Planck/ESA (3/2013)

l'Univers est constitué de :



la pointe de l'iceberg :

étoiles et planètes

gaz chaud

lumière

neutrinos ....

la pointe de l'iceberg

matière 4.9 %

matière noire 26.8 %

énergie sombre 68.3 %