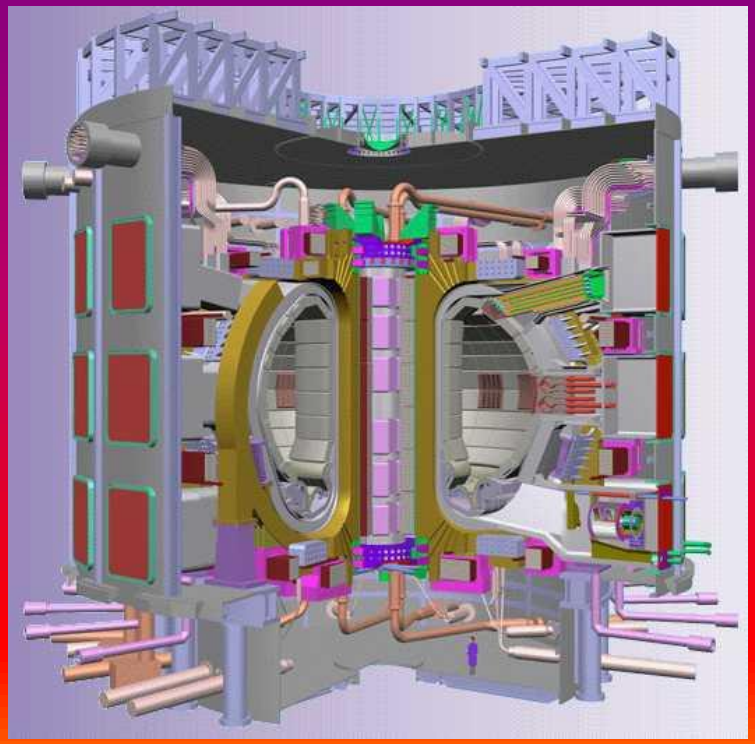
Le soleil

& Iter

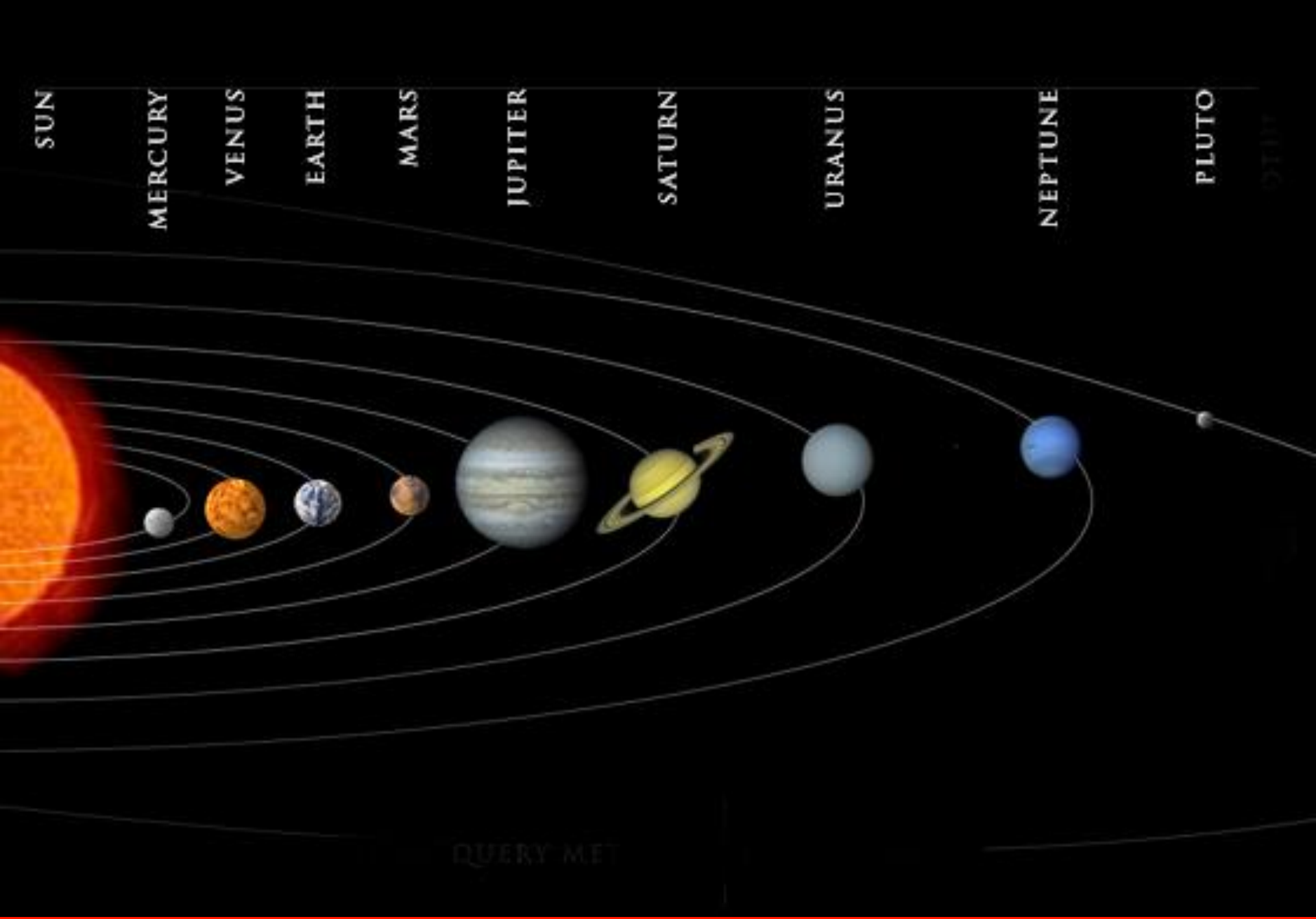


Association d ’astronomie loi 1901

31 Avenue de l ’Etoile

44500 La Baule Escoublac

TEL : 02 40 15 30 93



Notre système solaire

Comment connaît-on le soleil ?

Intérieur	Héliosismologie - Phénomènes d ’oscillations.
	Flux des neutrinos.
Masse	Observation du mouvement des planètes
Rayon	Mesures échos radar.
Rayonnement	Mesuré par satellites hors atmosphère terrestre.
Age	Mesure de la radioactivité terrestre et des météorites.
Histoire	Observation des autres étoiles.

Comment observe t-on le soleil ?

De la Terre

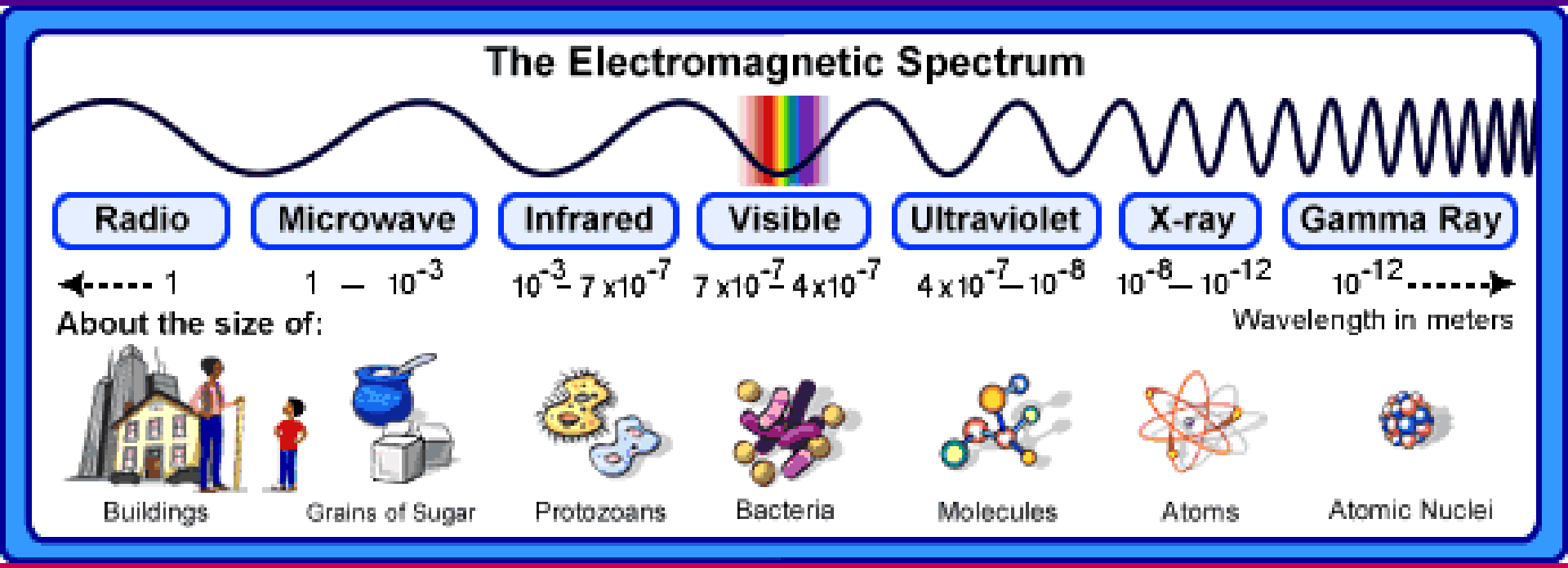
En orbite à quelques centaines de km de la Terre

En orbite …. Encore plus loin !

Avec des instruments spécifiques

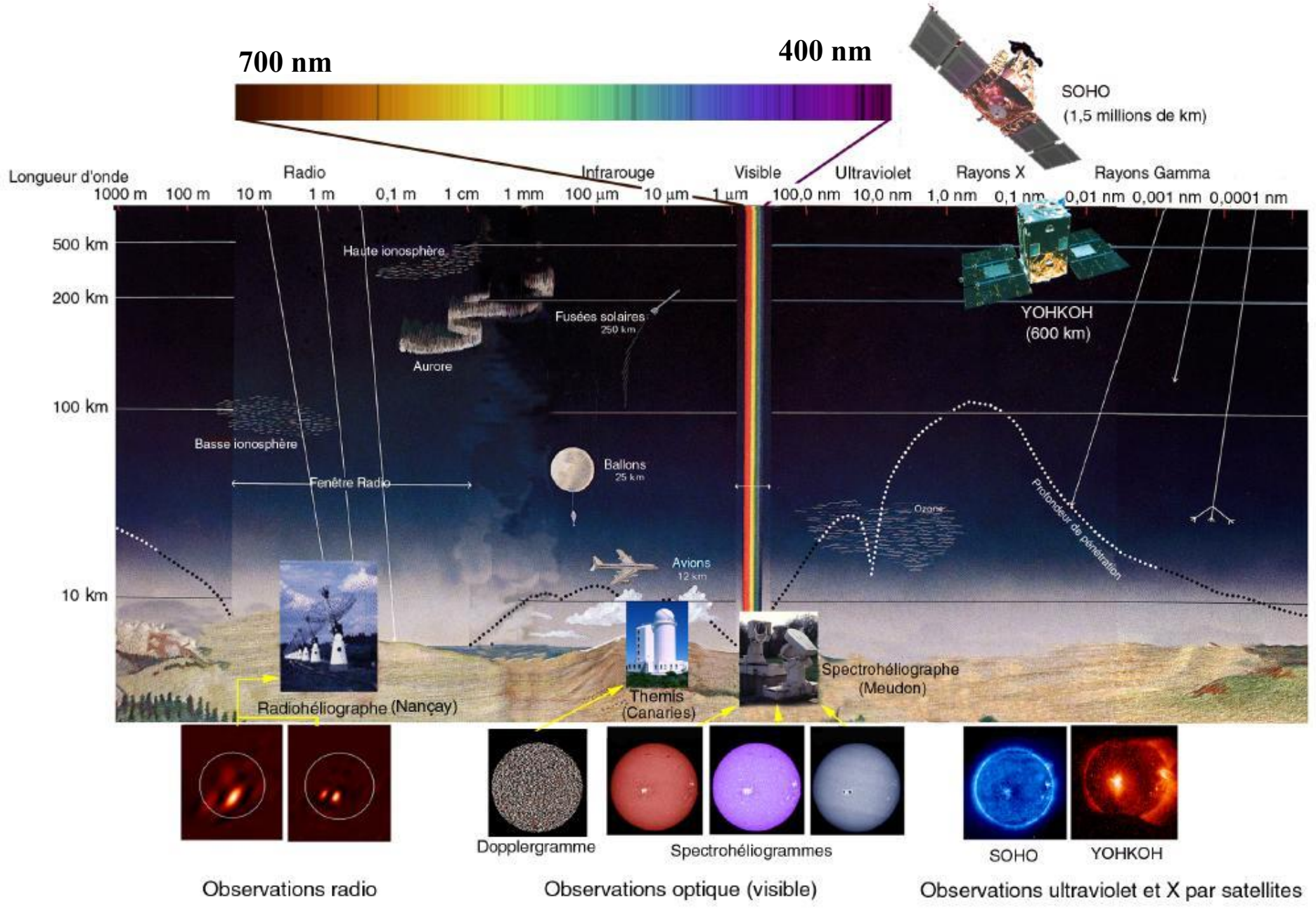
Dans des longueurs d ’ondes différentes

L ’œil ne voit pas grand chose ...

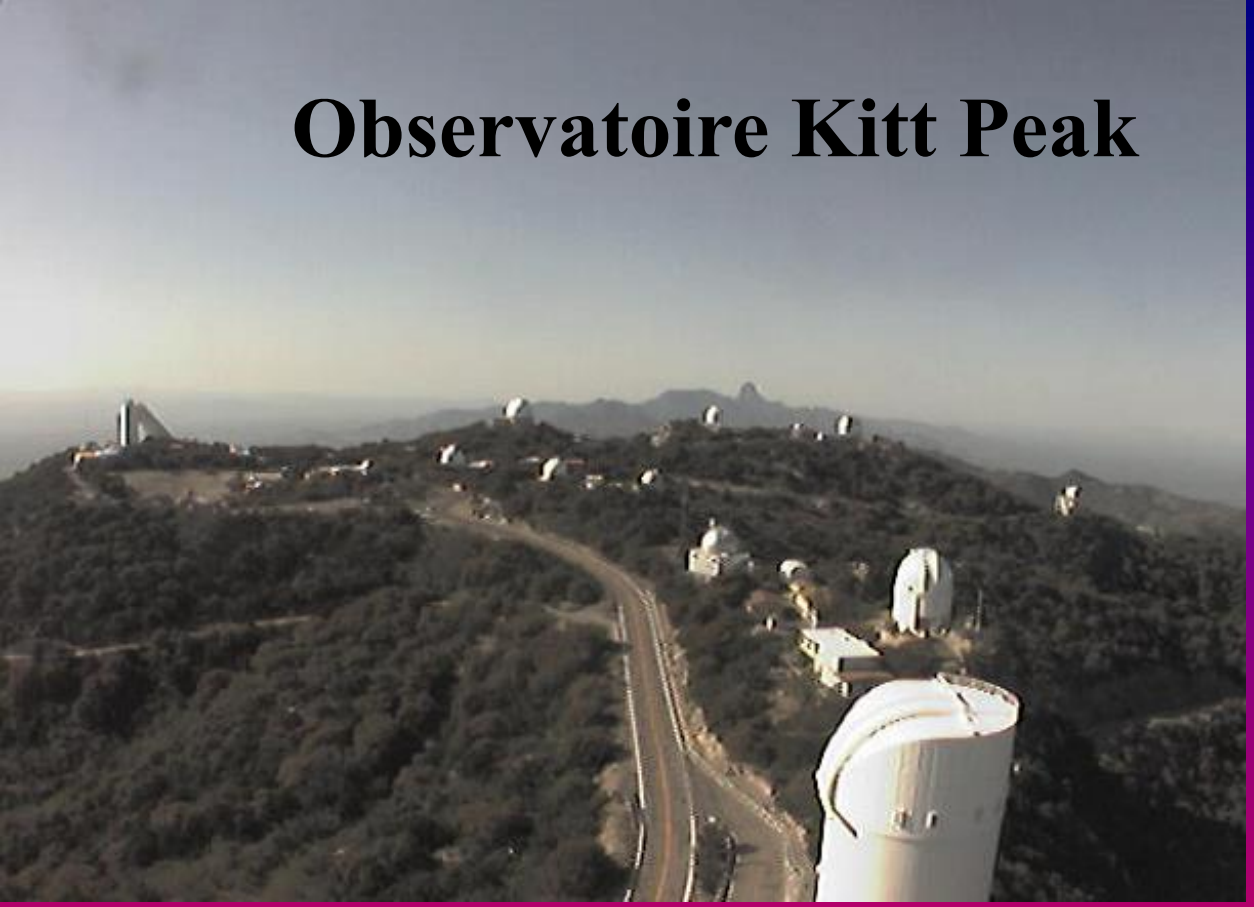


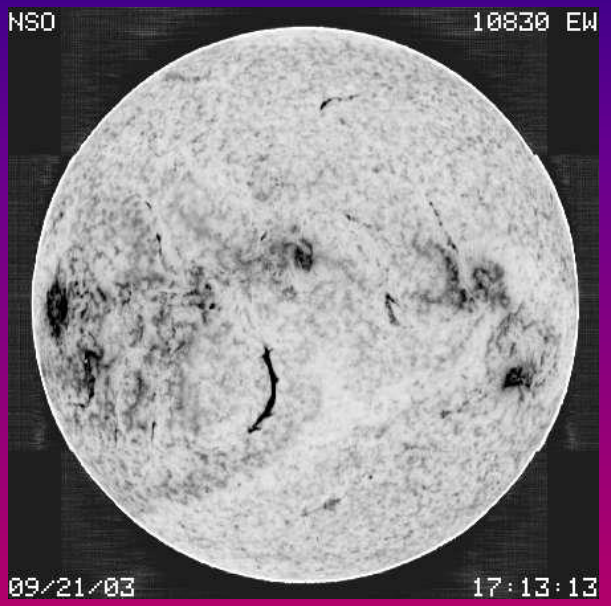
Energie du rayonnement

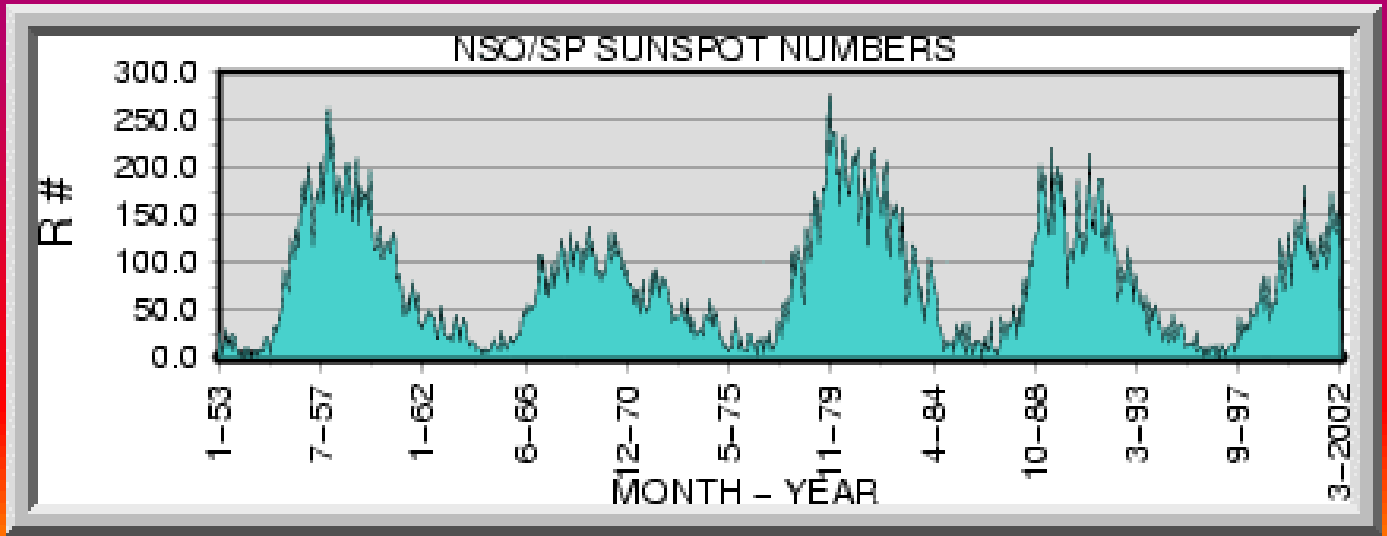
Impact de notre atmosphère



Observatoire Kitt Peak







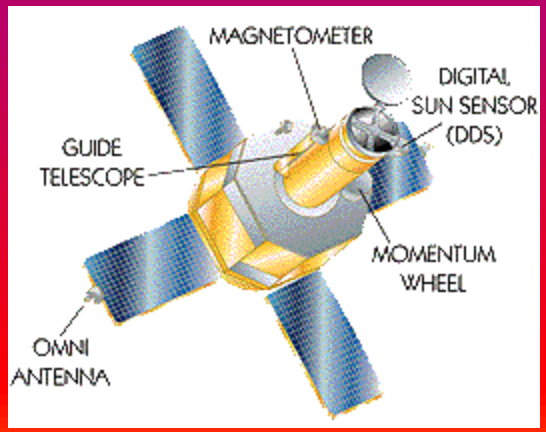
Satellite Trace

Lancement fin 1997

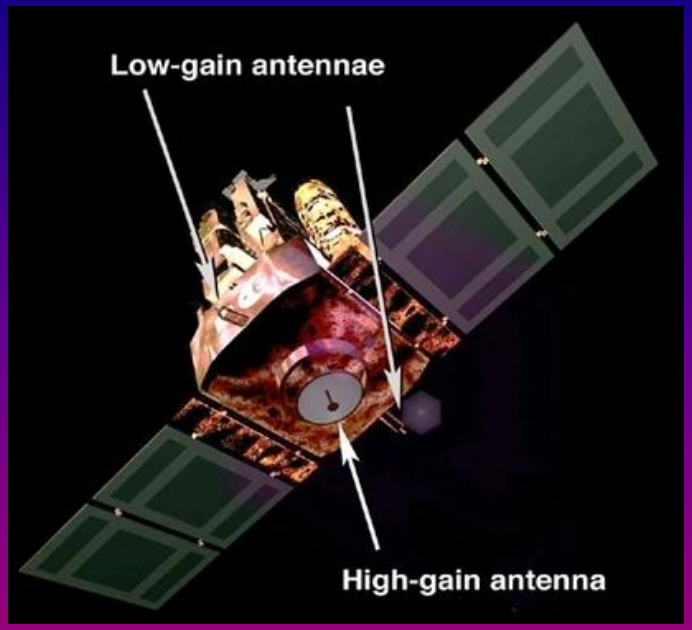
Orbite basse 600 x 650 km

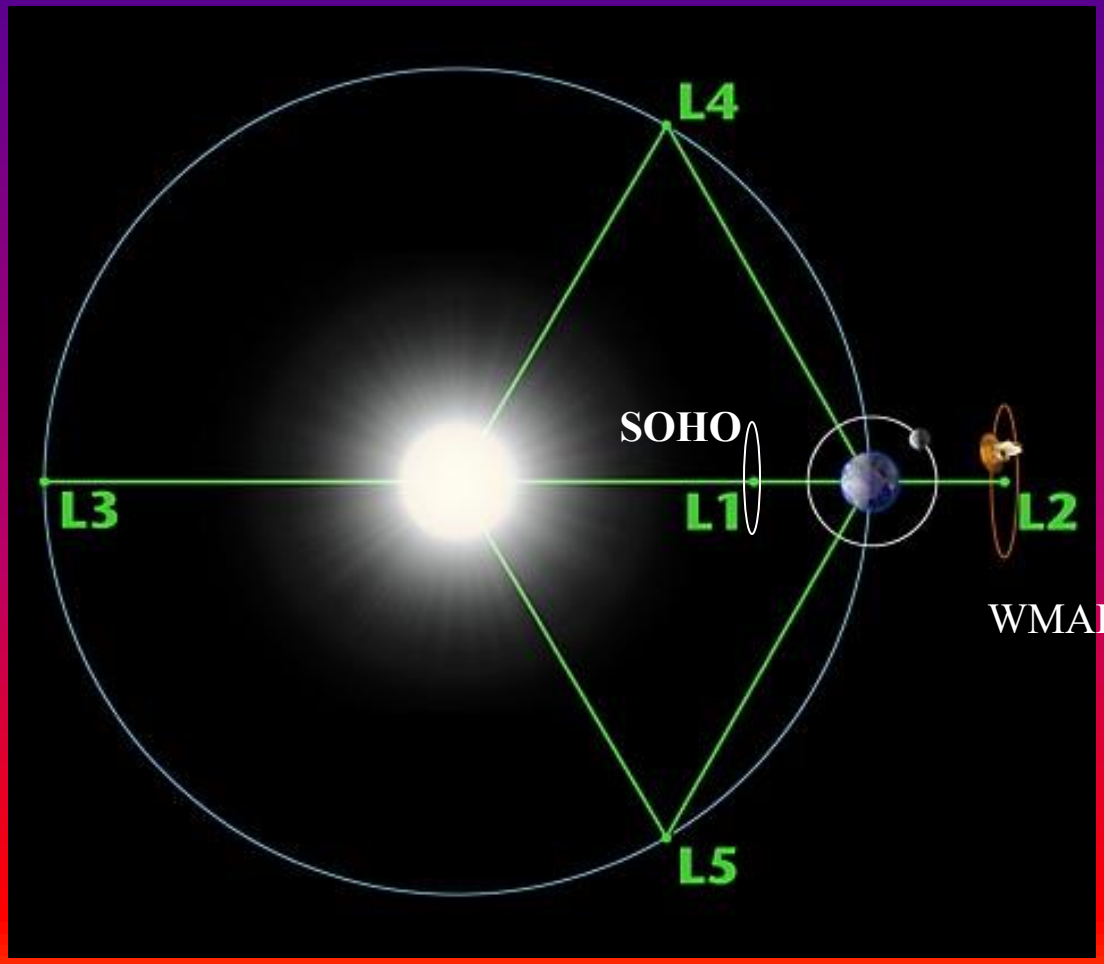
Analyse magnétique du soleil

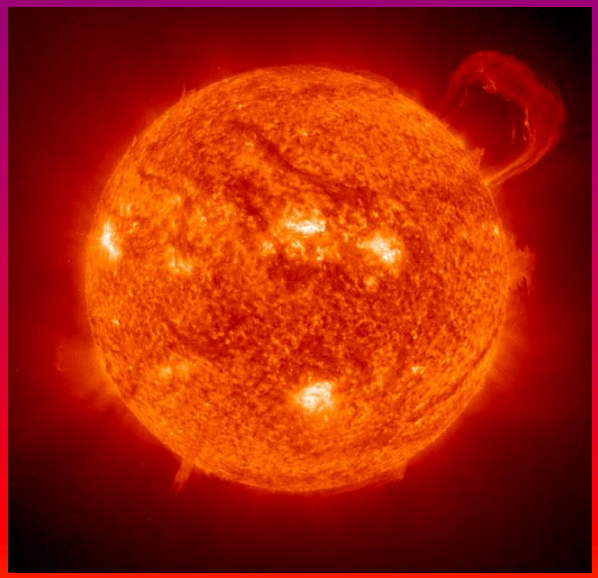
→ mouvements de plasma



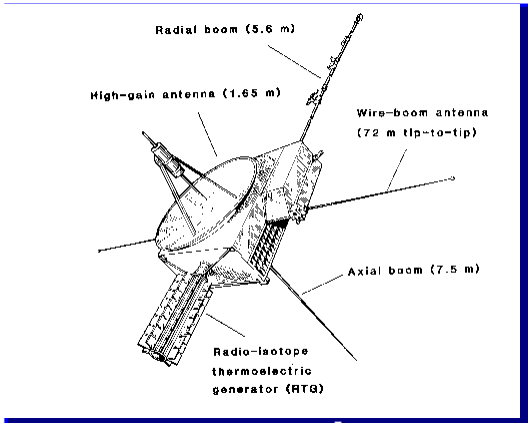
Satellite SOHO







Satellite Ulysses



Ulysses
First Solar Orbit

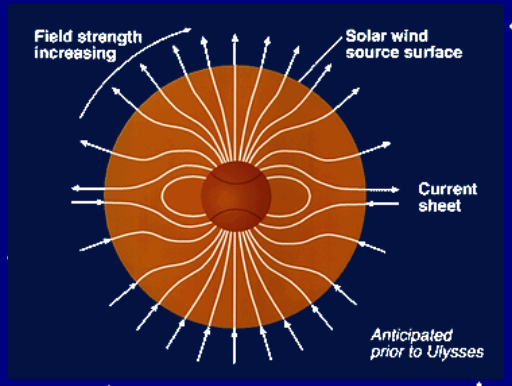
North Polar Pass
Jun-Sep 1995

1996
1997
1998
1992
1991
1995
1993
1994

Earth Orbit
Sun
Perihelion
Mar 1995
Launch
06.10.1990
Jupiter Orbit

Jupiter Fly-by
Feb 1992

South Polar Pass
Jun-Nov 1994



★ Ulysses position on 01.10.1997

Quelques chiffres

Masse ≈ 99,9 % masse du système solaire

Diamètre ≈ 109 fois celui de la Terre

Densité moyenne ≈ 1,4 (Eau = 1 , Terre ≈ 5,5)

Température surface (Photosphère) ≈ 5700 K

Température centre ≈ 15 millions K

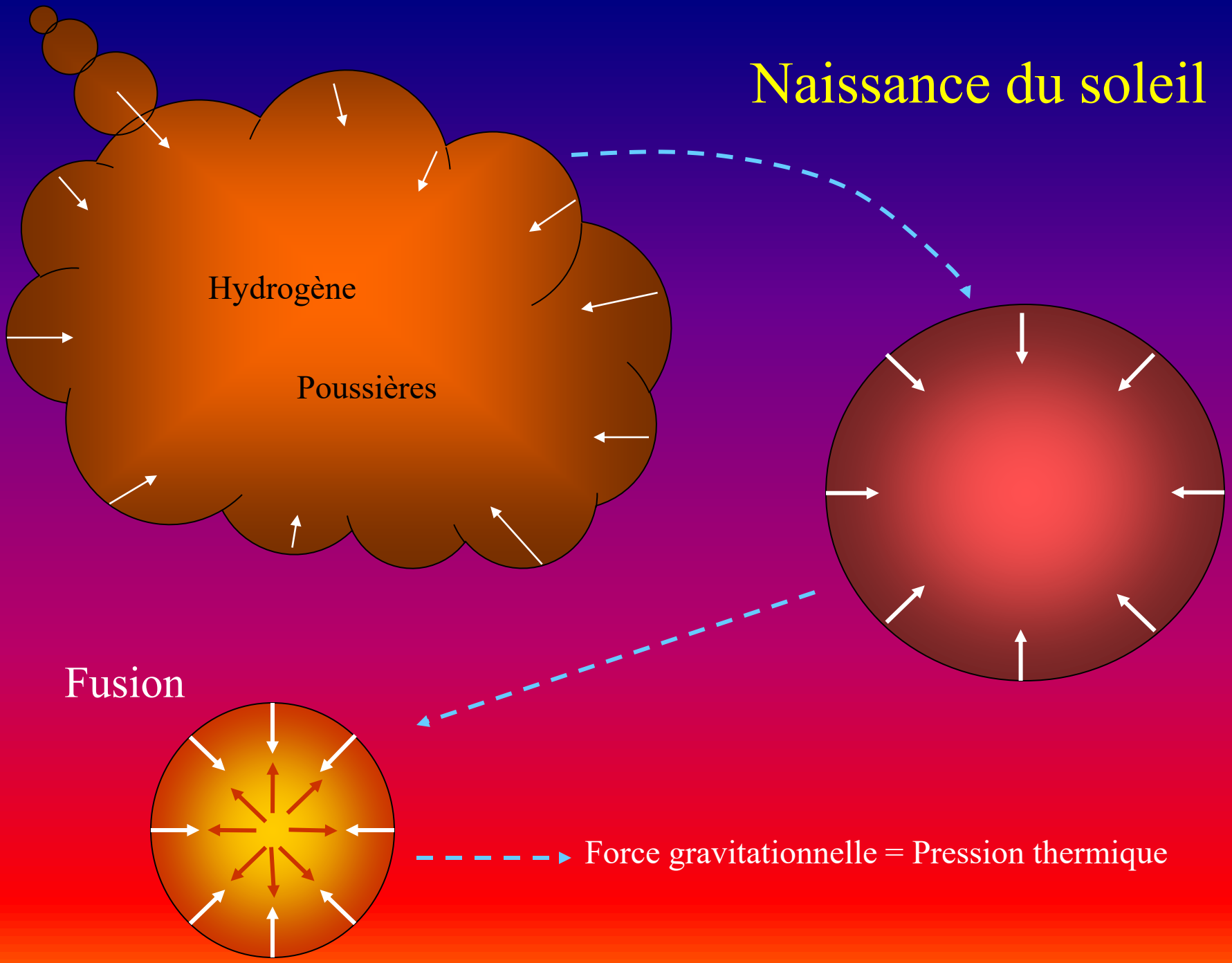
Rotation : 26 jours à l ’équateur - 37 jours aux pôles.

Cycle magnétique : 11 ans

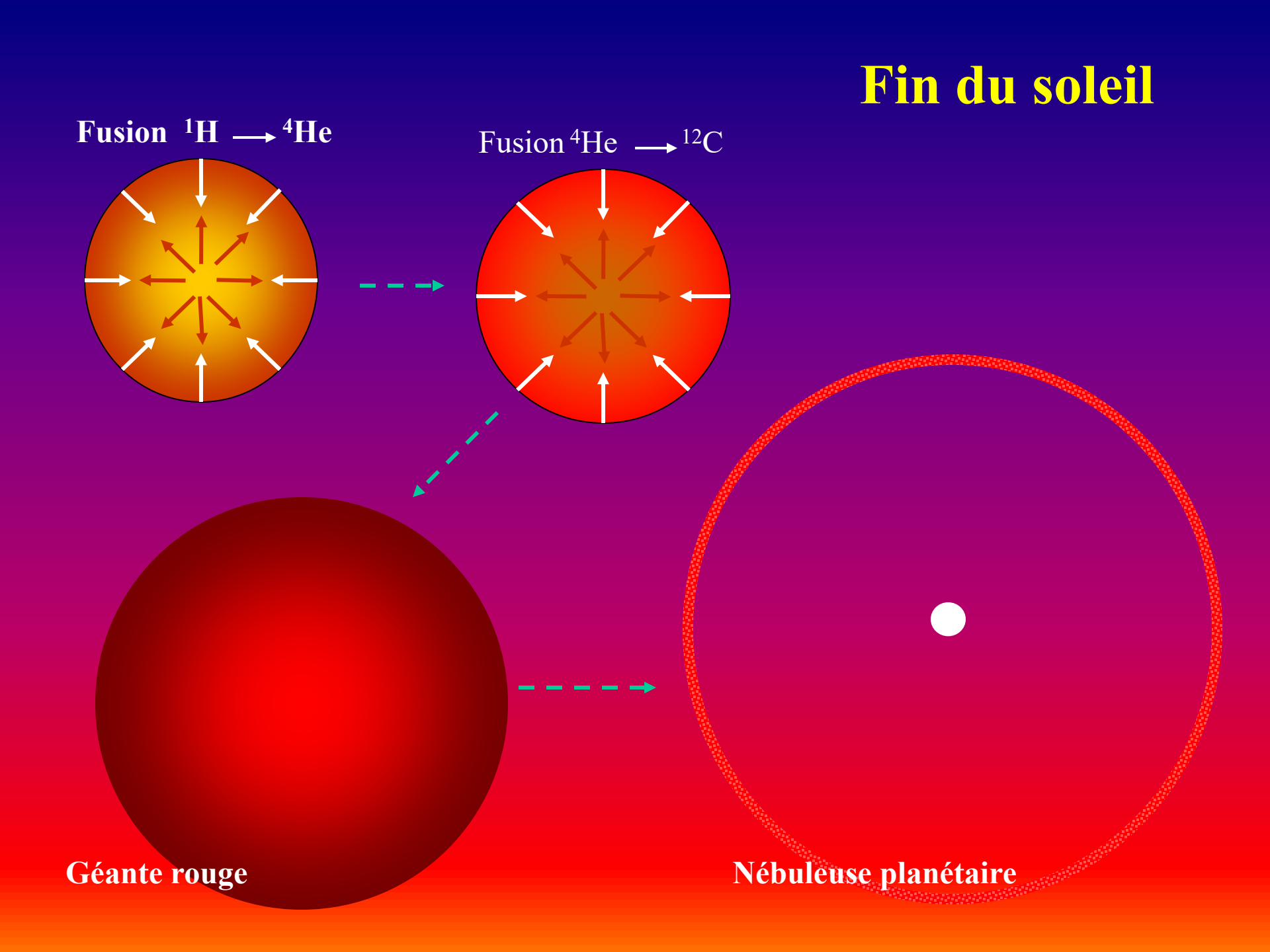
Révolution dans la galaxie ≈ 250 millions années

Age ≈ 5 milliards d ’années

Naissance du soleil



Fin du soleil



Quelques chiffres

Rayonnement solaire : 4 x 10^{20} MW

Puissance centrale nucléaire Flamanville : 2 x 1300 MW

Puissance centrale nucléaire du Bugey : 4 x 900 MW

Puissance centrale Cordemais : 3100 MW

Consomme 140 T fuel & 200 T charbon / heure

Puissance consommée par un TGV : 6 à 9 MW

Combustion totale d ’un « soleil charbon » en 5000 ans.

Derniers chiffres ...

Chaque seconde, le soleil transforme :

600 millions de tonnes d'hydrogène en

596 millions de tonnes d'hélium

Chaque seconde, le soleil éjecte :

2 millions de tonnes de matière dans l 'espace

Composition du Soleil

	Nb Atomes	Masse
Hydrogène	92,1 %	75 %
Hélium	7,8 %	25 %

+

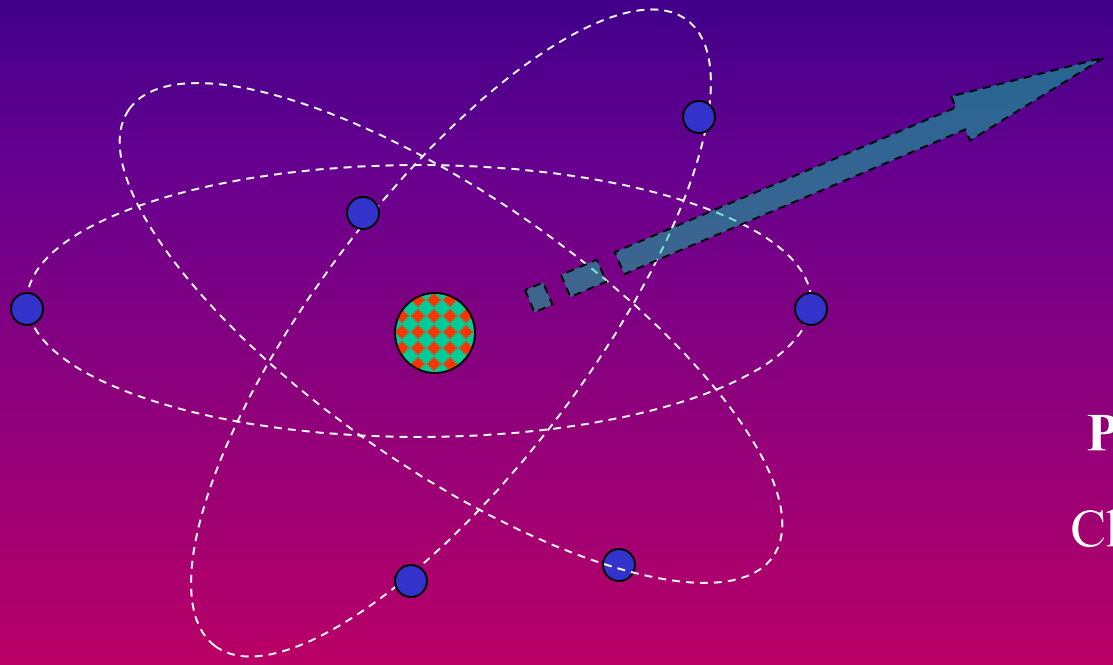
Oxygène Carbone Azote Néon

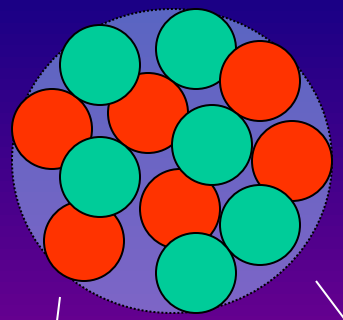
Magnésium Fer Silicium ….

→ **PLASMA**

Chiffres Soho

L ’atome





Noyau

Proton

Charge >0

Neutron

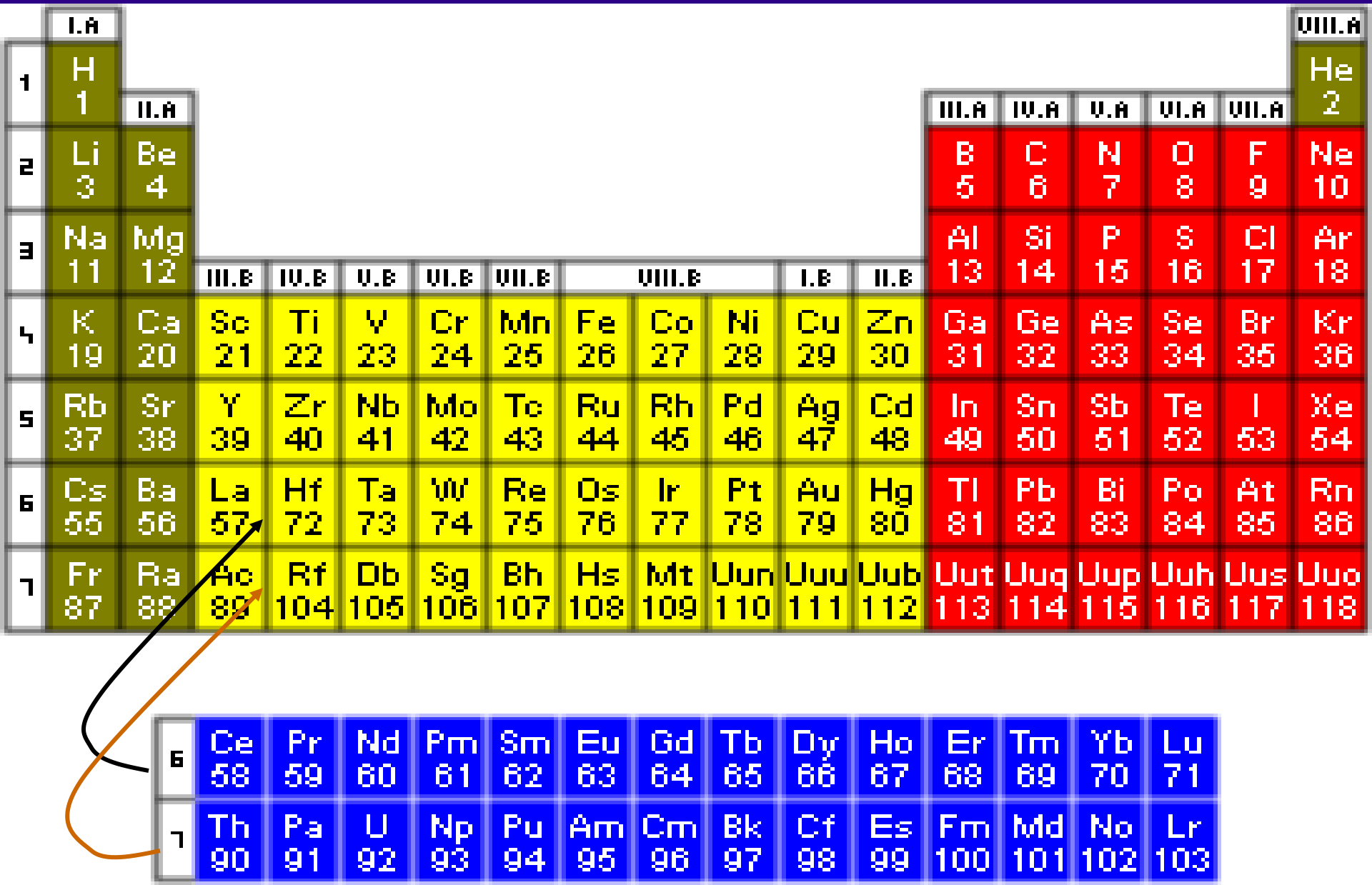
Charge = 0

Electron

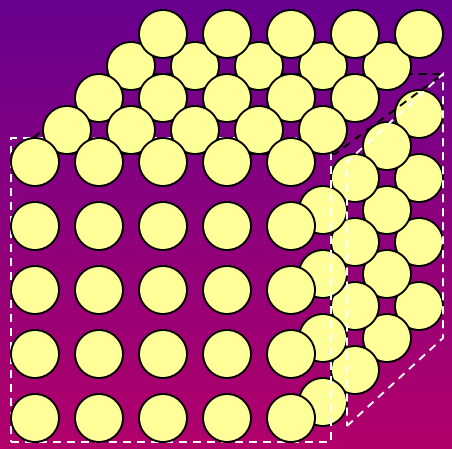
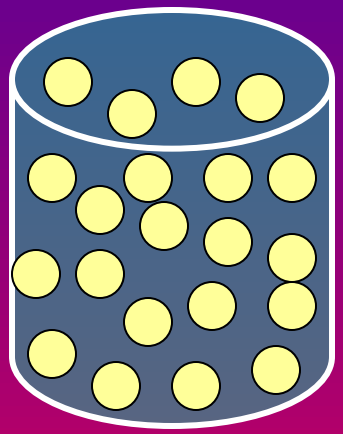
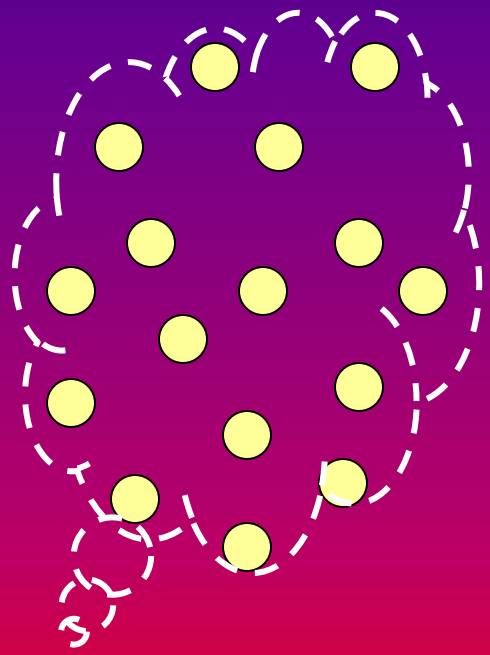
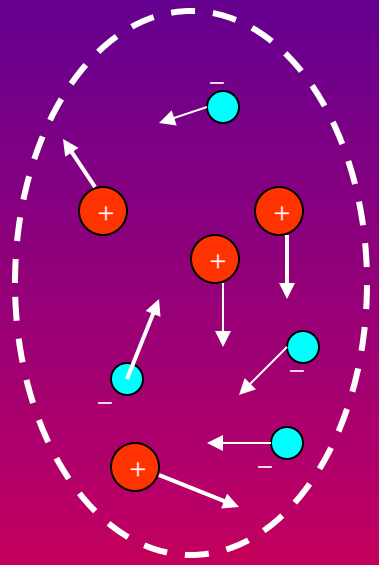
Charge <0

Le nombre de protons définit l ’élément

Classification périodique des éléments



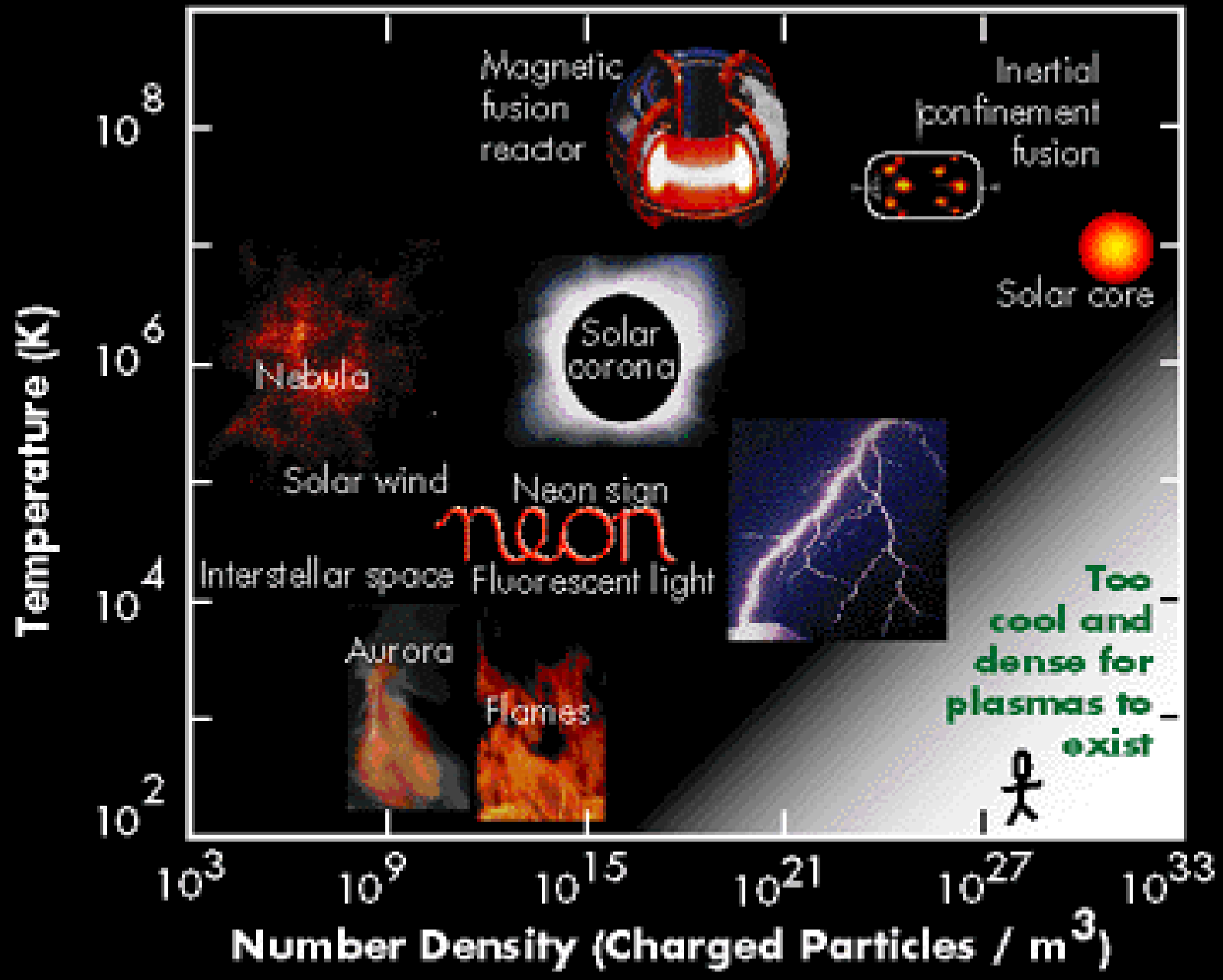
Les 4 états de la matière

SOLIDE	LIQUIDE	GAZ	PLASMA
			
H_2O Glace	Eau	Vapeur	Gaz ionisé
T < 0°	0° < T < 100°	T >100°	T > 100.000°

LE PLASMA ...

99% de l'univers ...

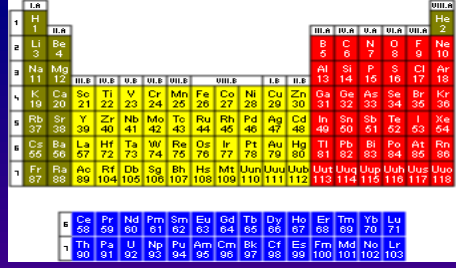
Selon les astrophysiciens.


Magnetic fusion reactor
Inertial confinement fusion
Solar core
Nebula
Solar corona
Solar wind
Neon sign
neon
Interstellar space
Fluorescent light
Aurora
Flames
Too cool and dense for plasmas to exist
Temperature (K)
10^8
10^6
10^4
10^2
10^3
10^9
10^{15}
10^{21}
10^{27}
10^{33}
Number Density (Charged Particles / m^3)

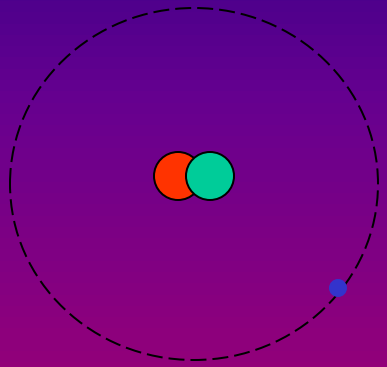
L ’énergie du soleil :

La fusion de l ’hydrogène

Hydrogène



Deutérium

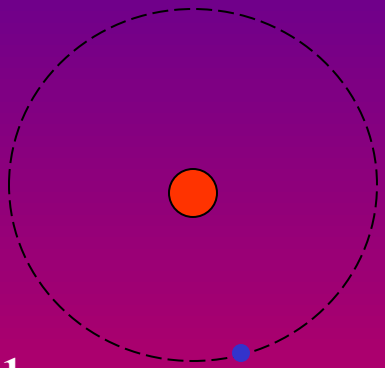


D ou ^{2}H

Stable

0,015%

← isotopes

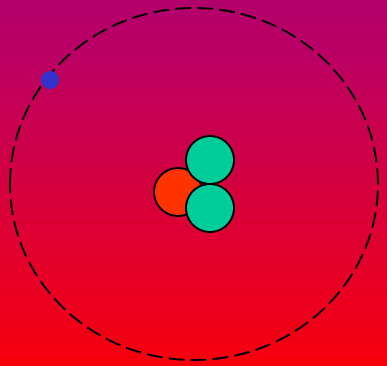


^{1}H

Stable

99,98%

Tritium



T ou ^{3}H

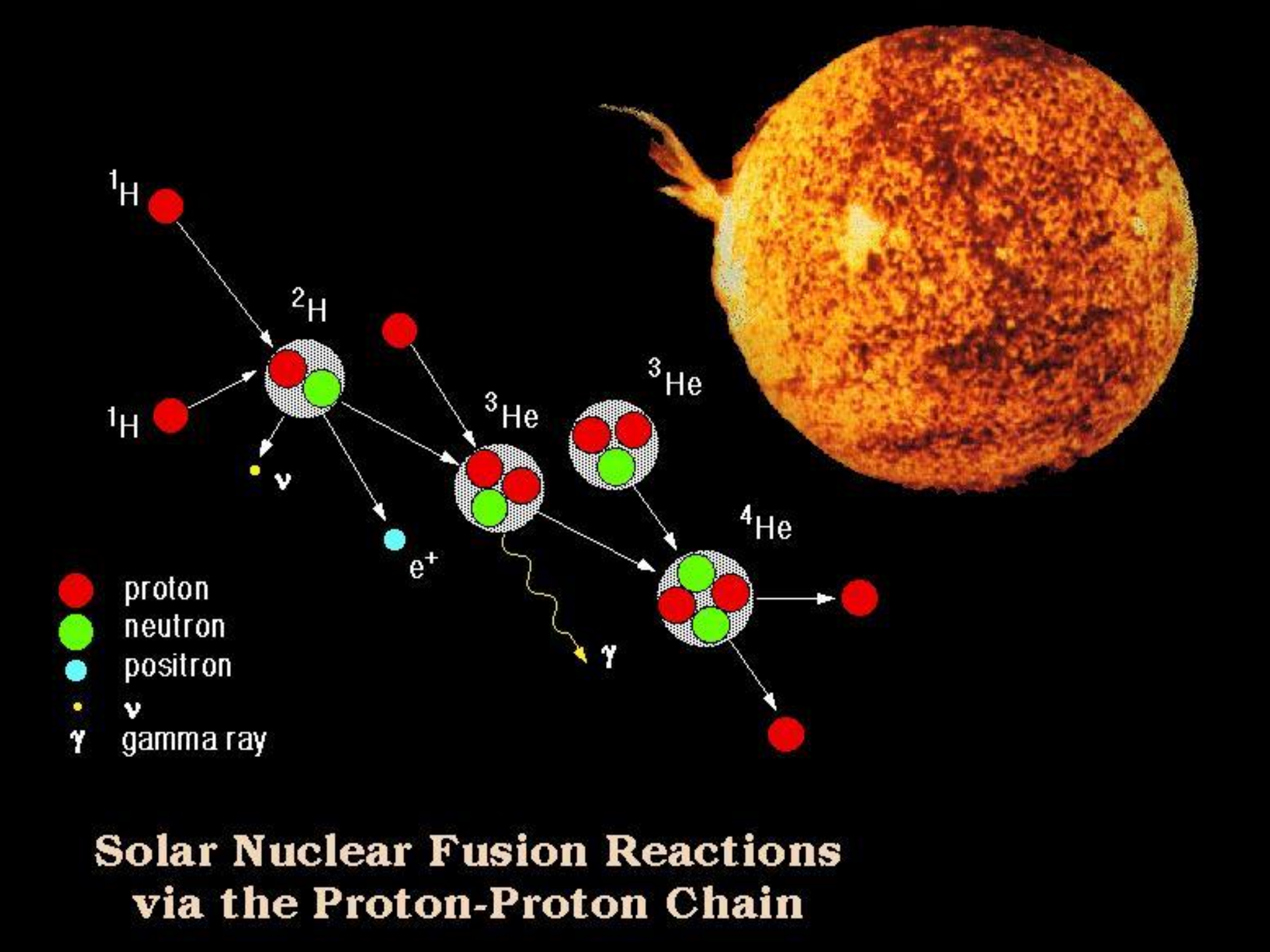
Instable

période 12,3 ans

Proton

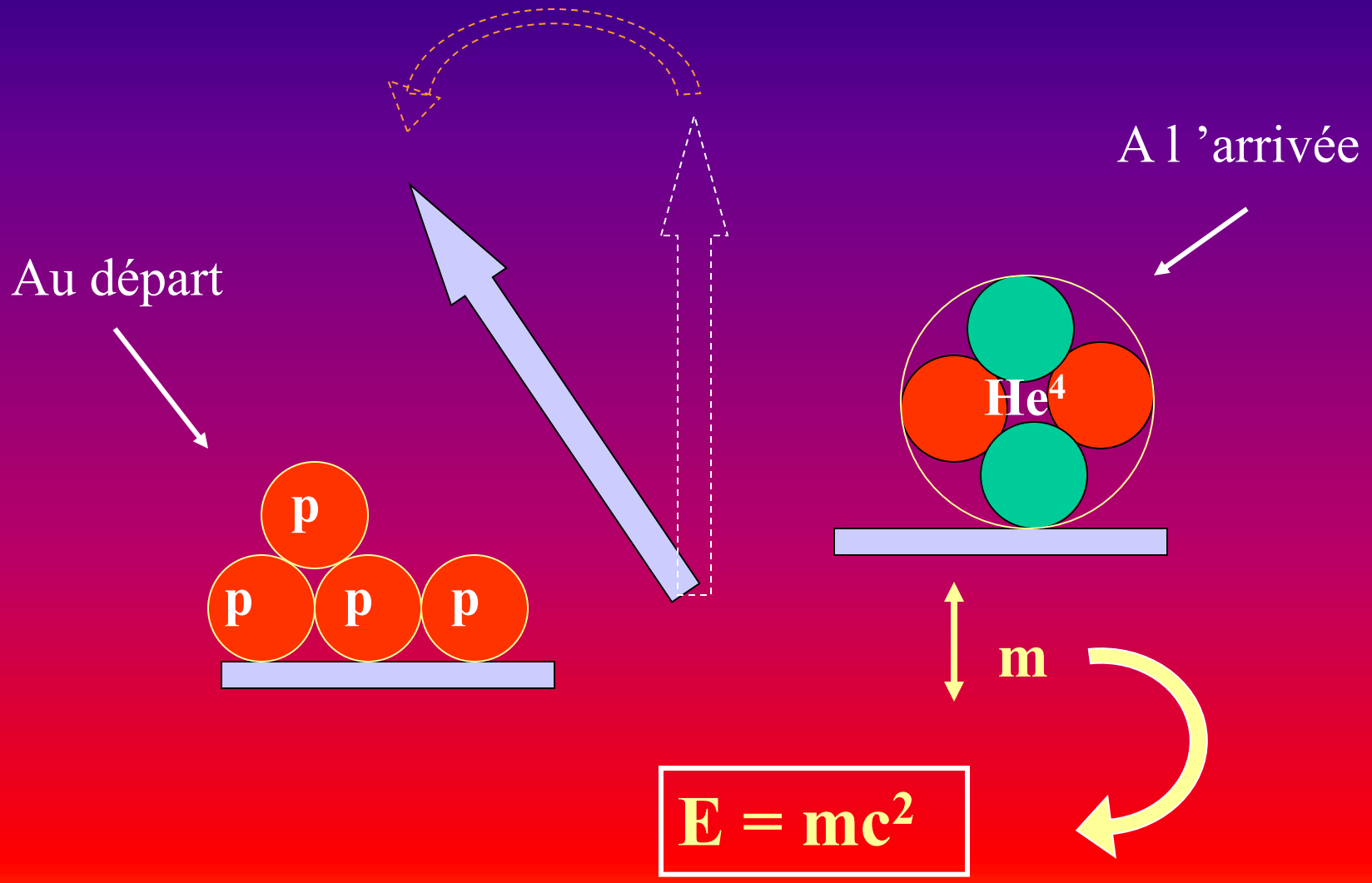
Neutron

Electron



Solar Nuclear Fusion Reactions via the Proton-Proton Chain

Bilan énergétique



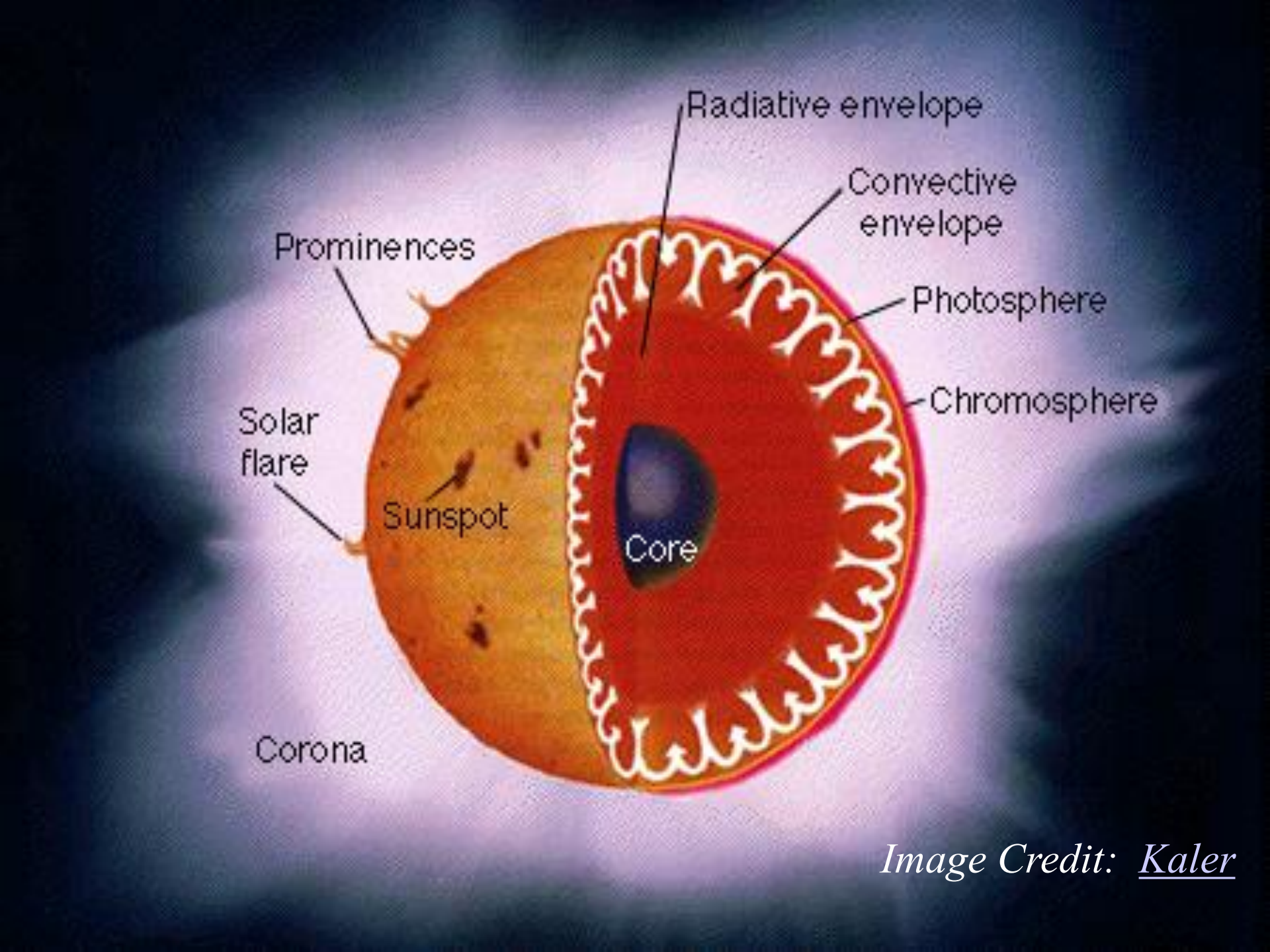
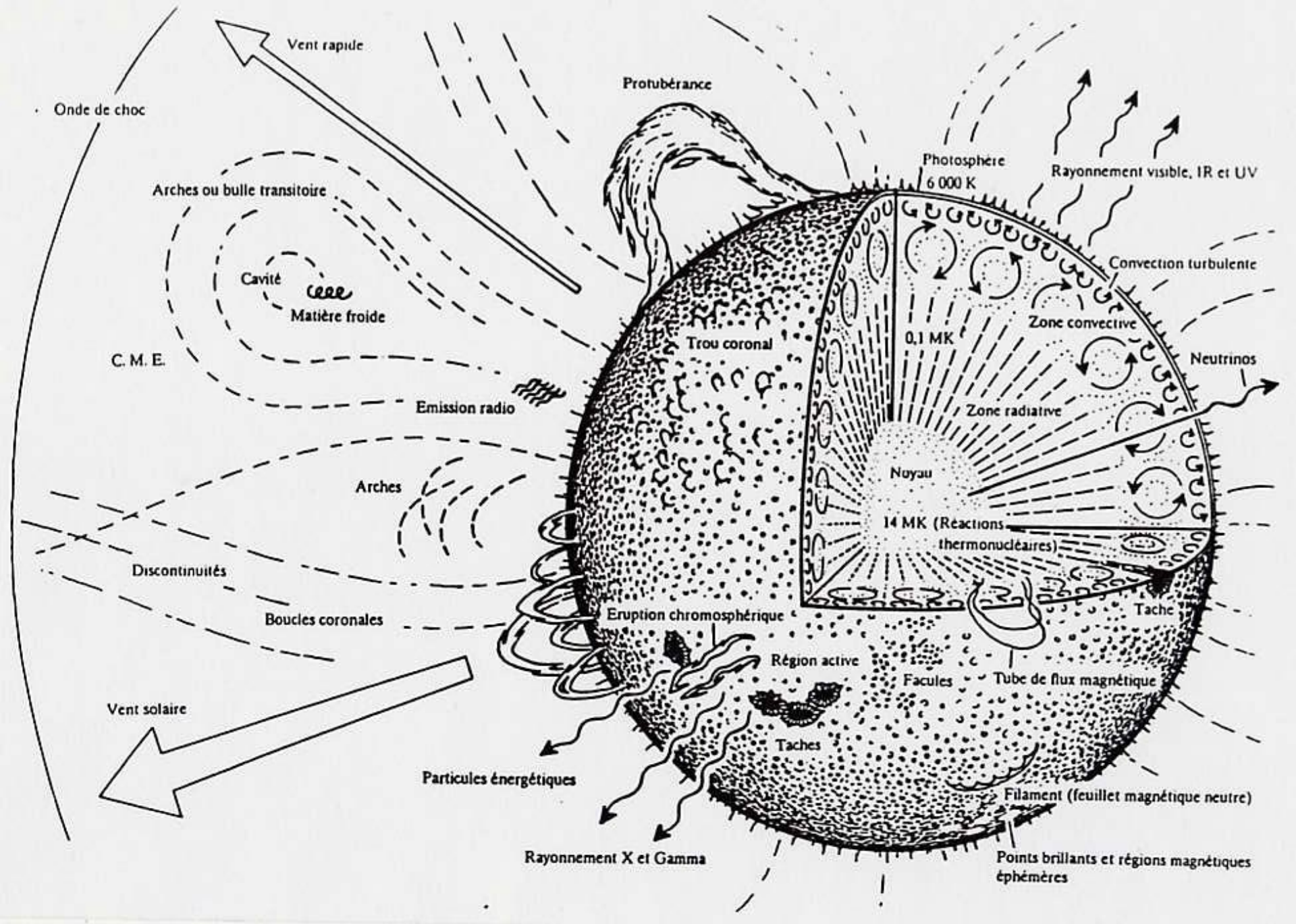


Image Credit: Kaler



(Document S. Koutchmy et J.-C. Vial)

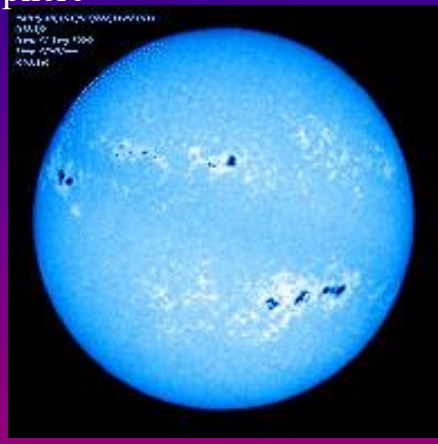
Les visages du soleil

Photosphère

Visuel

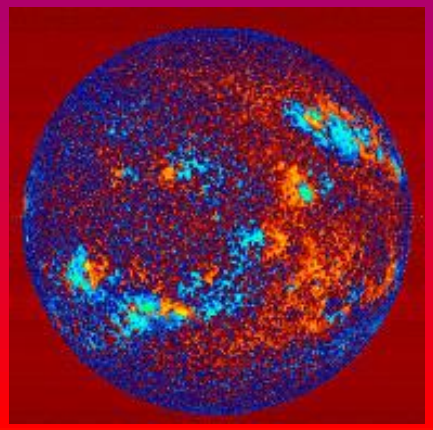
Chromosphère

Hα 6563

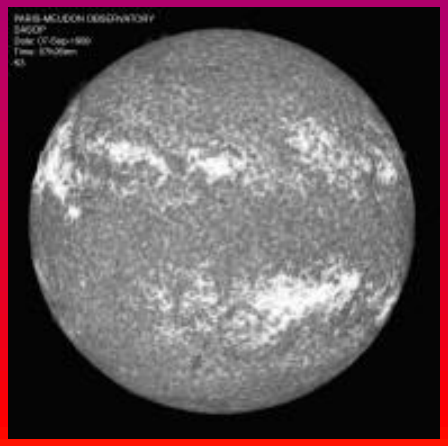


CaII K1v Meudon

Chromosphère - Couronne

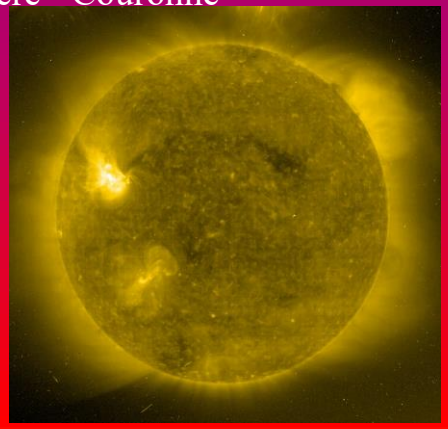


FeI 8688 A



HeII SOHO

3934 A

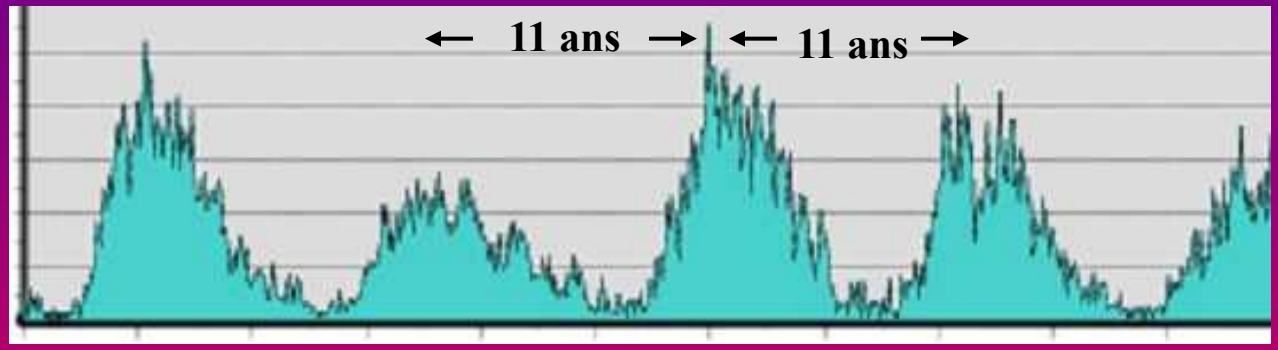


FeXV SOHO

Les taches solaires

Observées systématiquement dès 1666

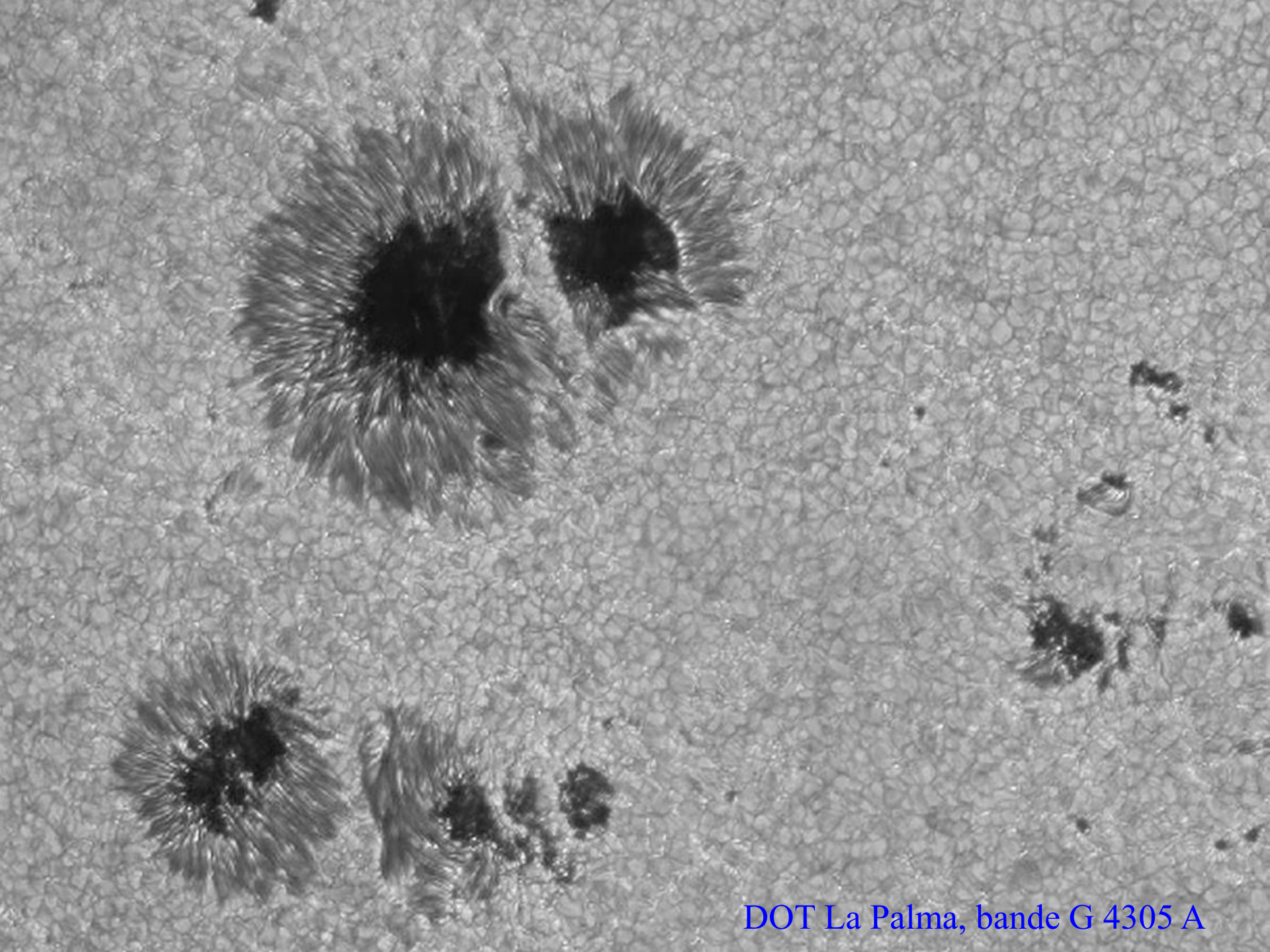
Cycle périodique de 2 x 11 ans

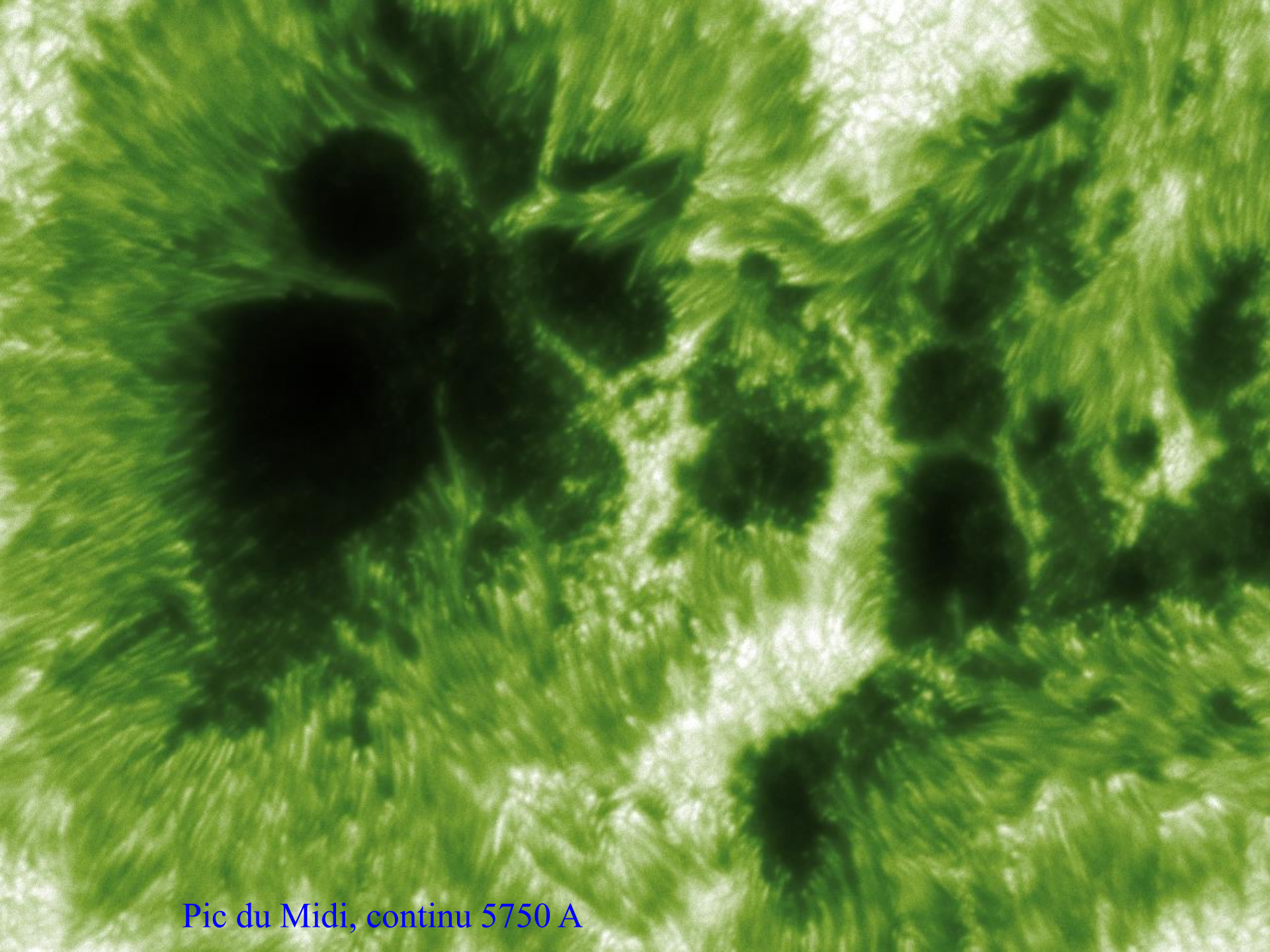


Champs magnétique localement très élevé (10^4 terre)

Un pole nord et un pole sud

Partie noire à 500 km de profondeur ...

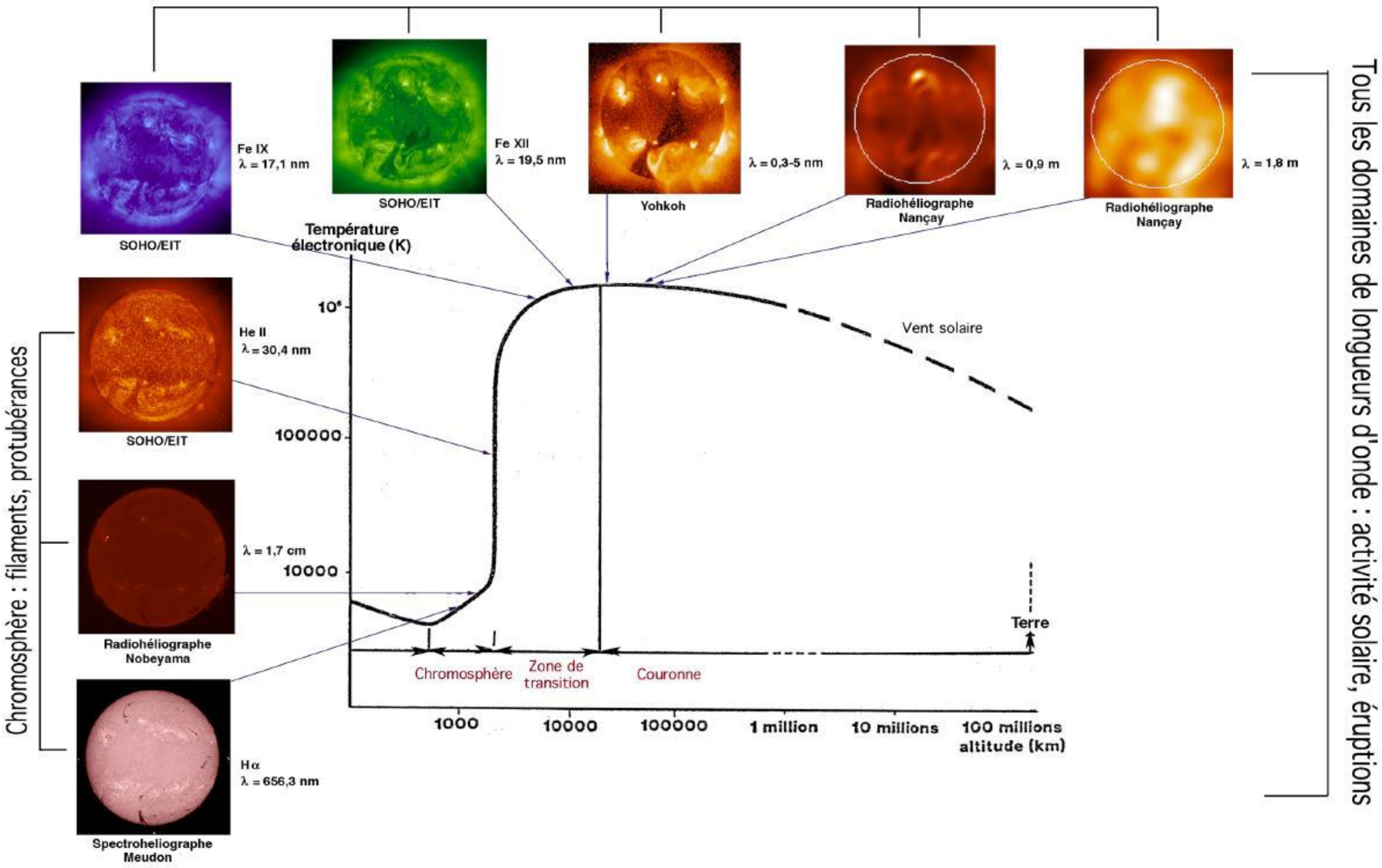

DOT La Palma, bande G 4305 A

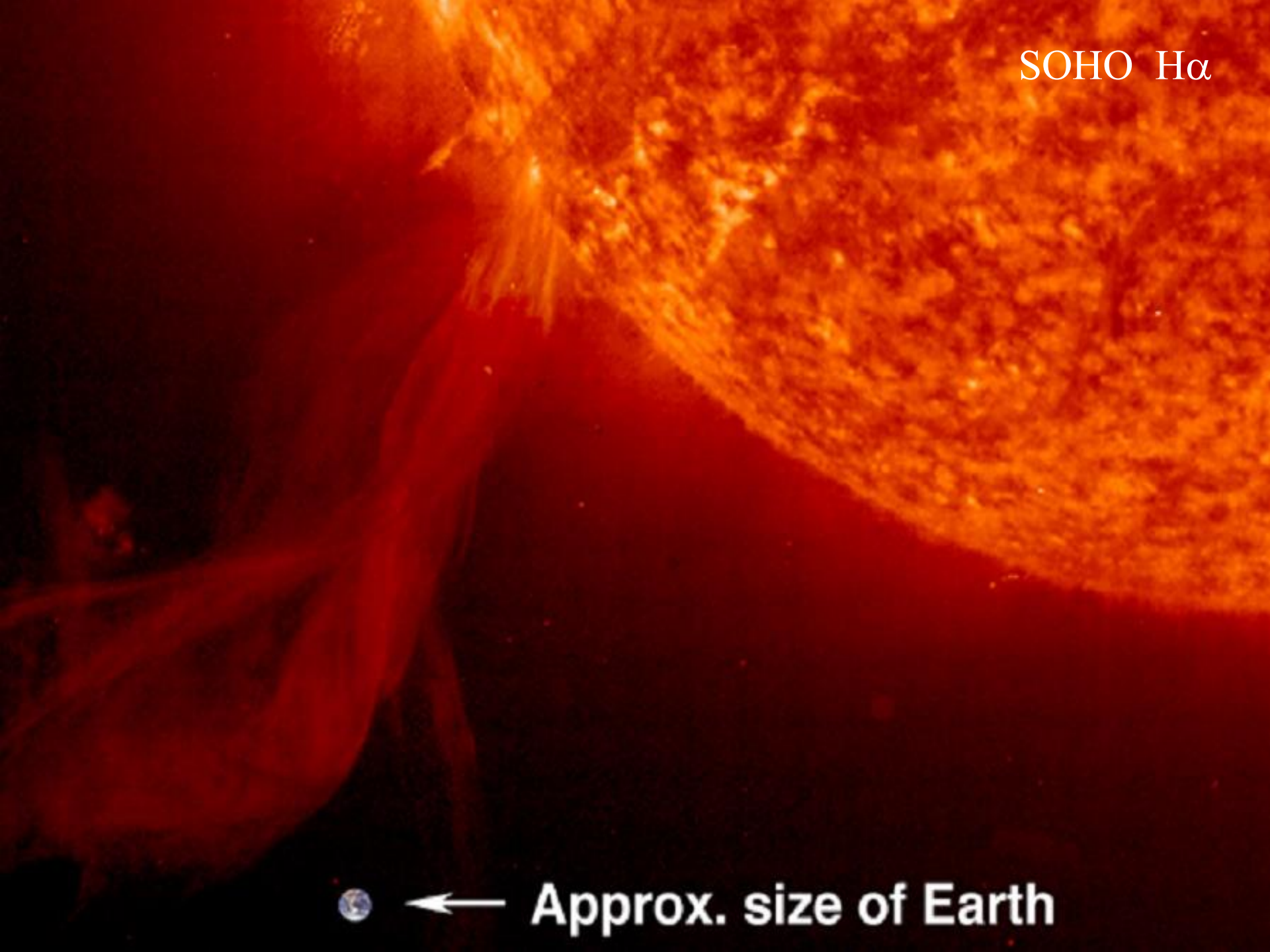


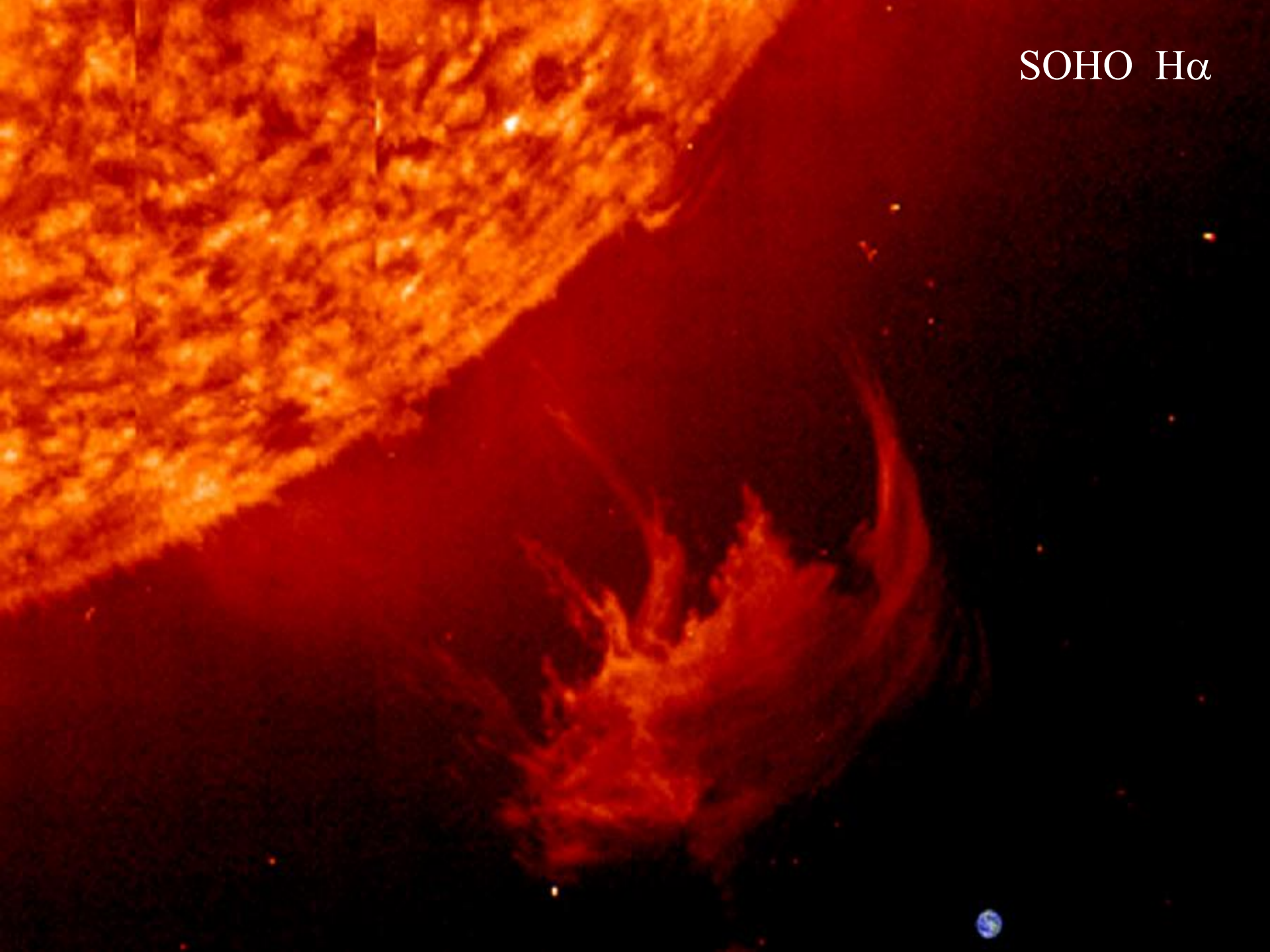
Pic du Midi, continu 5750 A

Evolution des taches sur quelques jours

Couronne solaire : boucles magnétiques, trous coronaux

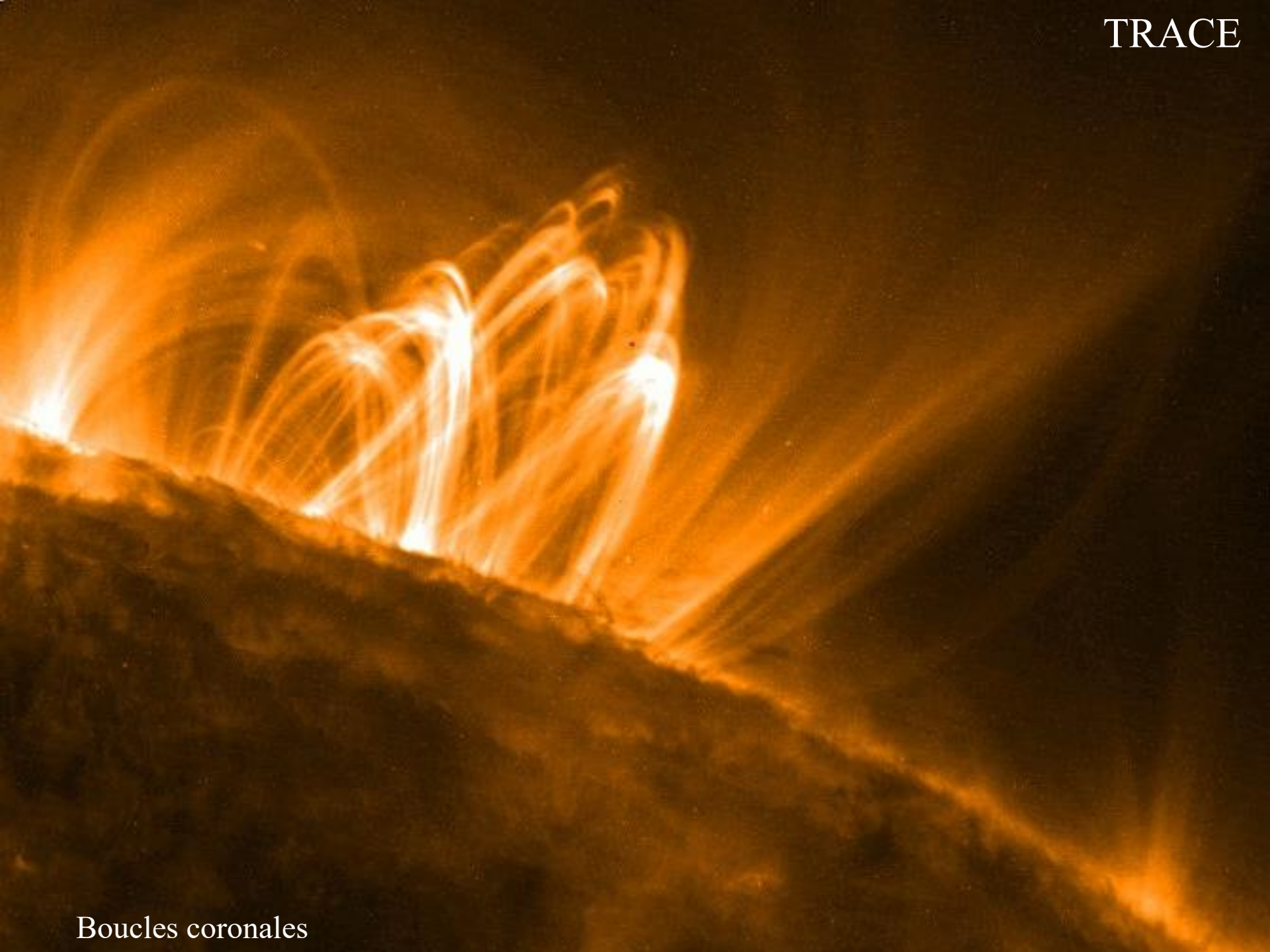



SOHO Hα
Approx. size of Earth


SOHO Hα

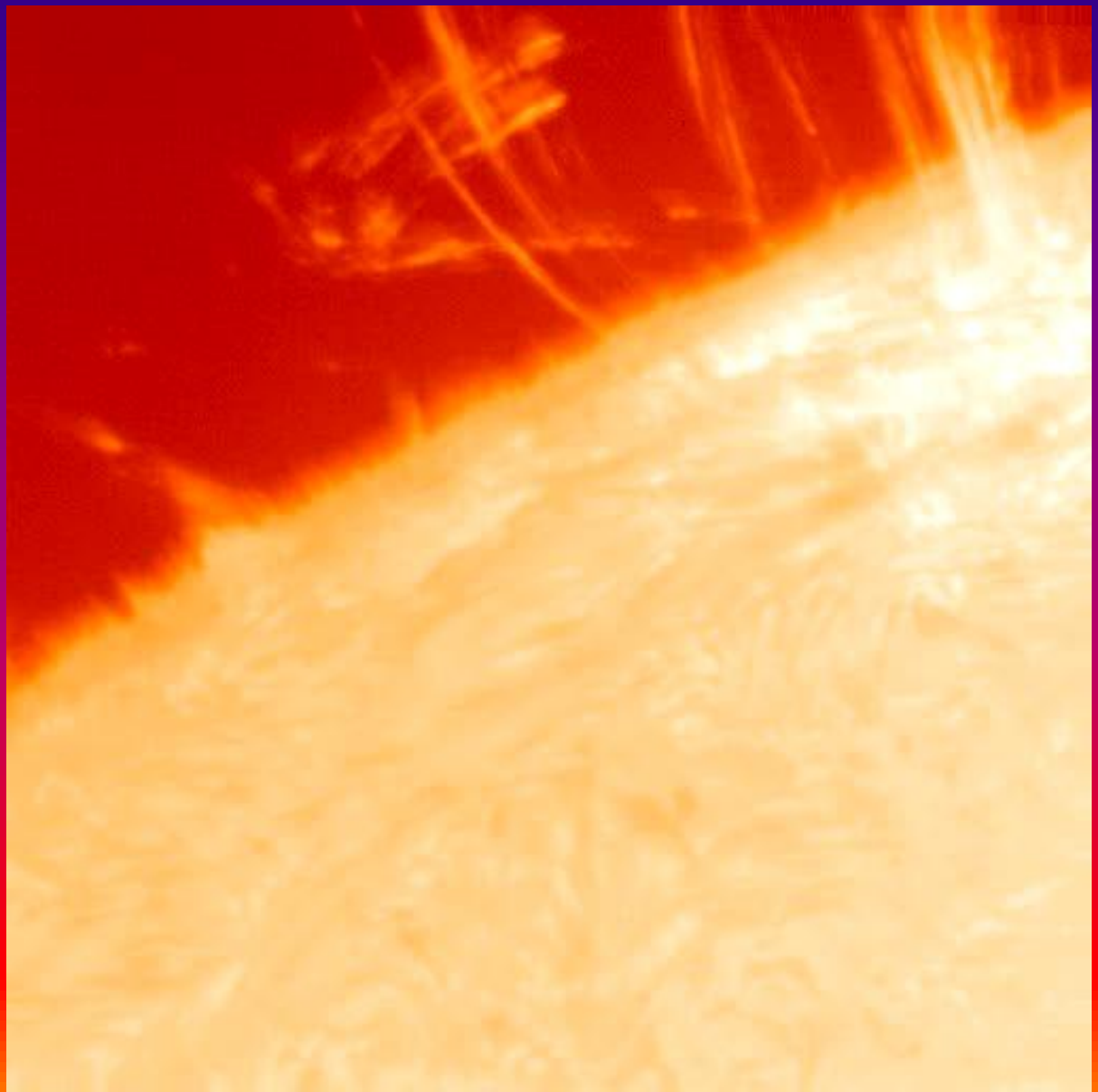
Filament éruptif ≈ 100.000 km de hauteur

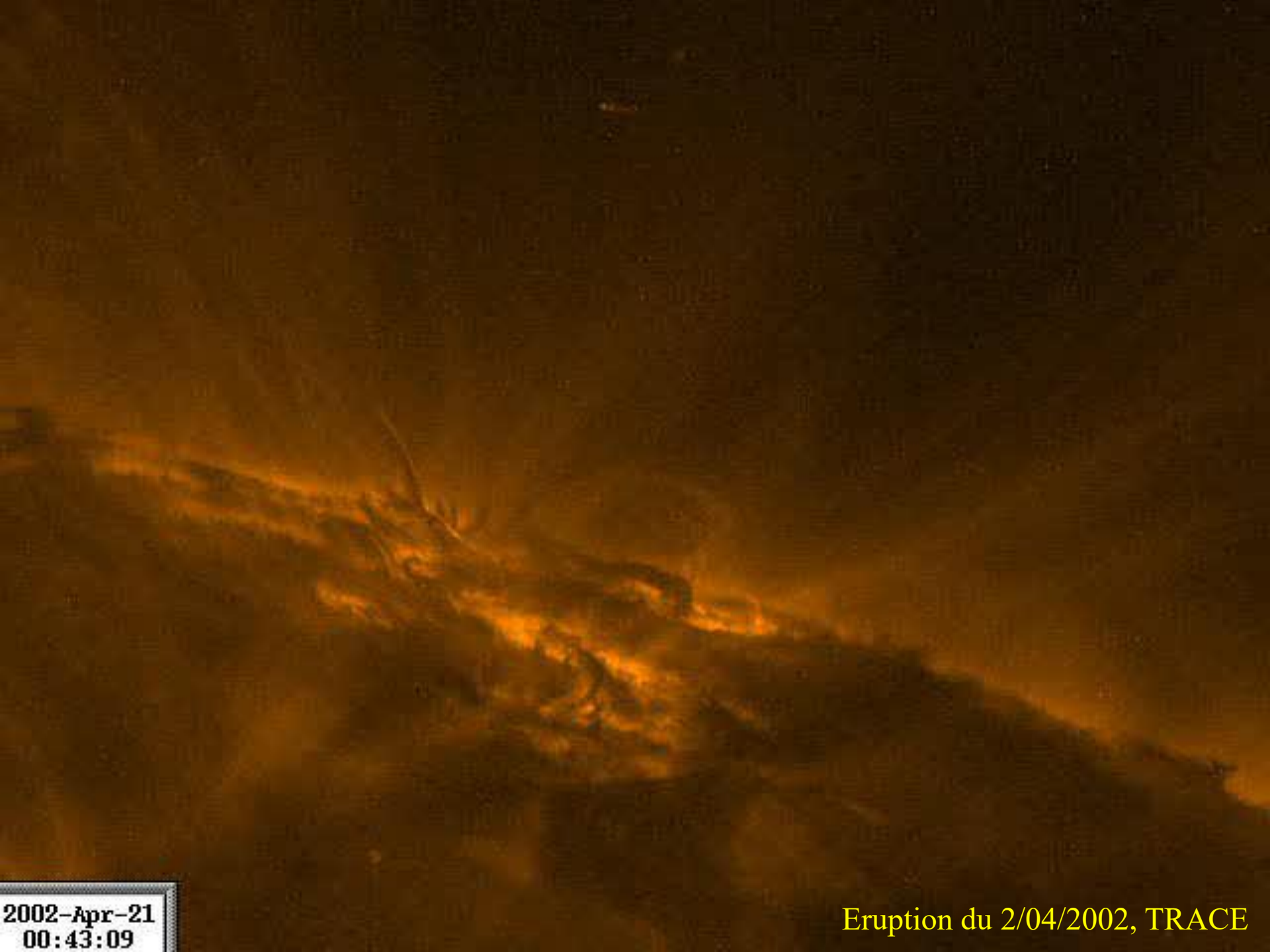
Boucles coronales



Boucles coronales

Boucles post éruptives SVST La Palma

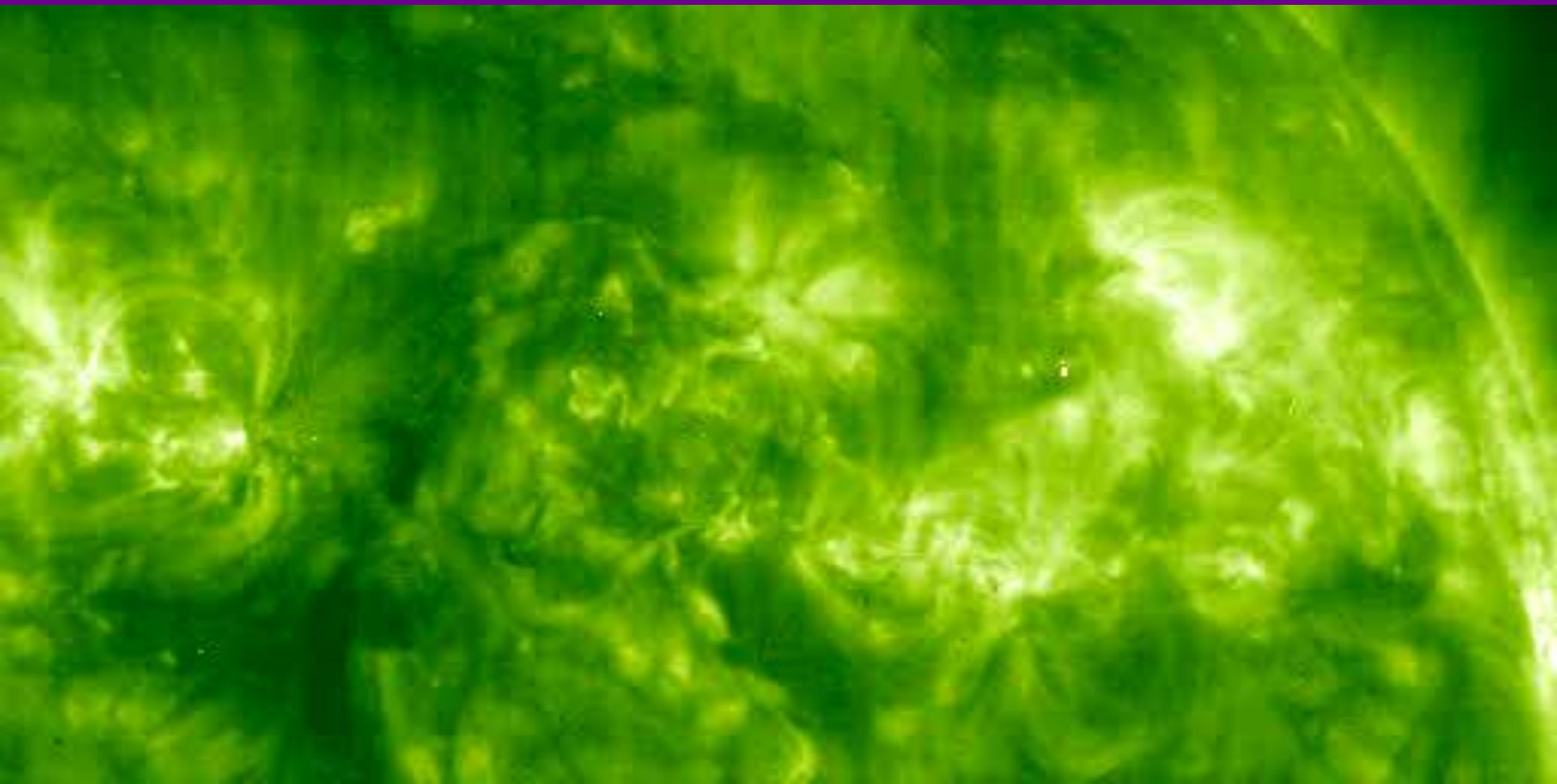




Eruption du 2/04/2002, TRACE

SOHO

Eruptions solaires dans l ’UV

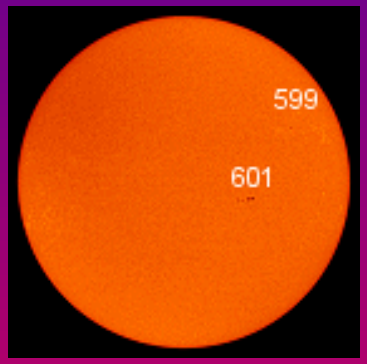


Bulletin météo

http://www.spaceweather.com/

Daily sun

01 may 04



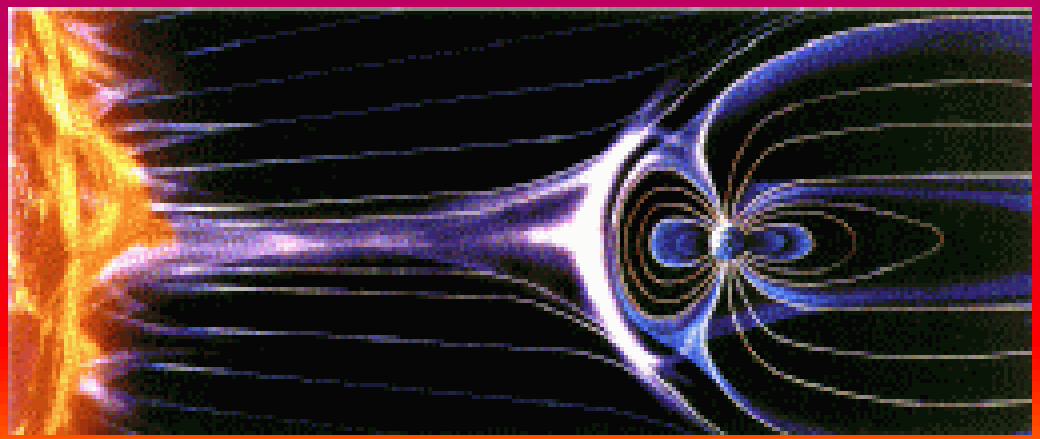
Solar wind speed : 404,1 km/s

Density : 8,6 protons / cm^3

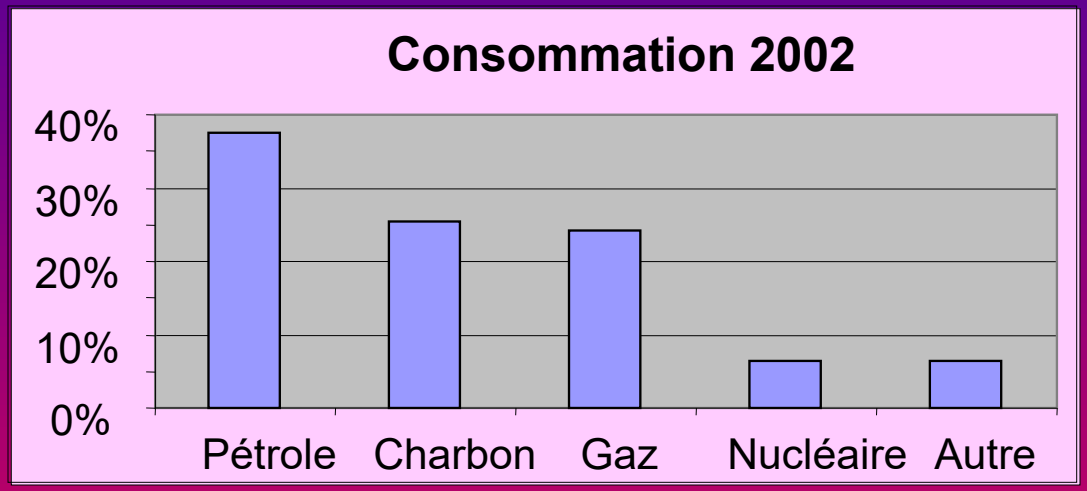
X solar flares

6-hr max B8

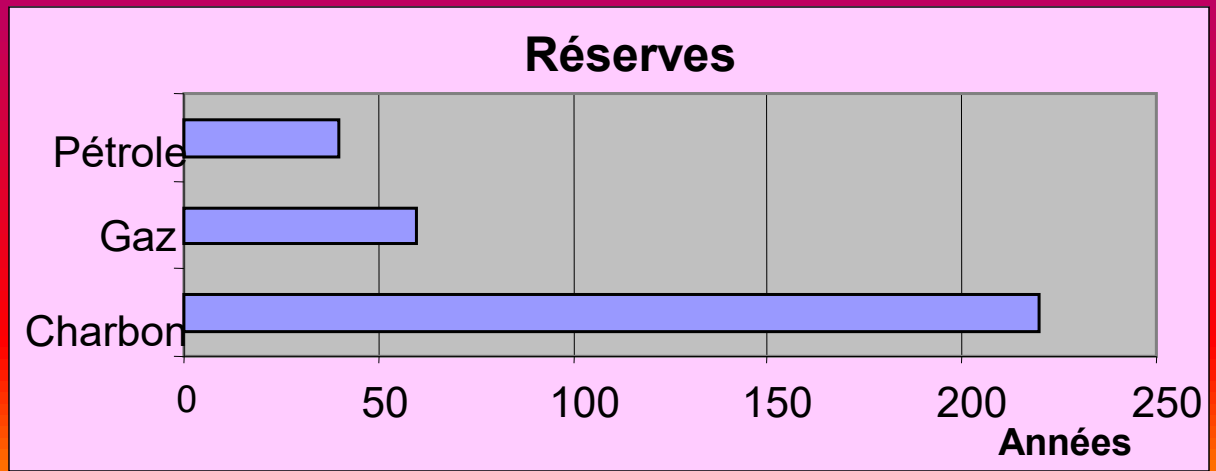
24-hr : B8



Le soleil : Un débordement d ’énergie ...



Dont on ne récupère presque rien sur Terre !



Pourquoi pas un soleil sur Terre ?

La fusion nucléaire …

Un axe fédérateur pour la recherche.

Des combustibles « inépuisables ».

Des combustibles « bien » répartis.

Des déchets moins polluants.

L ’énergie pour tous...

Un paradis sur Terre ?

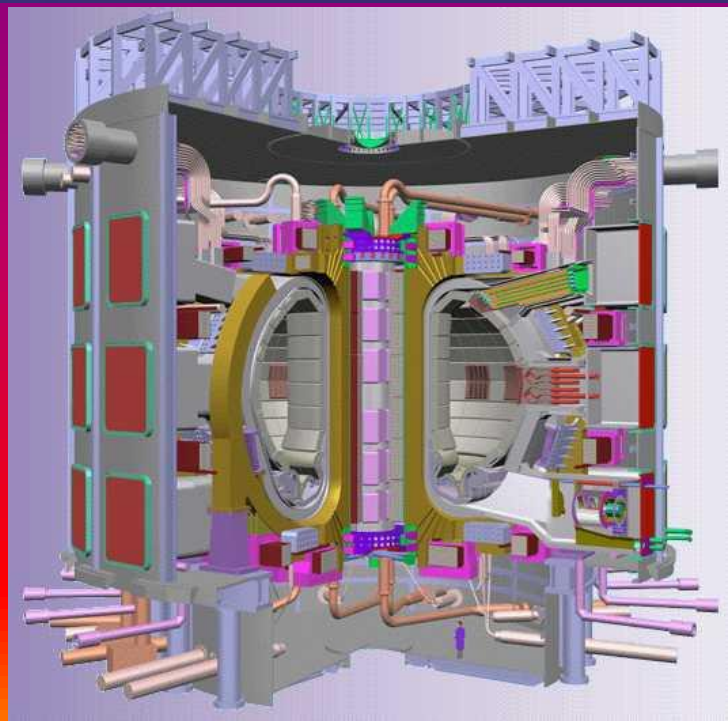
Un soleil sur Terre ...

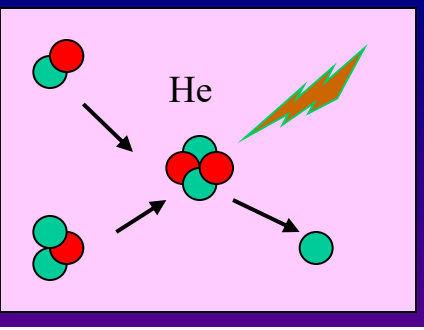
Mais …On sait déjà faire ! ! !

Le projet ITER

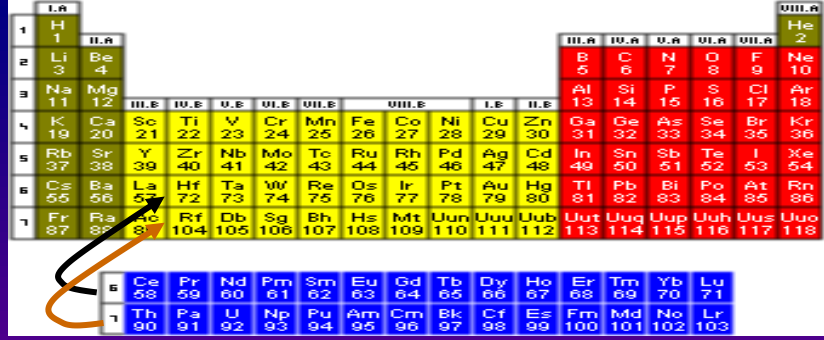
La fusion pacifique

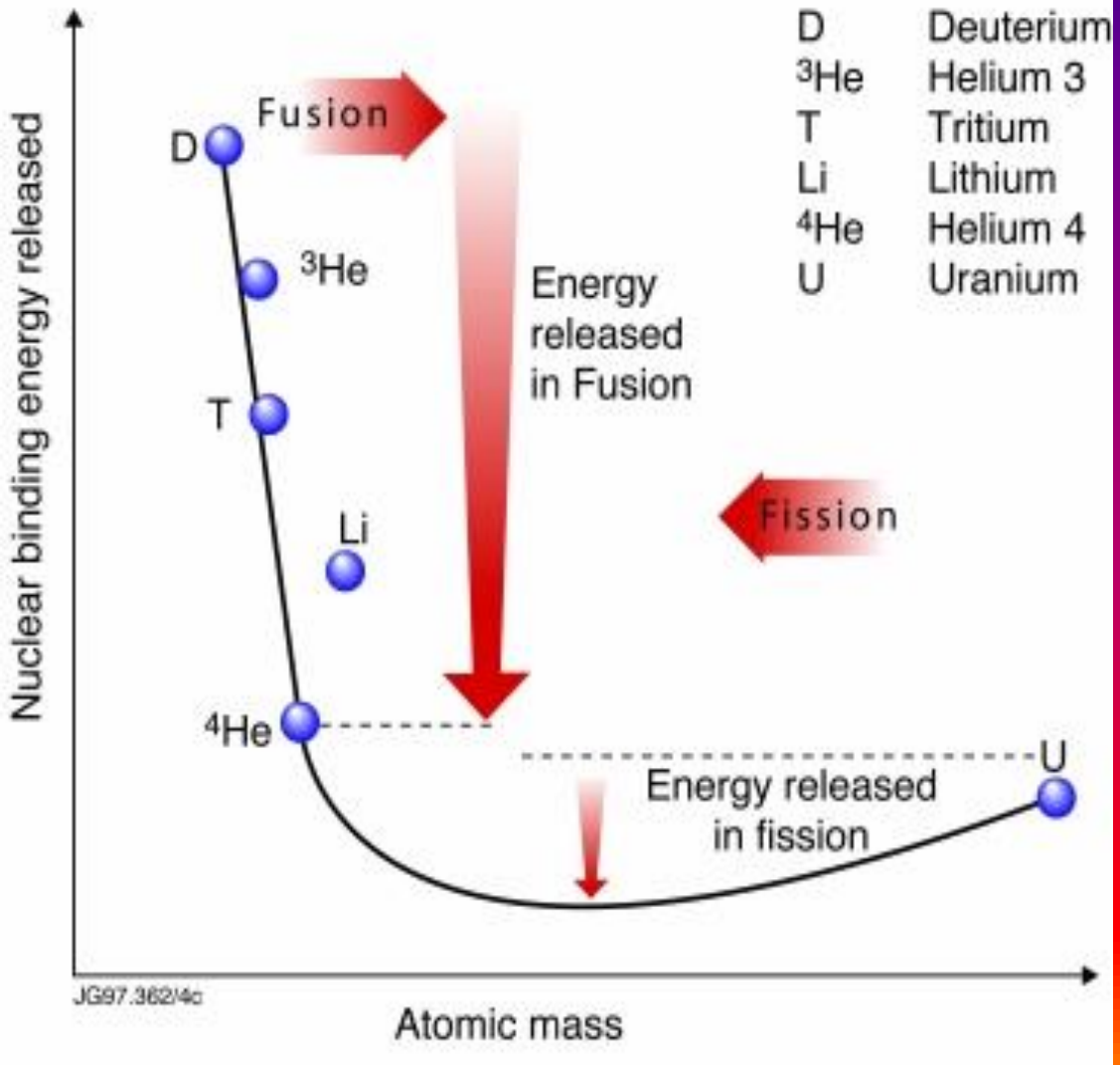
sur Terre ...



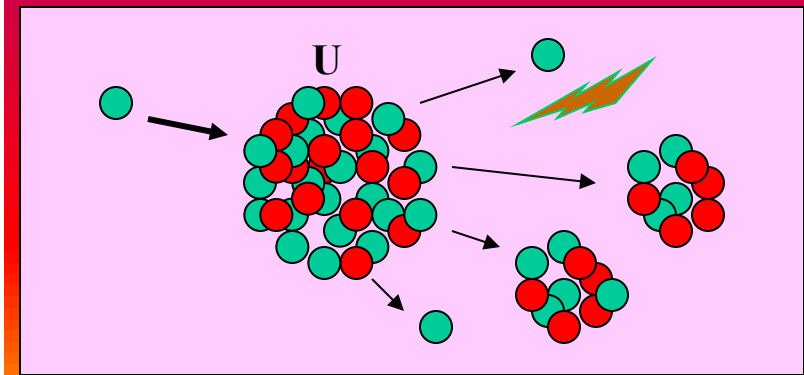


Fusion





Fission



La fusion de quoi ?

Combustibles		Résultats	Energie libérée
$D + T$	⇒	$^4He + n$	+ 17.6 MeV
$D + D$	⇒	$^3He + n$	+ 3.3 MeV
		$T + p$	+ 4.0 MeV
$D + {}^3He$	⇒	$^4He + p$	+ 18.3 MeV
.....			

D + T

Deutérium

Isotope stable de l 'hydrogène

33 grammes / m3 d 'eau de mer

Tritium

Isotope radioactif de l 'hydrogène - Période 12,3 ans

Production : $Li + n \longrightarrow {}^{4}He + T + \text{énergie}$

Lithium

50 ppm dans l 'écorce terrestre

0,17g / m3 eau de mer

Réacteur D T de 1000 MW

Consommation annuelle :

100 kg Deutérium

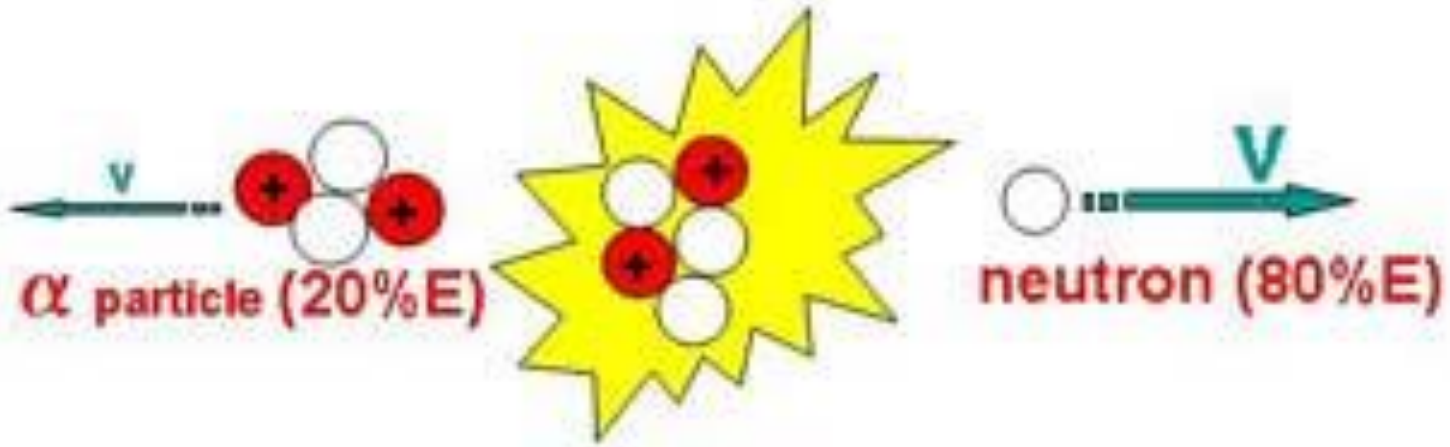
150 kg Tritium

300 kg Lithium

D-T fusion


repulsion
v
T
v
D
repulsion


5 10-15m
strong interaction force


v
α particle (20%E)
V
neutron (80%E)

Quelques problèmes à régler …

Température

Formation du plasma : 10.000 °

Démarrage fusion : 100 millions °

Confinement

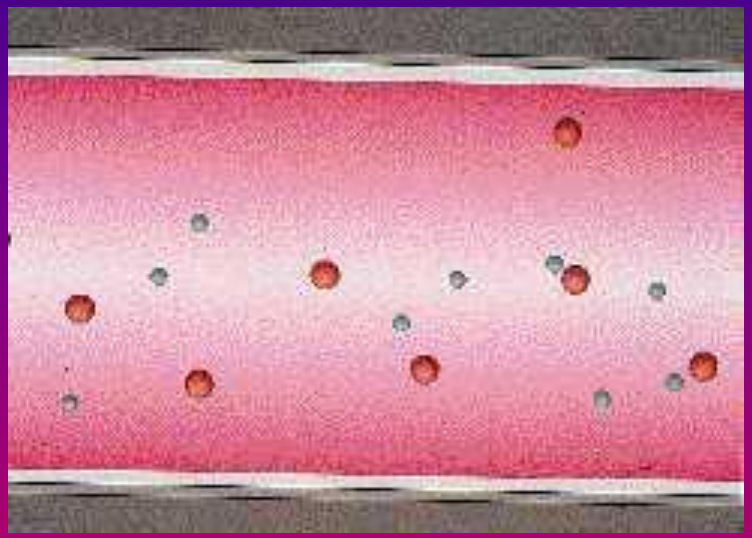
10 secondes

Densité

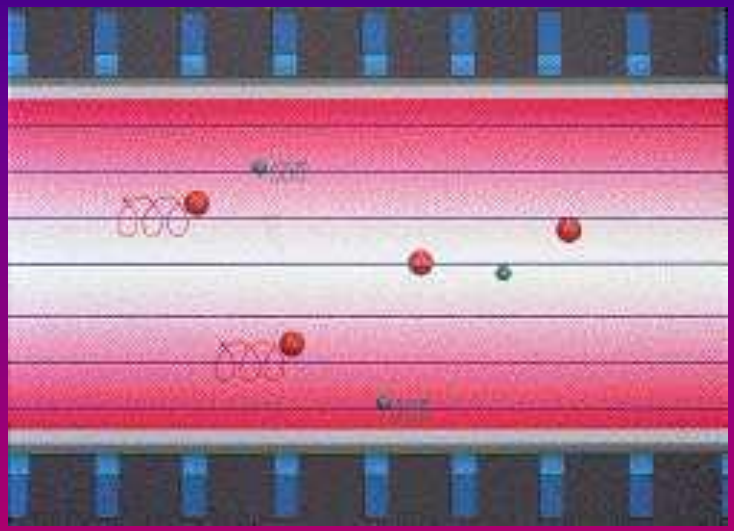
10^{-5} Air sous plusieurs atmosphères

Confinement magnétique

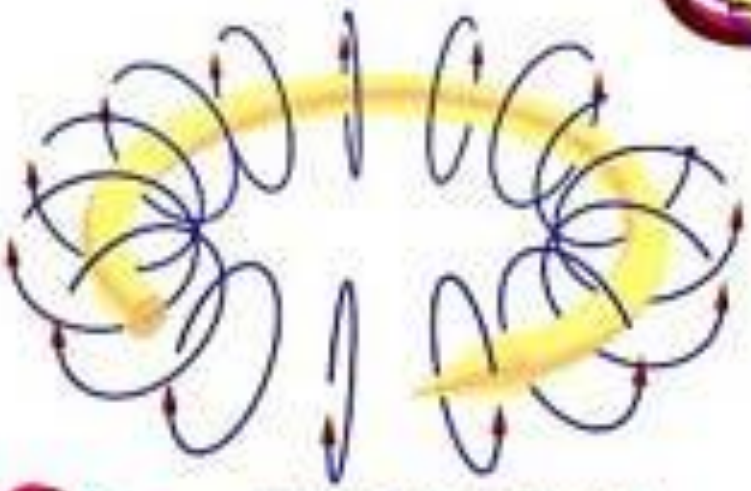
Sans confinement



Avec confinement



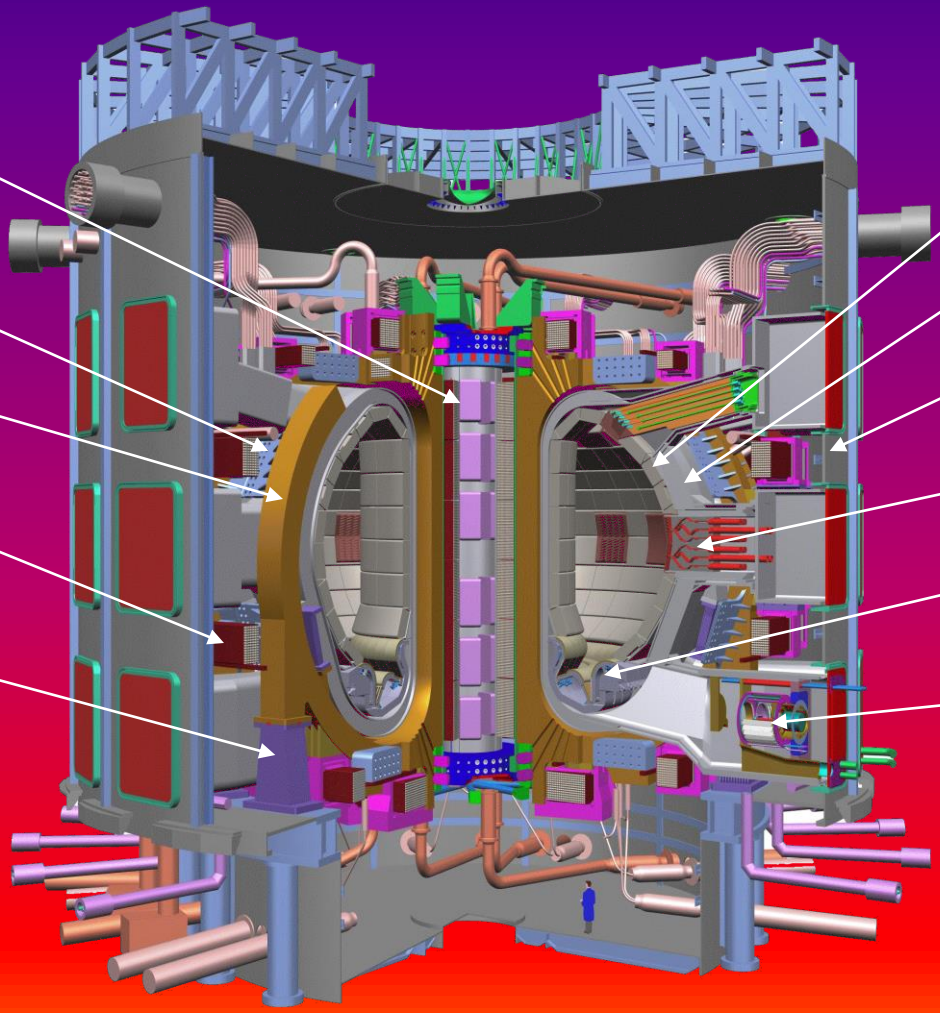
Total field

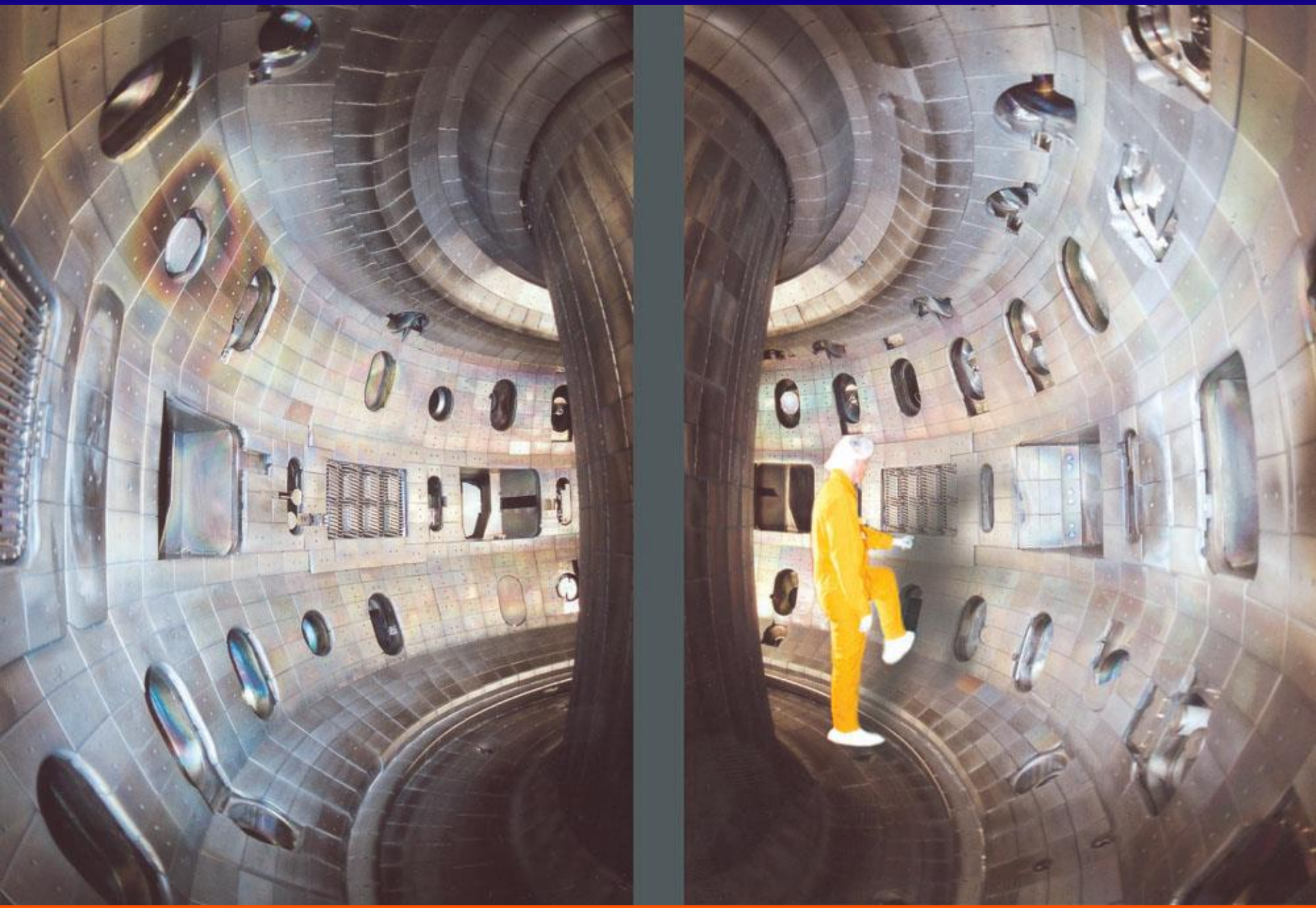


Poloidal field from I_p

Toroidal field

Tokamak
Design - Main Features





ITER

Aujourd'hui

JET : 16 MW sur 1 seconde

Tore Supra : 6 '30 de confinement

Demain … En 2020

Challenge technologique

Physique des plasmas et supraconducteurs

500 Mw pendant 15 minutes

Oui ...Mais où ?

Cadarache

Rokkasho-mura