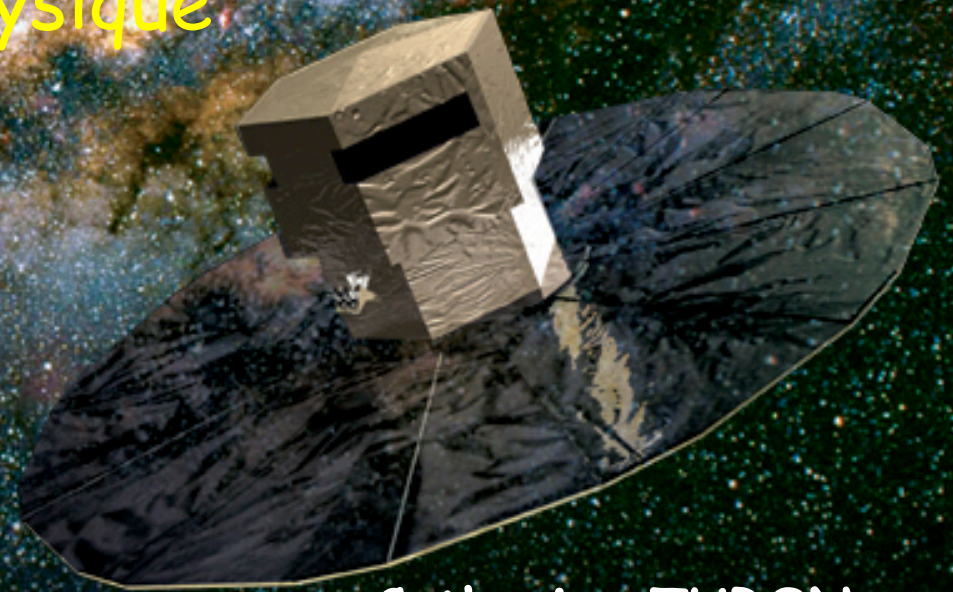
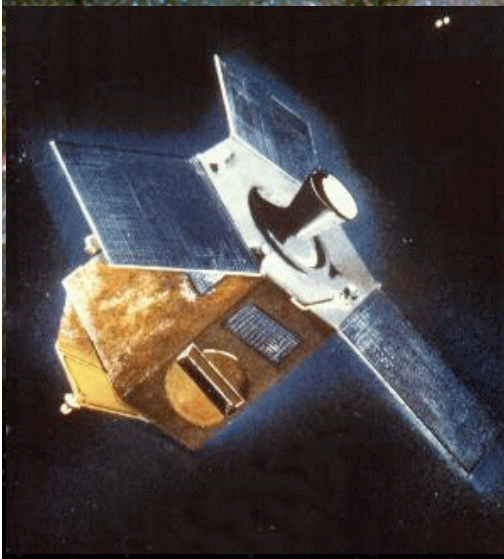


Société Astronomique de France

10 avril 2008

D'Hipparcos à Gaia

ou quand l'astrométrie devient un outil
majeur pour l'astrophysique



Catherine TURON

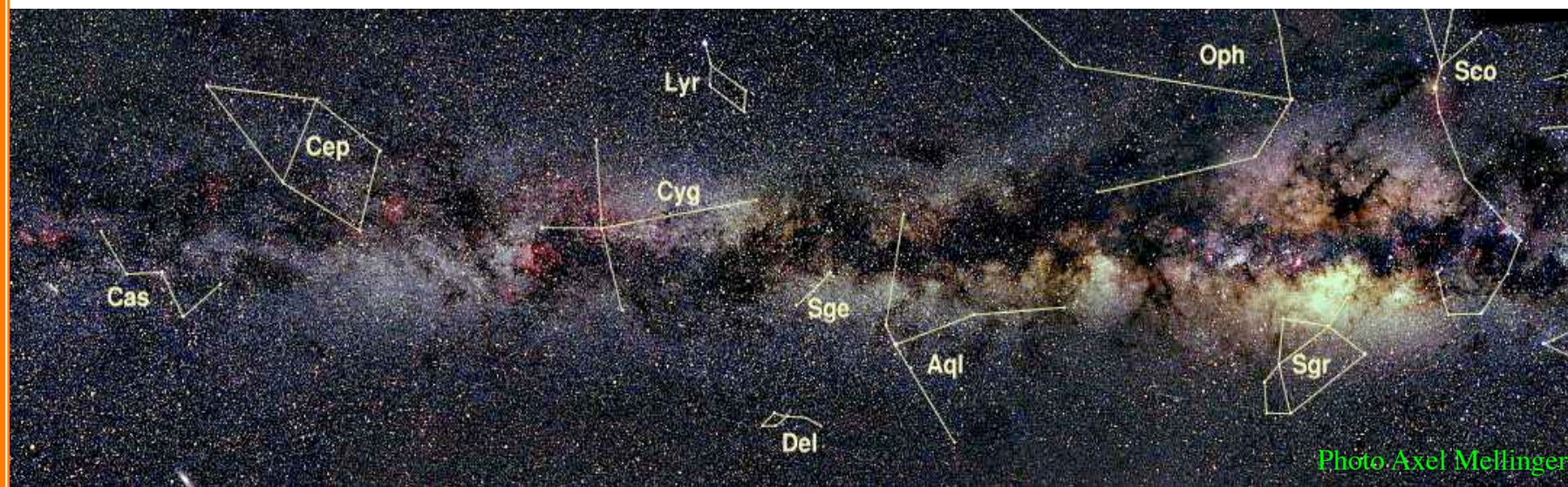
Observatoire de Paris-Meudon
GEPI / UMR CNRS 8111

Où vivons-nous ???

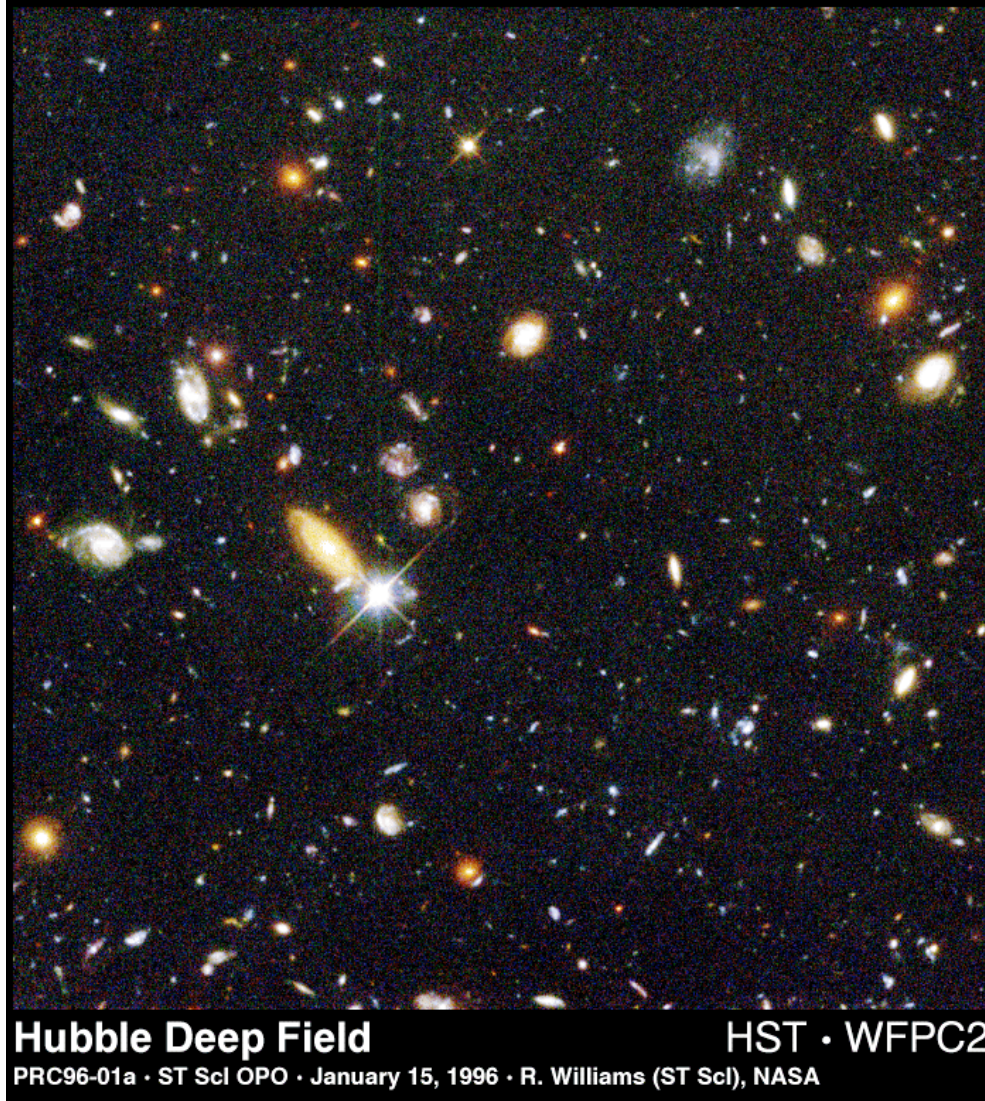
Quel est l'ensemble d'étoiles dans lequel nous vivons ?

- quelles sont sa forme et sa dimension ?
- quelles sont les étoiles qui le composent ?
- comment s'est-il formé et quelle son histoire ?
- quel est son environnement ?

Est-ce que toutes les étoiles sont comme le Soleil ?



A quoi ressemble notre Galaxie ?



Hubble Deep Field

HST · WFPC2

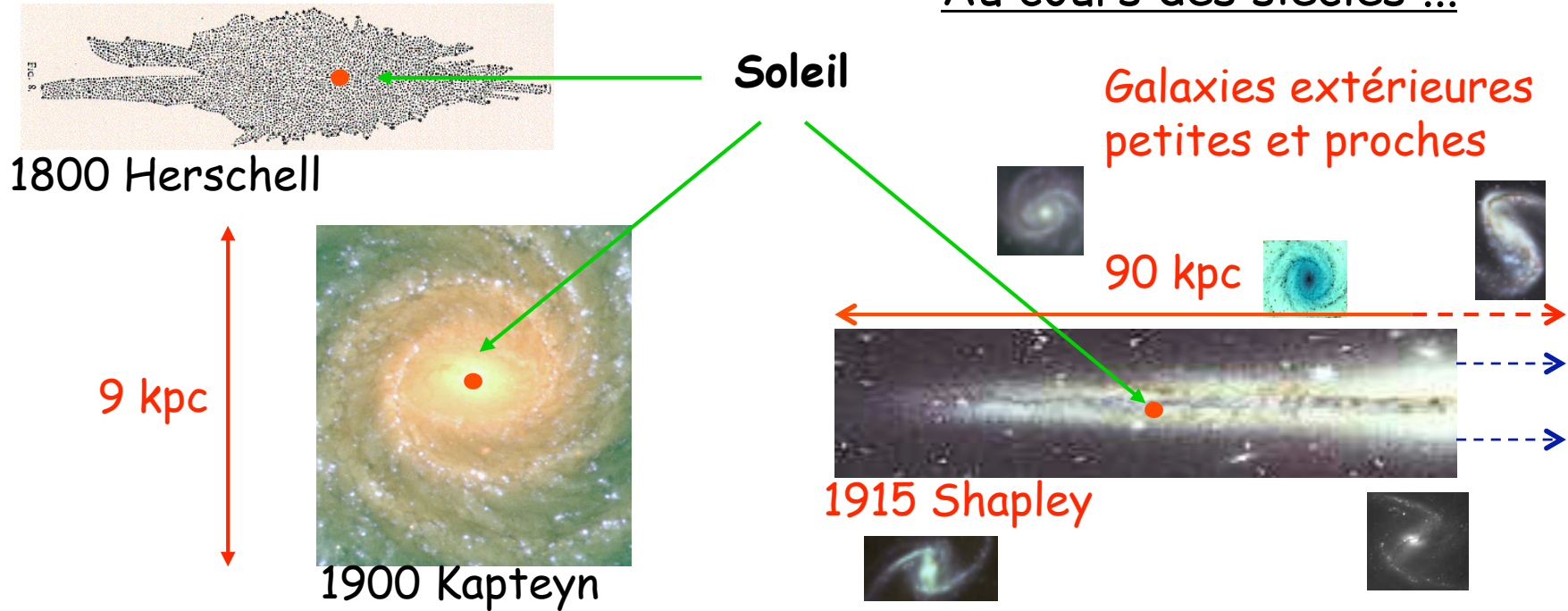
PRC96-01a · ST ScI OPO · January 15, 1996 · R. Williams (ST ScI), NASA

à un ensemble d'étoiles

- irrégulier ?
- elliptique ?
- sphérique ?
- en spirale ?
- avec une barre ?

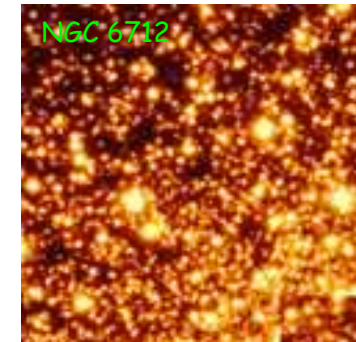
Notre Galaxie: quelle est sa forme? quelle est sa taille?

Au cours des siècles ...



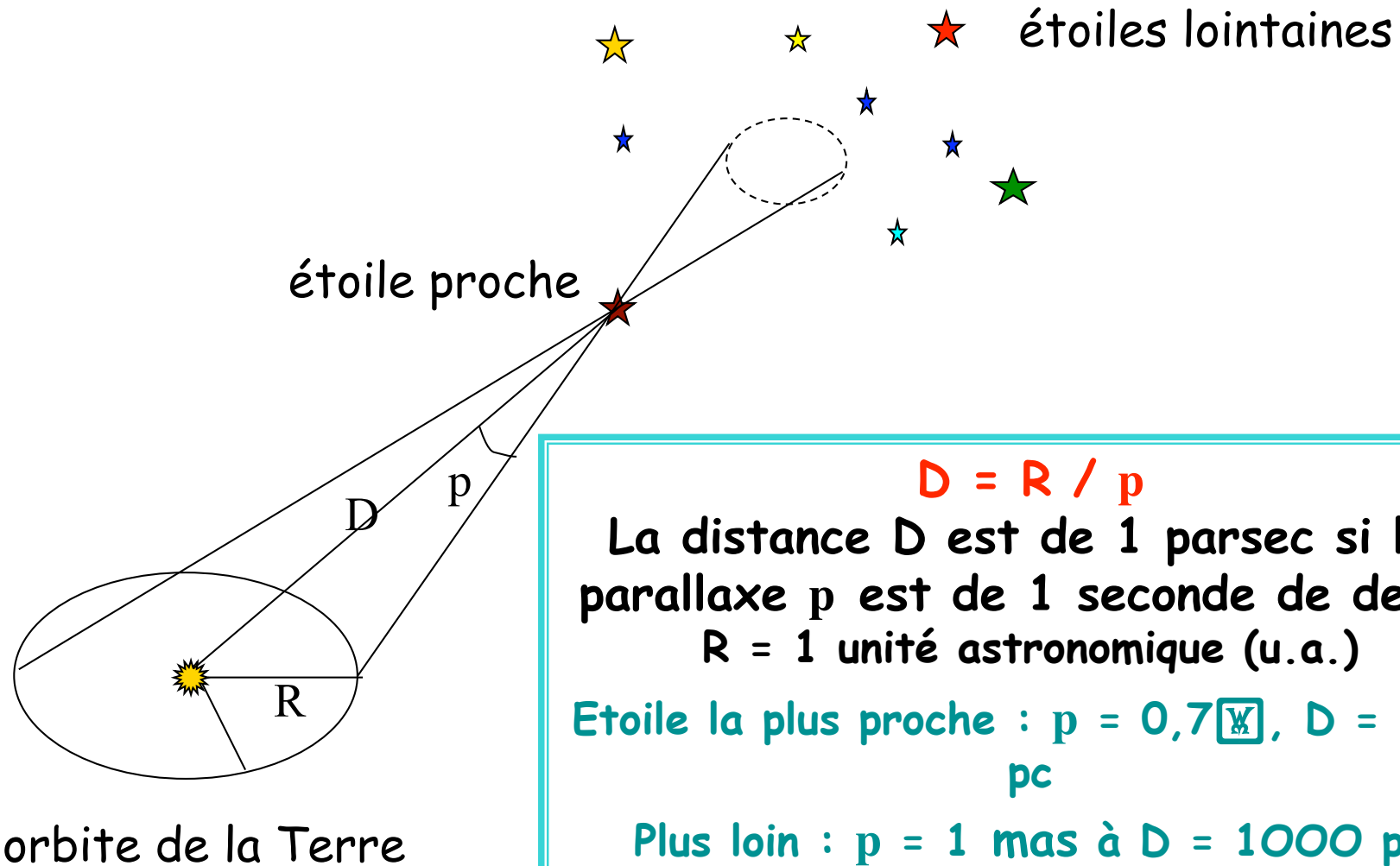
Quelle est la distance des étoiles ?

Nom	Date	10 ⁹ km
Aristarque	- 280	"immense" !
Ptolémée	150	0.13
Copernic	1500	"immense" !
Tycho Brahe	1580	0.09
Képler	1600	220
Newton	1685	150 000
Bessel-Struve-Henderson	1837-39	> 40 000



Etoile	1 ^{ères} mesures	Hipparcos
Sirius (Newton)	150 000	81 380 ± 30
α Centauri (Henderson)	33 000	41 584 ± 20
61 Cygni (Bessel)	105 500	107 480 ± 560
α Lyrae (Struve)	120 000	239 400 ± 1000

Distance et parallaxe trigonométrique



$$D = R / p$$

La distance D est de 1 parsec si la parallaxe p est de 1 seconde de degré
 $R = 1$ unité astronomique (u.a.)

Etoile la plus proche : $p = 0,7''$, $D = 1,2$ pc

Plus loin : $p = 1$ mas à $D = 1000$ pc

~~$p = 1$ mas à $D = 1000$ kpc~~

Quelques complications supplémentaires

Les étoiles de fond
sont à distance finie ...



et elles bougent



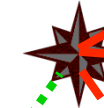
Les étoiles peuvent être multiples

L'une des composantes peut être variable

Vitesse radiale
(effet Doppler)

La Terre et le satellite
tournent sur eux-mêmes

L'espace-temps
est courbe



L'étoile observée
n'est pas immobile

La Terre tourne
autour du Soleil

Microlensing

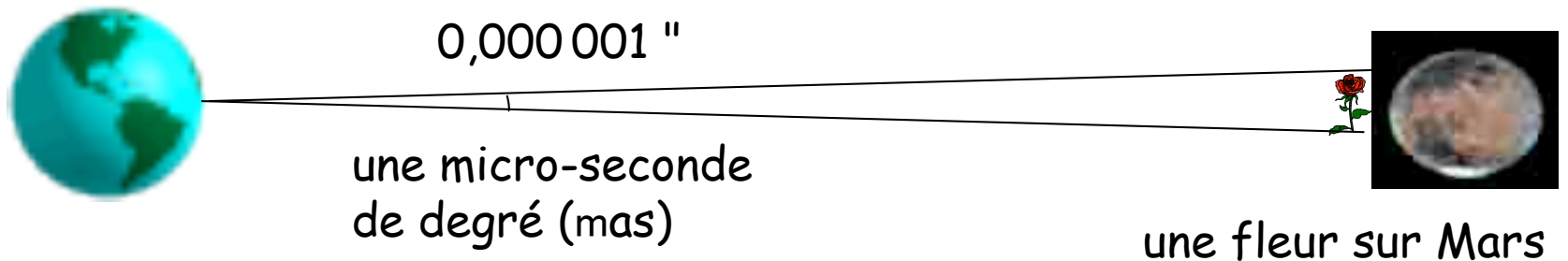
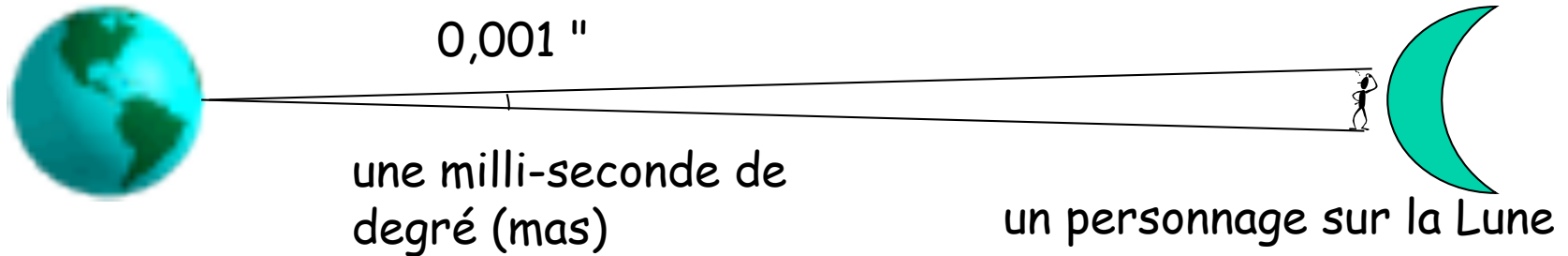
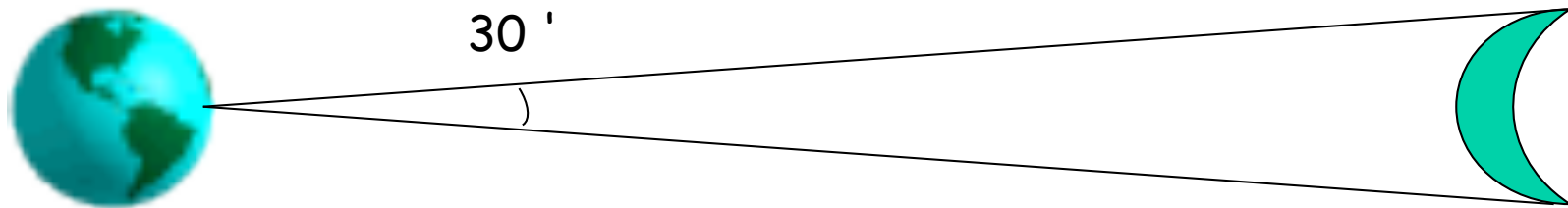
Mouvement « propre »
transverse

Le Soleil bouge ...

sur une orbite courbe

... tout bouge !

Ordres de grandeur

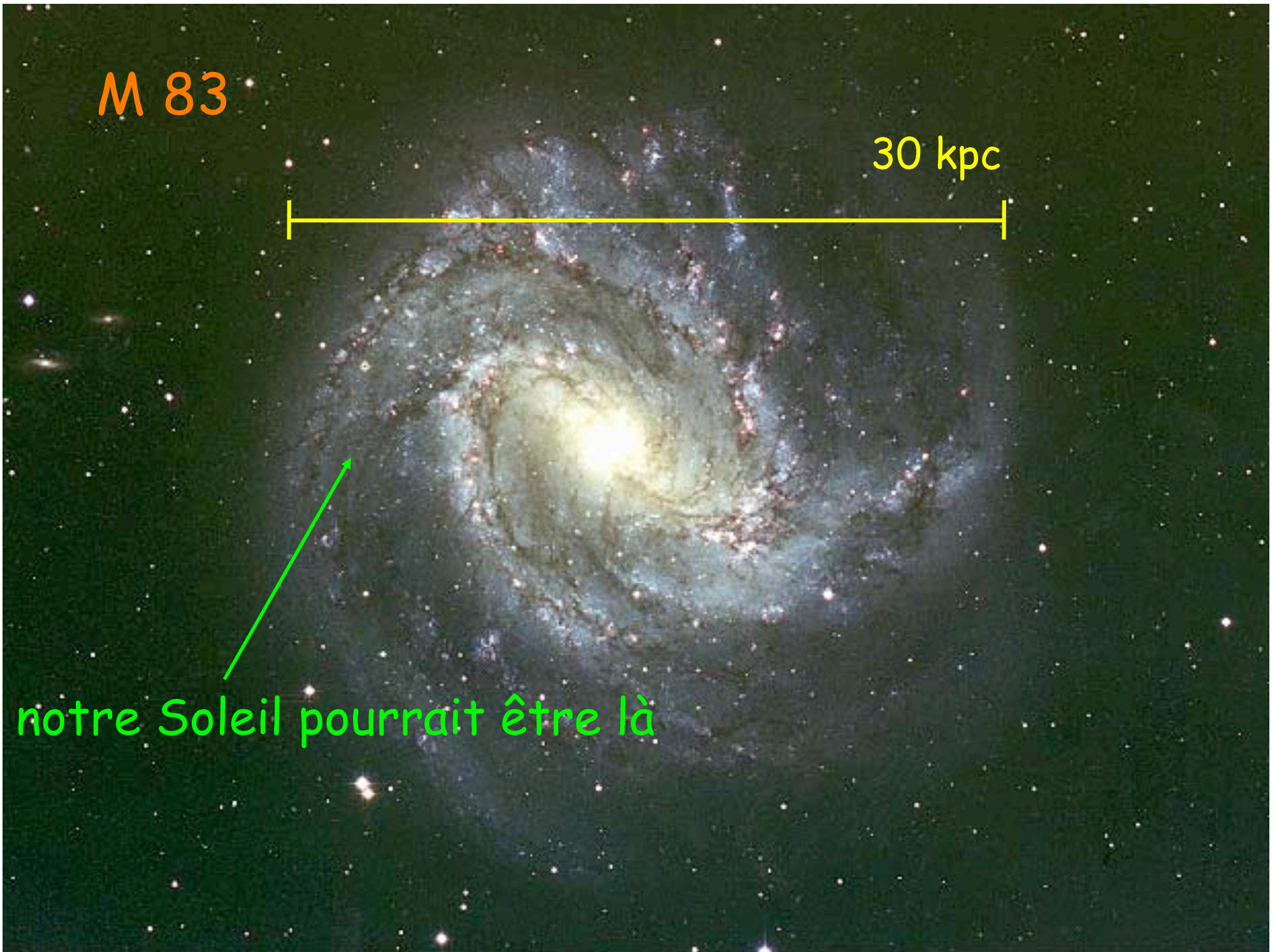


M 83

30 kpc



notre Soleil pourrait être là



NGC 4565

notre Soleil
pourrait être là

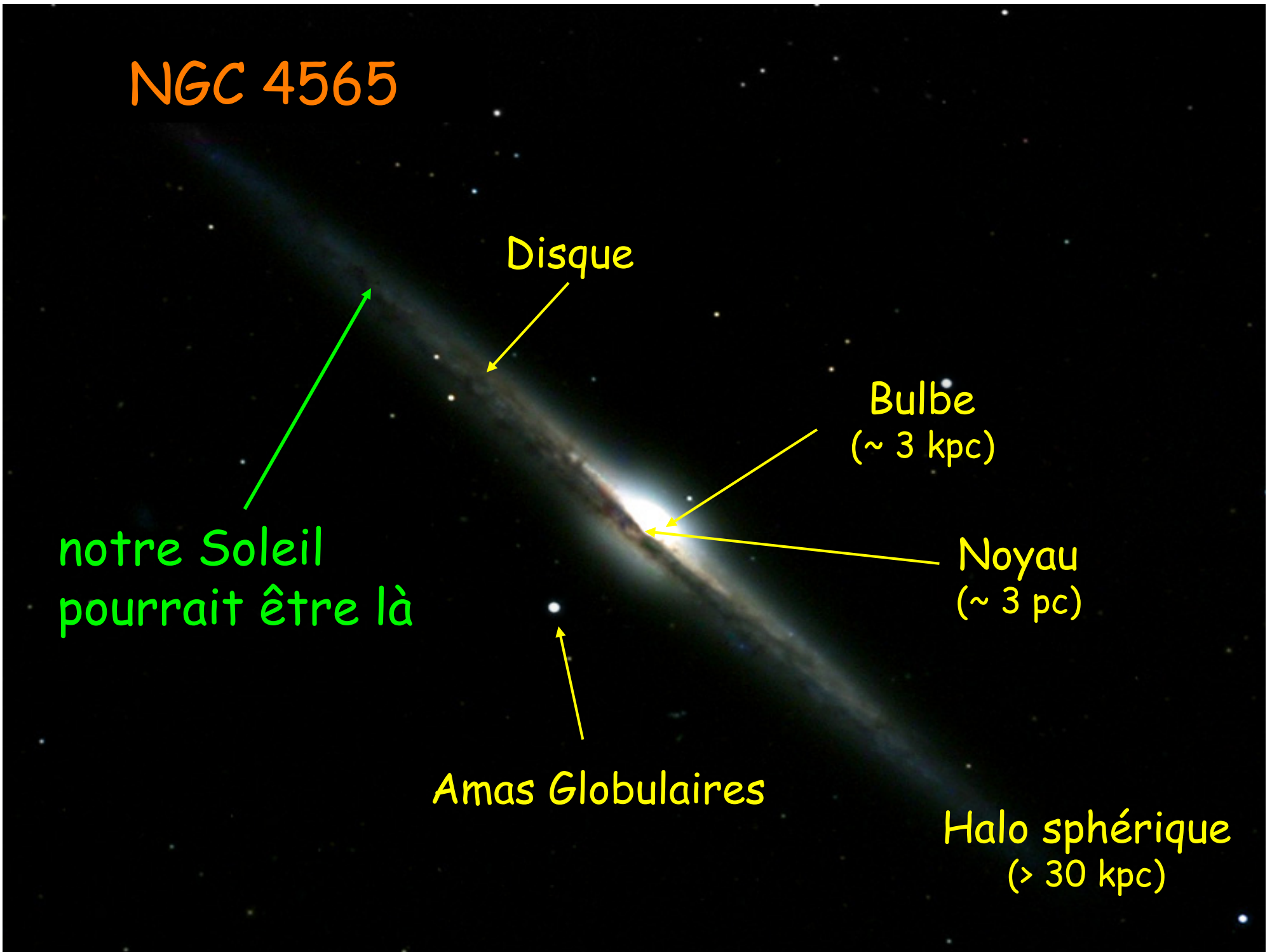
Disque

Bulbe
(~ 3 kpc)

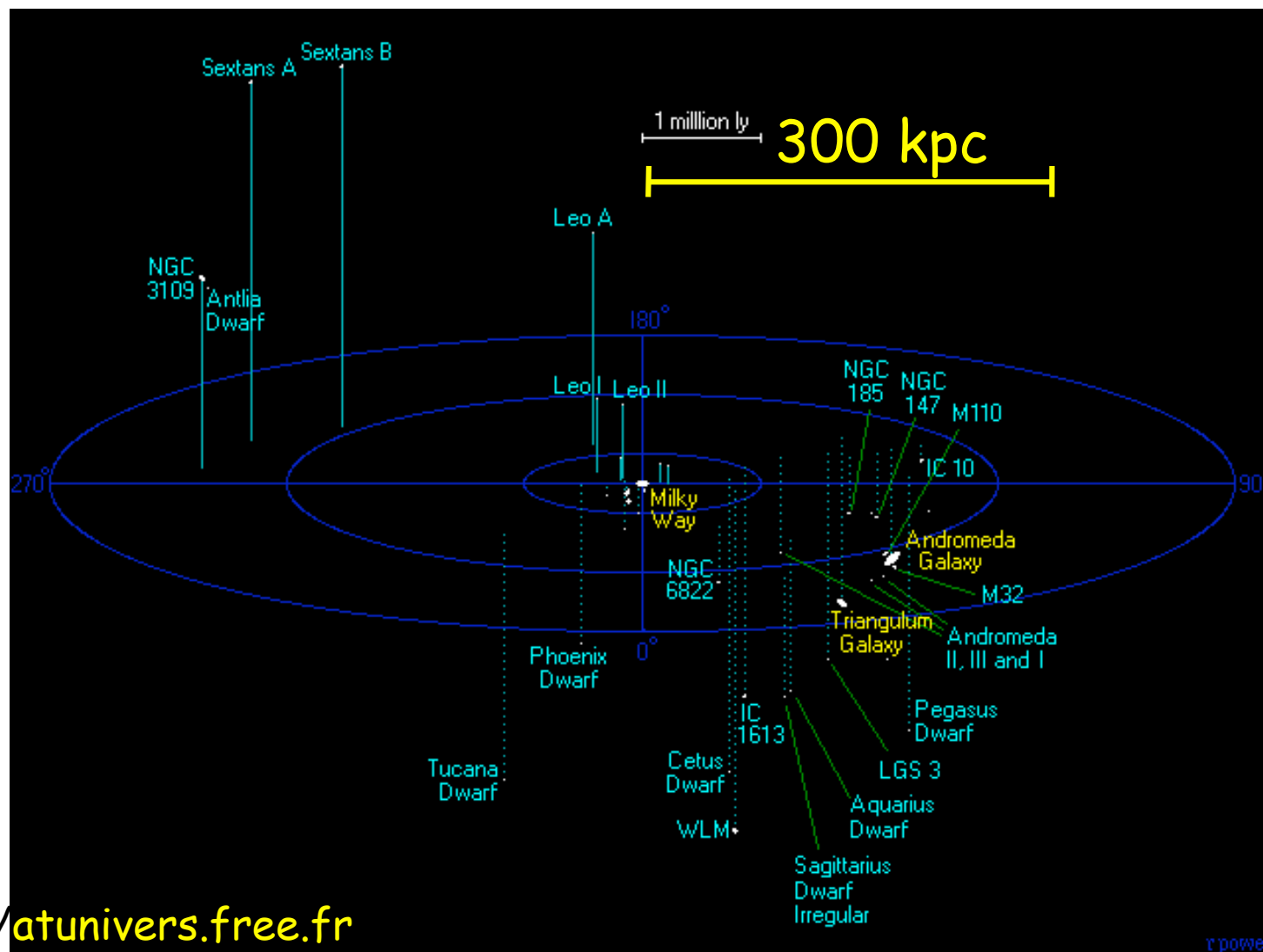
Noyau
(~ 3 pc)

Amas Globulaires

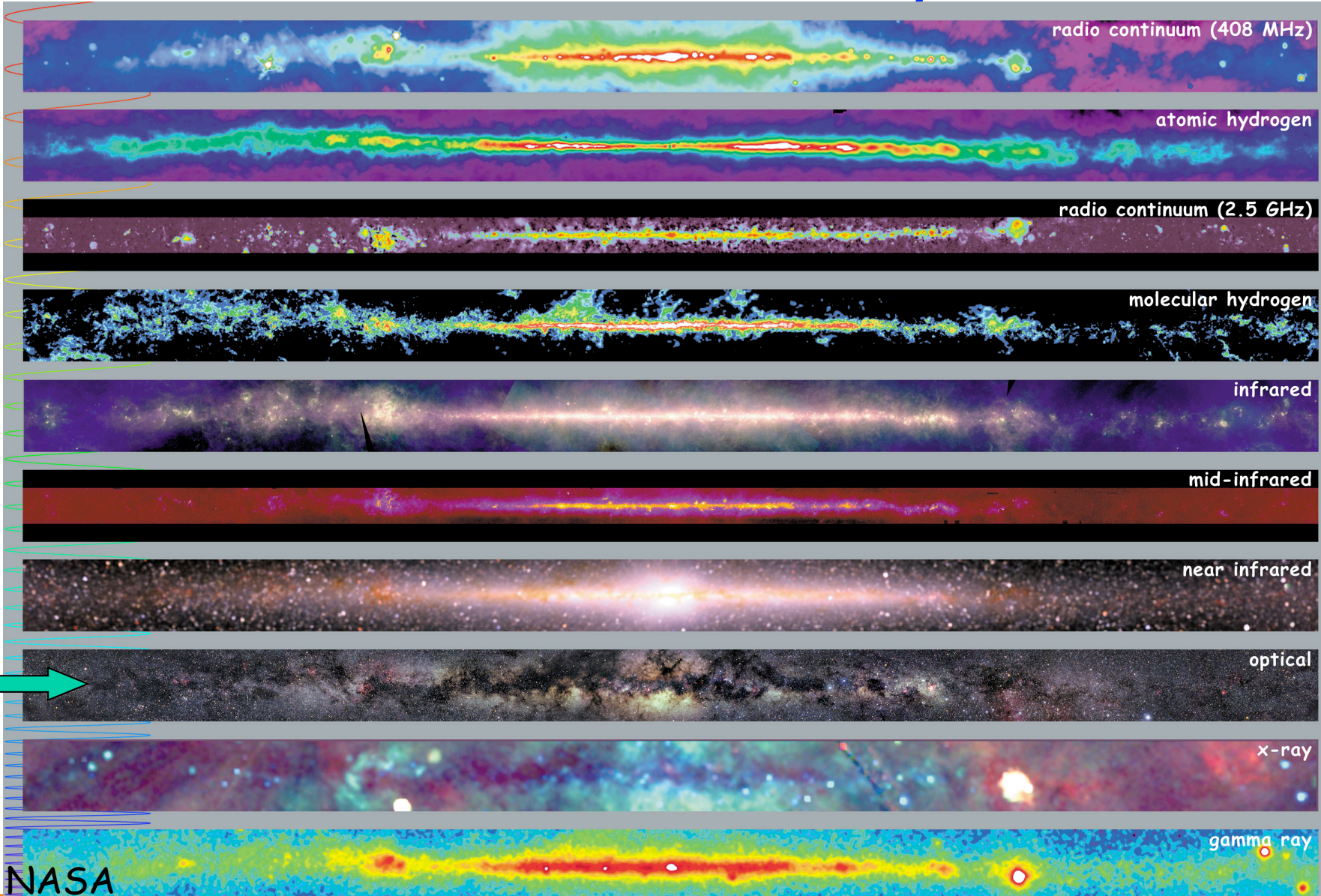
Halo sphérique
(> 30 kpc)



Le Groupe Local



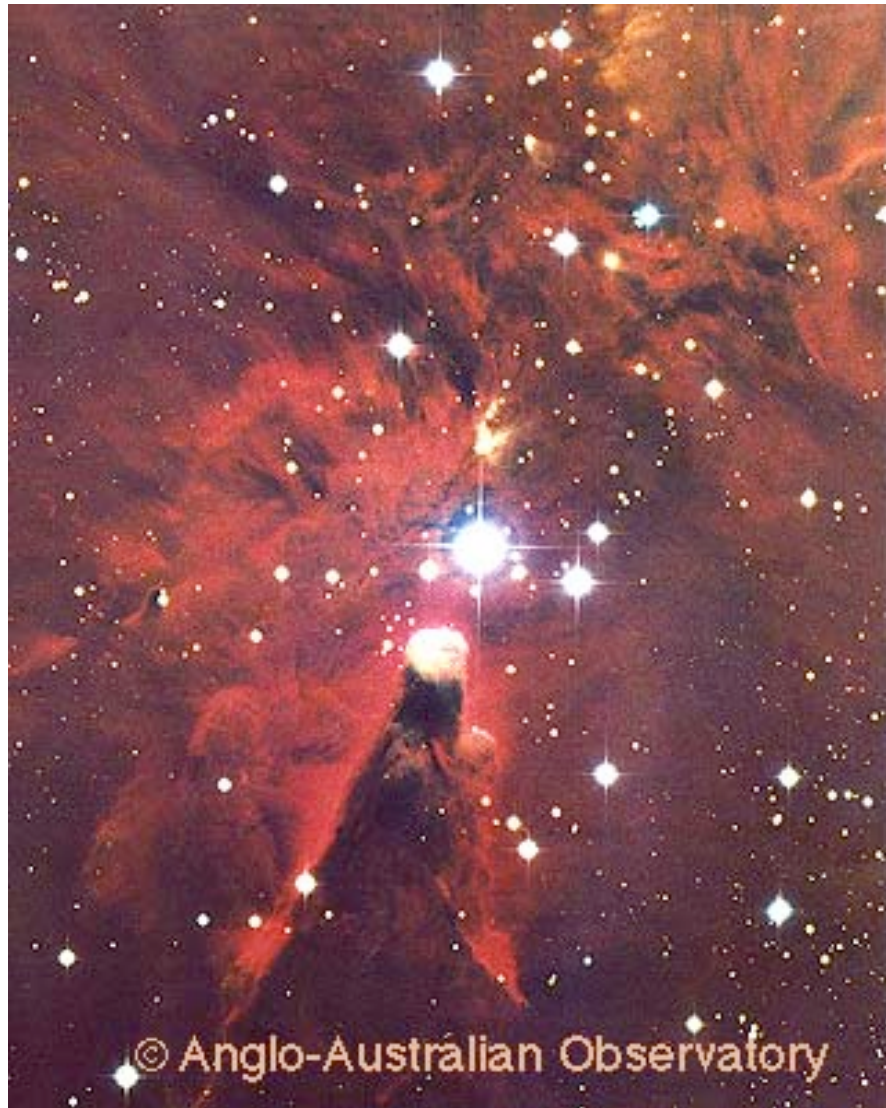
La Galaxie à différentes longueurs d'onde



<http://adc.gsfc.nasa.gov/mw>

NASA

Extinction et rougissement



On voit les **étoiles** à travers des nuages de **poussières ou de gaz**.

Cela entraîne

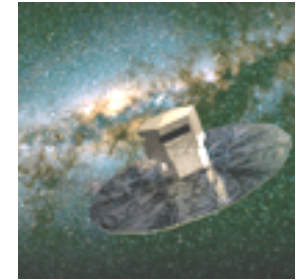
- une **diminution de leur luminosité apparente**
- un **rougissement**

Difficulté pour déterminer la distance de ces étoiles et des



d'Hipparcos à GAIA

Deux missions de l'ESA,
l'Agence Spatiale Européenne



Première mission spatiale
d'astrométrie, décidée en 1980

Lancée par Ariane le 8/8/1989

Pas sur une orbite
géostationnaire ...

Des données scientifiques
obtenues pendant 37 mois, de
novembre 1989 à mars 1993, sur
118 000 étoiles

Précision obtenue : 1 mas

Catalogue publié en juin 1997

Acceptée en octobre 2000

Lancement prévu : 12/2011

Lancement par Soyouz

Orbite: à 1,5 million de km, dans
la direction opposée Soleil

Observation de un milliard
d'étoiles pendant 5 ans

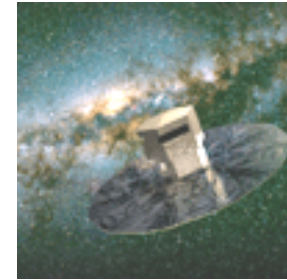
Précision attendue :

25 mas à $V = 15$

6 mas jusqu'à $V = 12$



d'Hipparcos à GAIA



118 000 étoiles

dans le voisinage solaire

jusqu'à la magnitude 12,4

21000 distances à mieux que 10%

➤ 220 pc

photométrie en 3 couleurs

pas de vitesses radiales

aucune galaxie

1 quasar

48 astéroïdes + 3 satellites

confirmation de 5 exo-planètes

plus d'un milliard d'étoiles

dans toute la Galaxie (au-delà)

jusqu'à la magnitude 20-21

100 millions à mieux que 10%

➤ 15 000

pc

photométrie multi-couleurs

vitesse radiales

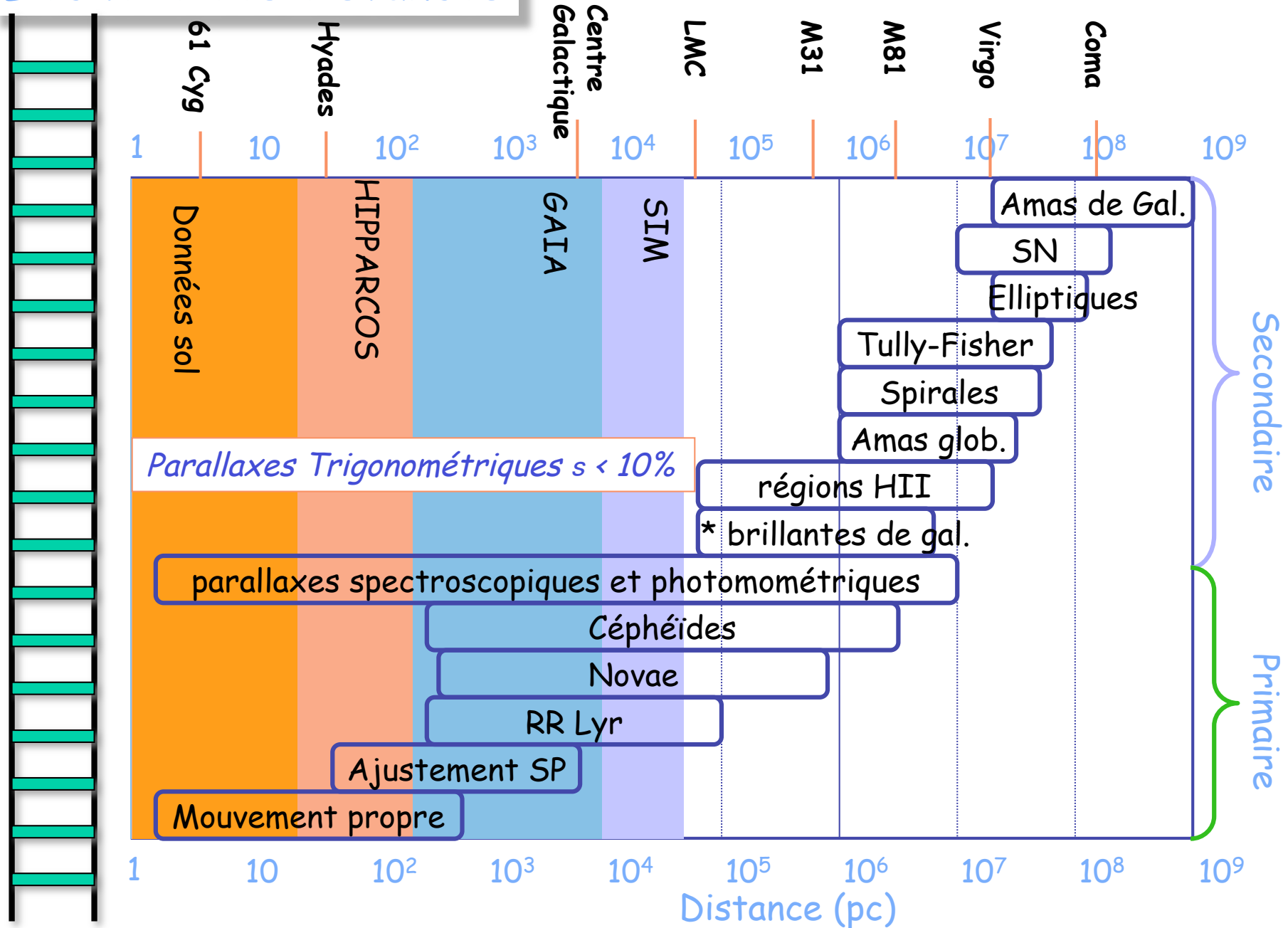
1 à 10 millions de galaxies

500 000 quasars

> 500 000 astéroïdes

2000 à 5 000 exo-planètes

L'échelle des distances



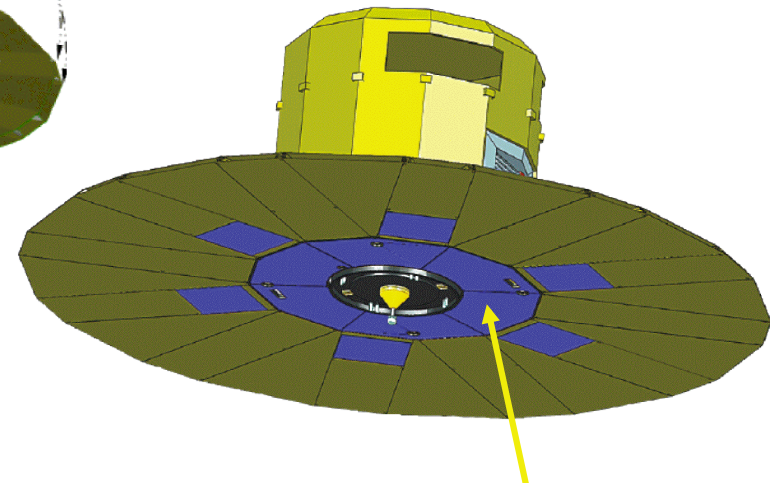
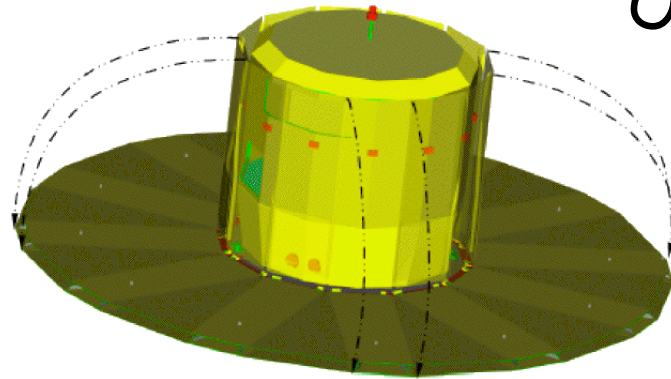
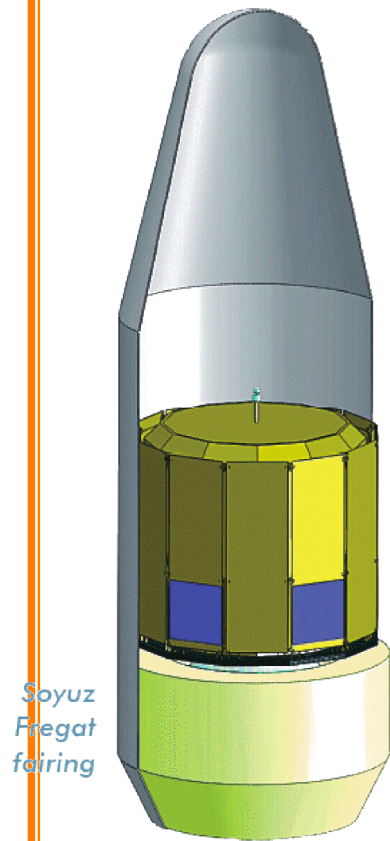
Gaia: le satellite

Lancement: déc. 2011

Durée: > 5 ans

Lanceur: Soyouz-Fregat

Orbite: point L2



Masse totale : 2 tonnes

Débit: 4 - 8.2 Mbps

Figure courtesy of EADS Astrium

Panneaux solaires

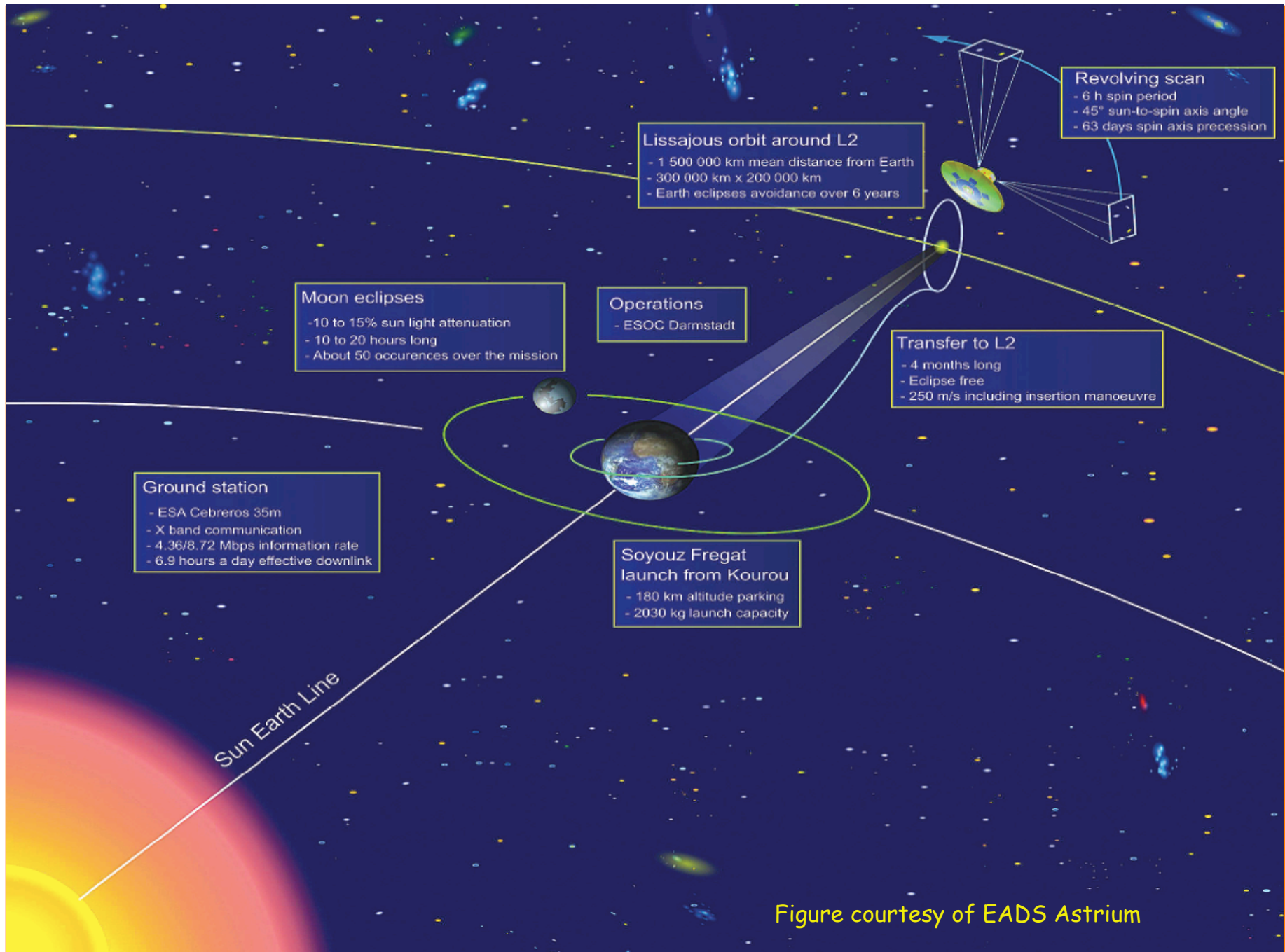
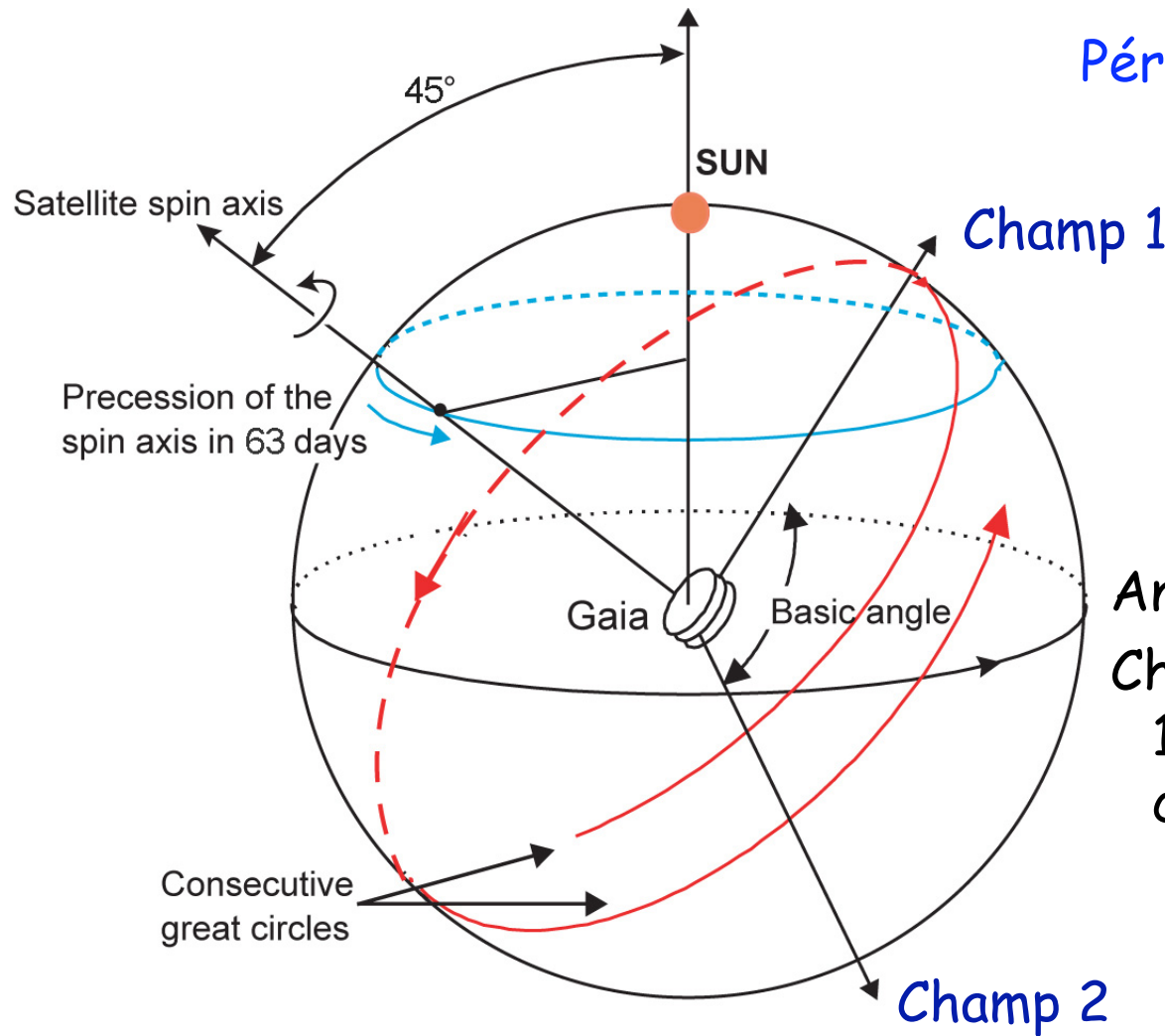


Figure courtesy of EADS Astrium

Loi de balayage

Vitesse de rotation:
60 arcsec/s
Période: 6 heures



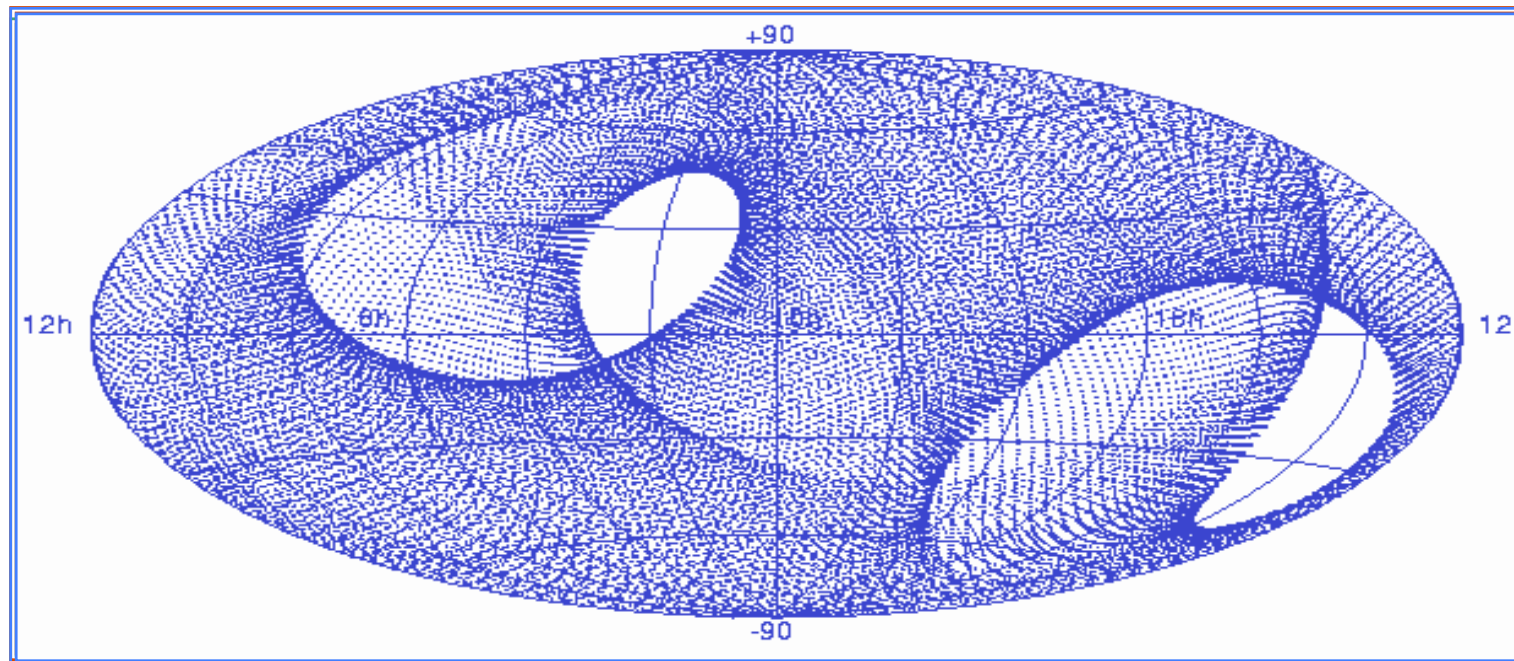
Angle de base 106.5°
Champ 2 observé
106.5 mn après le
champ 1

Couverture du ciel

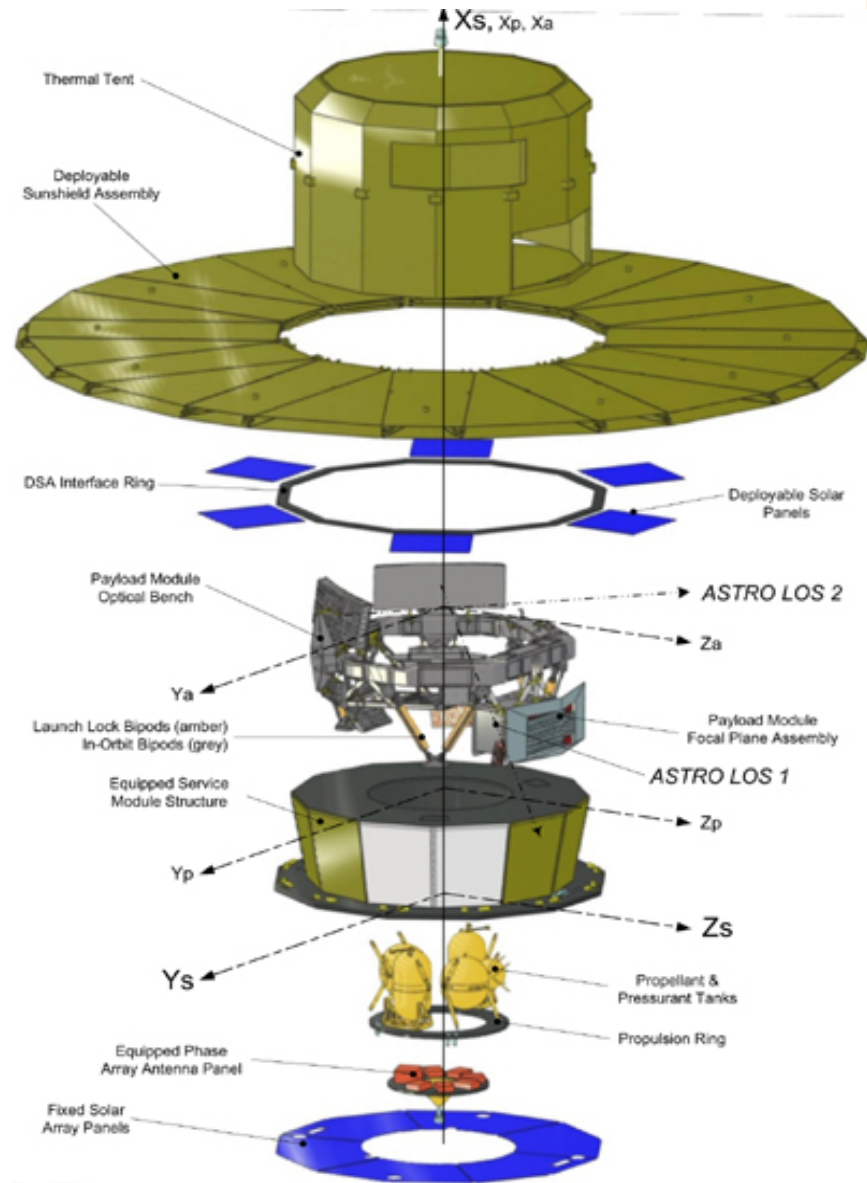
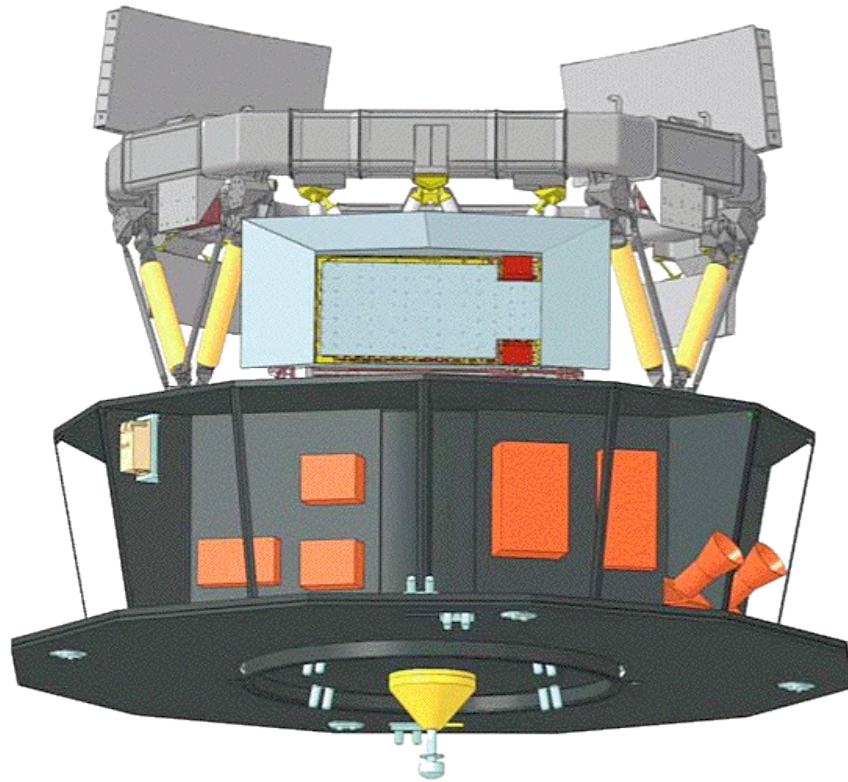
30 jours

60 jours

100 jours



Le satellite



Charge utile

Miroirs primaires 1.45 x 0.5 m

Angle de base 106.5 °

Longueur focale 35 m

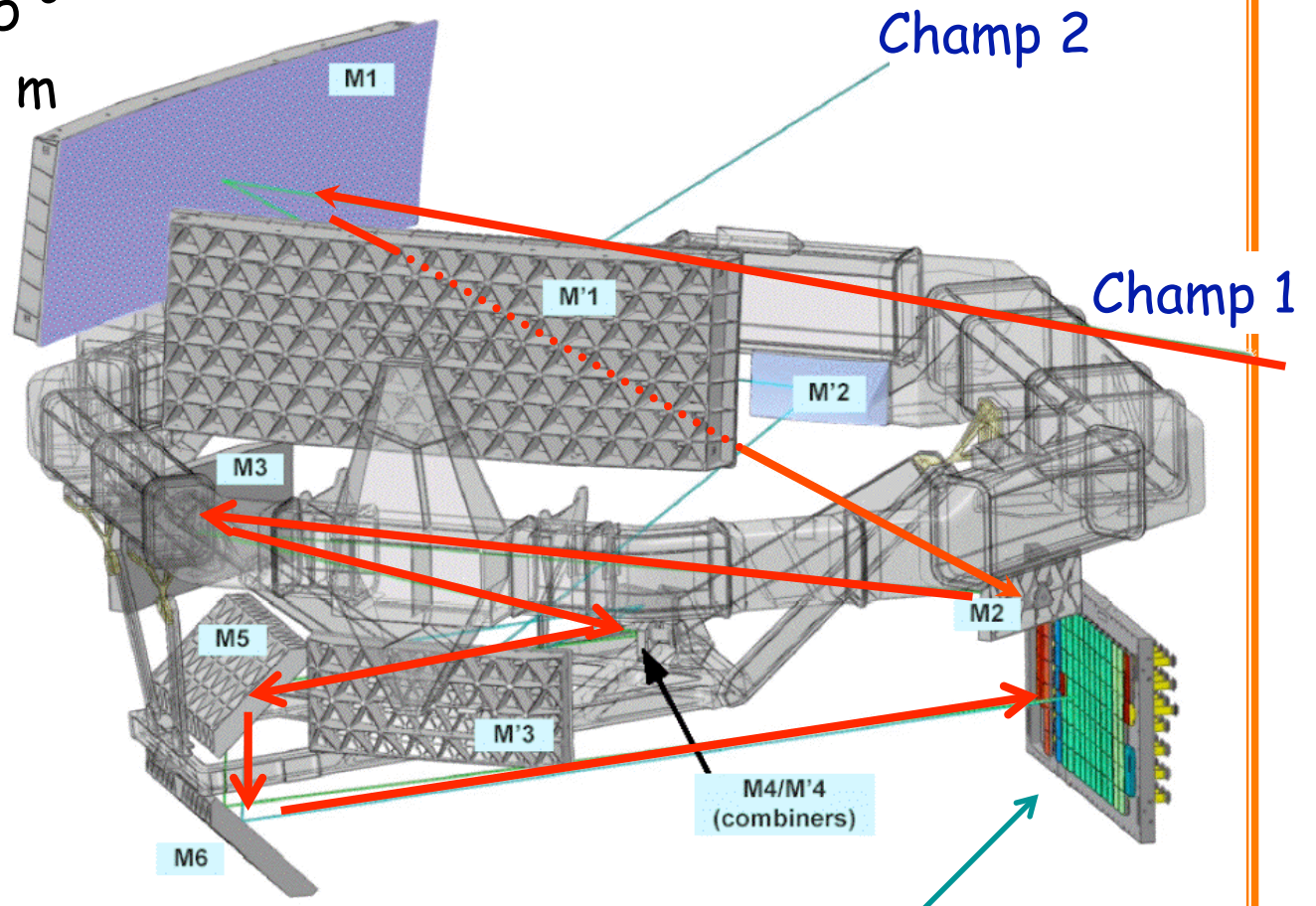


Figure courtesy of EADS Astrium

plan focal T = 170 K

Chemin optique et plan focal

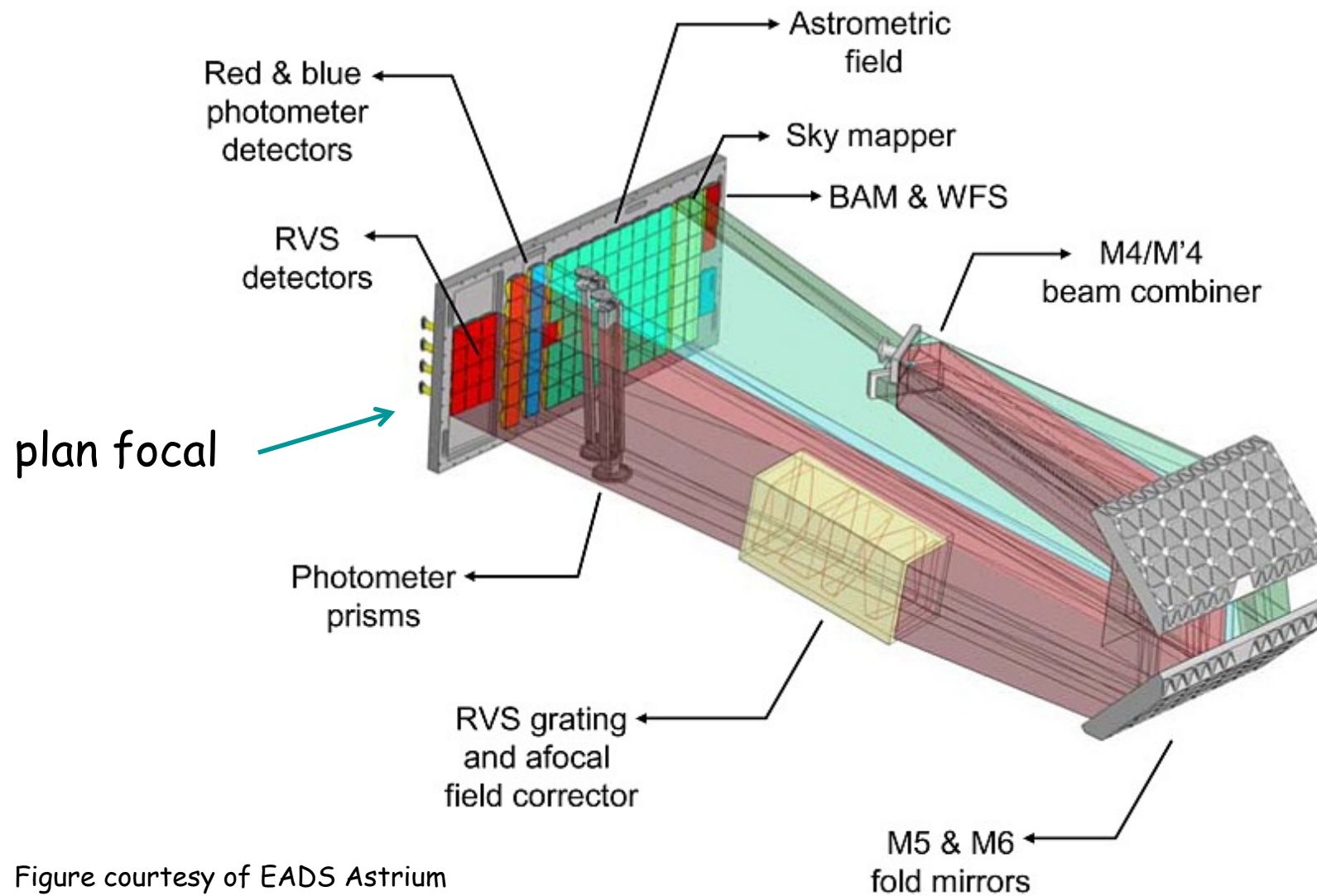
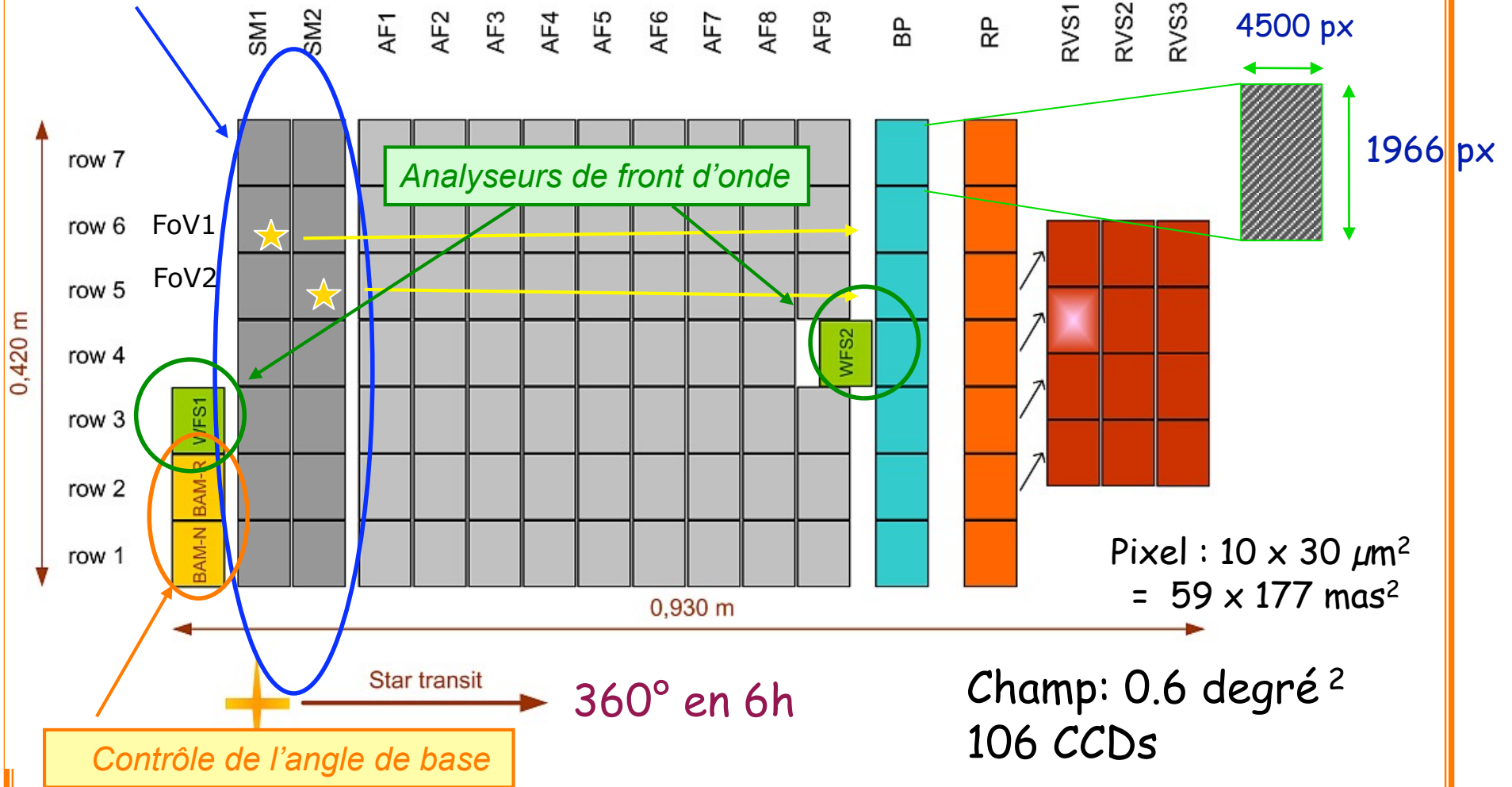


Figure courtesy of EADS Astrium

Plan focal

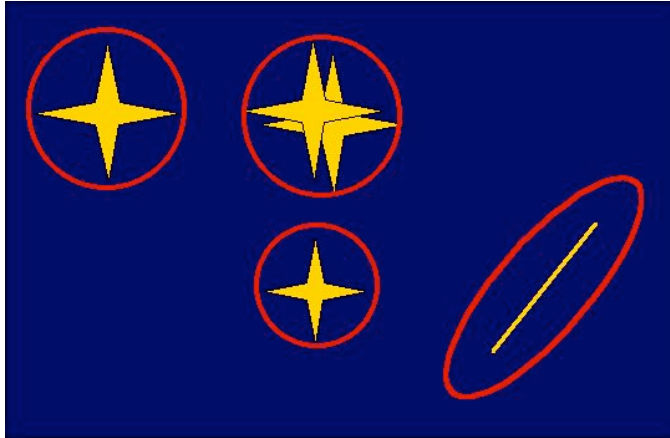
Repéreurs d'étoiles



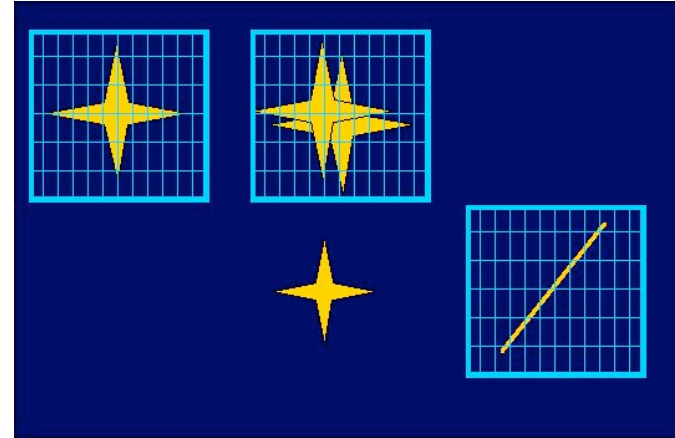
Champ: 0.6 degré^2
106 CCDs

Figure courtesy of EADS Astrium

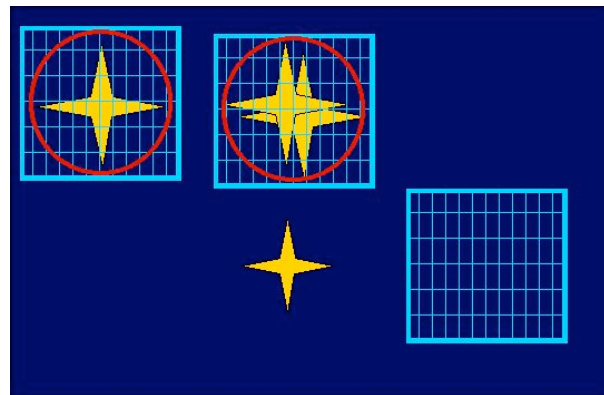
Sélection et observation à bord



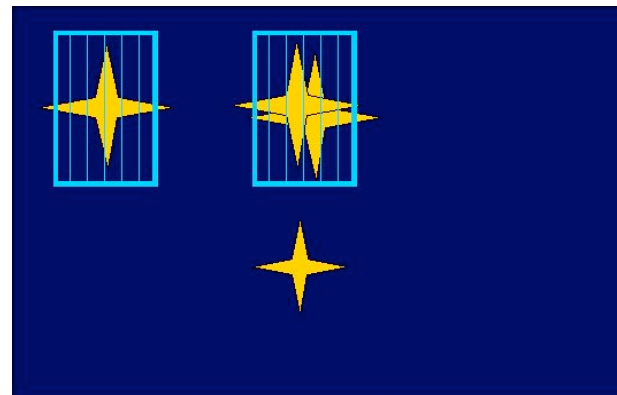
Détection des objets



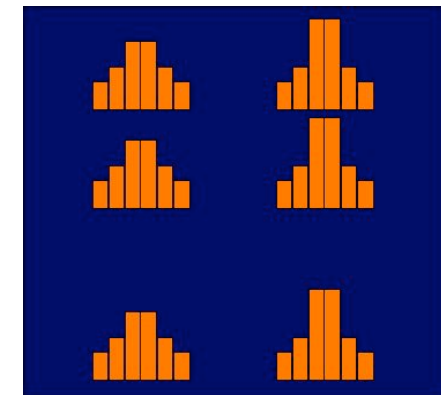
Première sélection



Confirmation

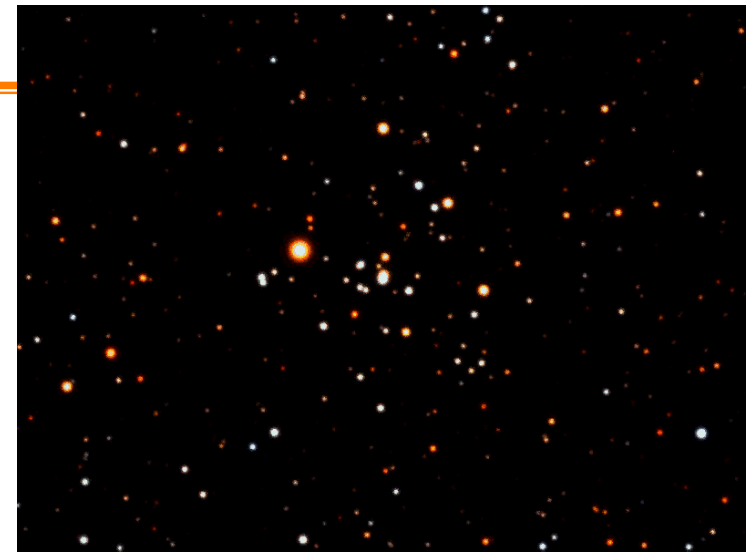


Sélection finale

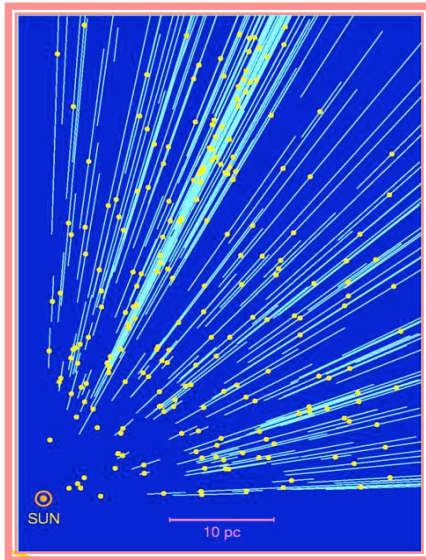


Observations

Les Hyades vues par les mesures de parallaxes

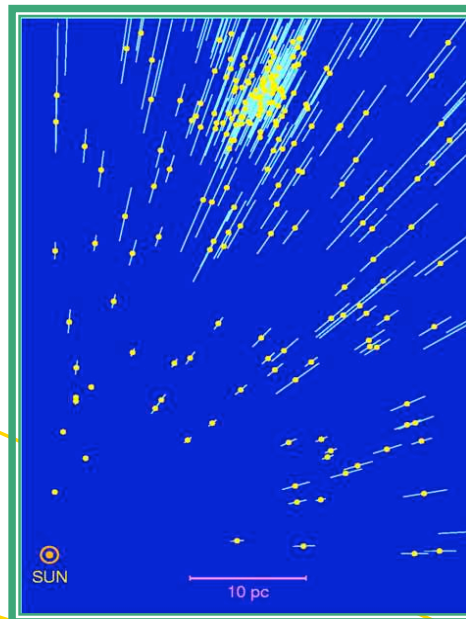


Sol



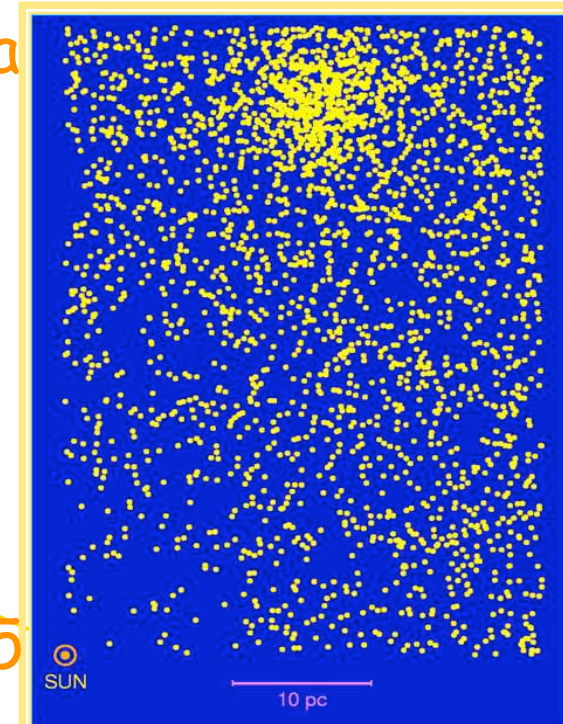
1960

Hipparcos



1990

Gaia



2015

Courtesy M. Perryman

Hipparcos a déjà montré

- que beaucoup de distances mesurées au sol étaient sous-estimées, de 10 à 15 %
- que même les étoiles supposées être à moins de 80 années-lumière du Soleil étaient très mal connues
- que la densité locale en étoiles était sur-estimée
- que la distance du Grand Nuage de Magellan était encore très mal connue



Hipparcos a déjà montré



- que les **distances** d'amas globulaires étaient **sous-évaluées**
- que leurs **âges** étaient **sur-évalués** (max = 12 à 14 milliards d'années)
- ⇒ **contradiction levée** entre l'âge de l'Univers et l'âge des objets les plus vieux de notre **Galaxie**



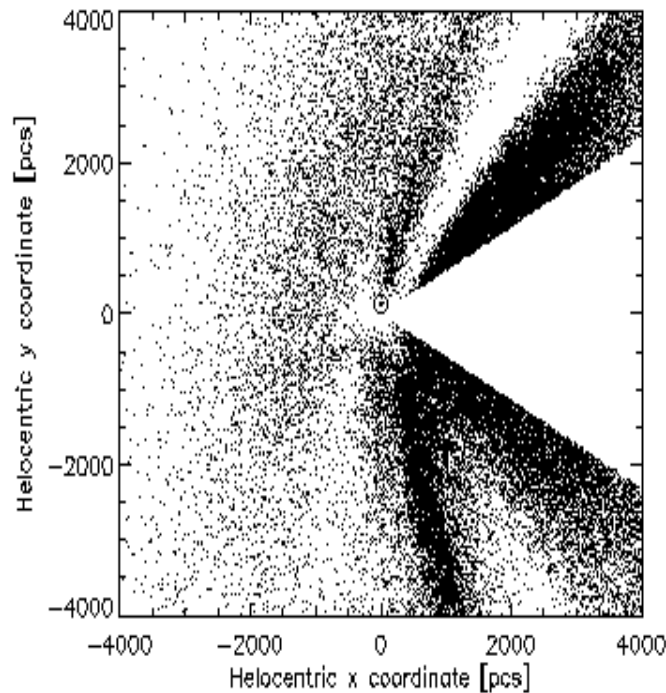
avec Gaia, on espère obtenir

- un recensement complet du voisinage solaire (jusqu'aux planètes géantes)
- la détection de quelques 5 000 planètes extra-solaires
- la luminosité, l'état d'évolution et les caractéristiques physiques d'étoiles de toutes les parties de la Galaxie
- la structure et l'histoire de notre Galaxie
- une distance précise des Nuages de Magellan
- la découverte systématique de tous les objets du système solaire et de tous les objets extragalactiques jusqu'à la magnitude 20
- des tests de la relativité générale

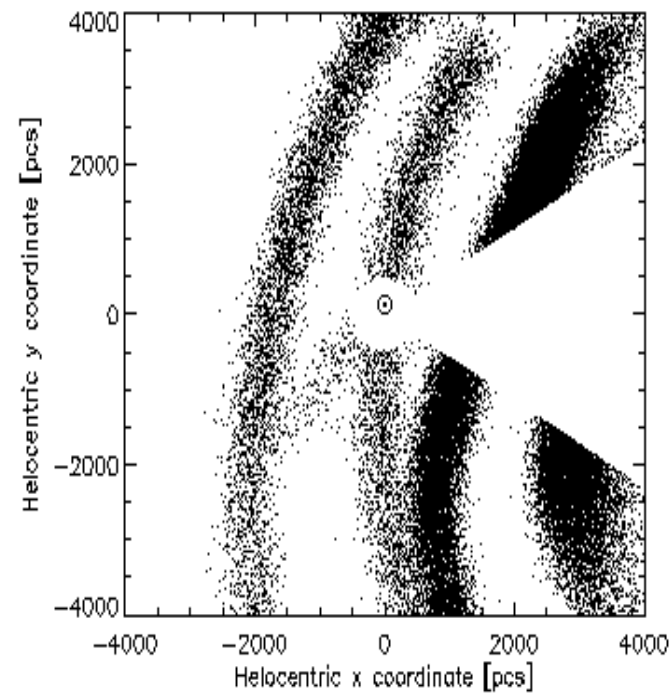


Les bras spiraux vus par Gaia

Survey « synthétique » de 50 000 étoiles OB



distances photométriques



distances Gaia

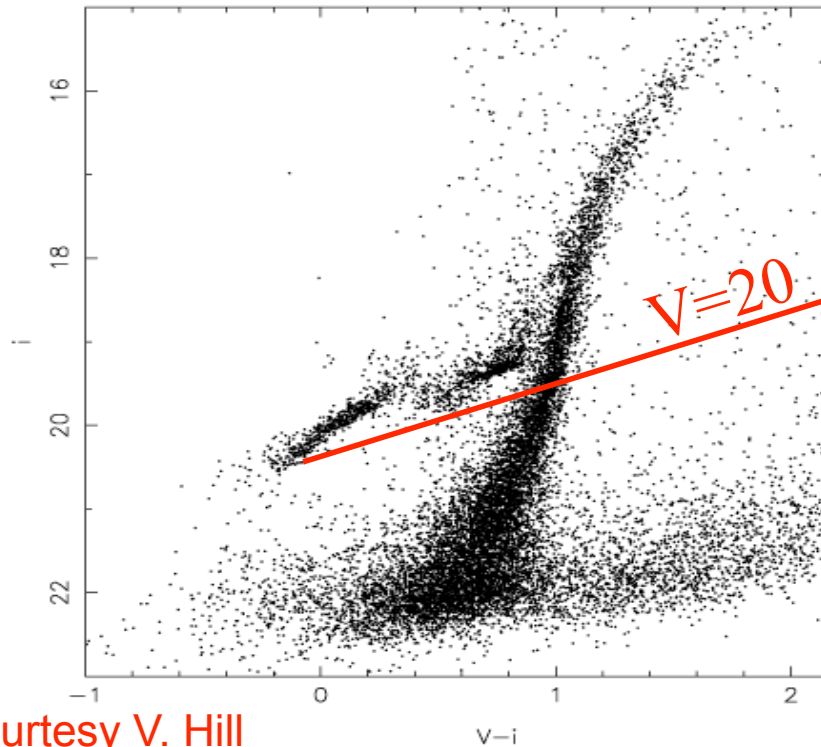
Drimmel, Smart & Lattanzi, 1997

Courants d'accrétion dans le Halo

Les mouvements des étoiles et leur composition chimique sont les témoins des étapes de la formation de la Galaxie

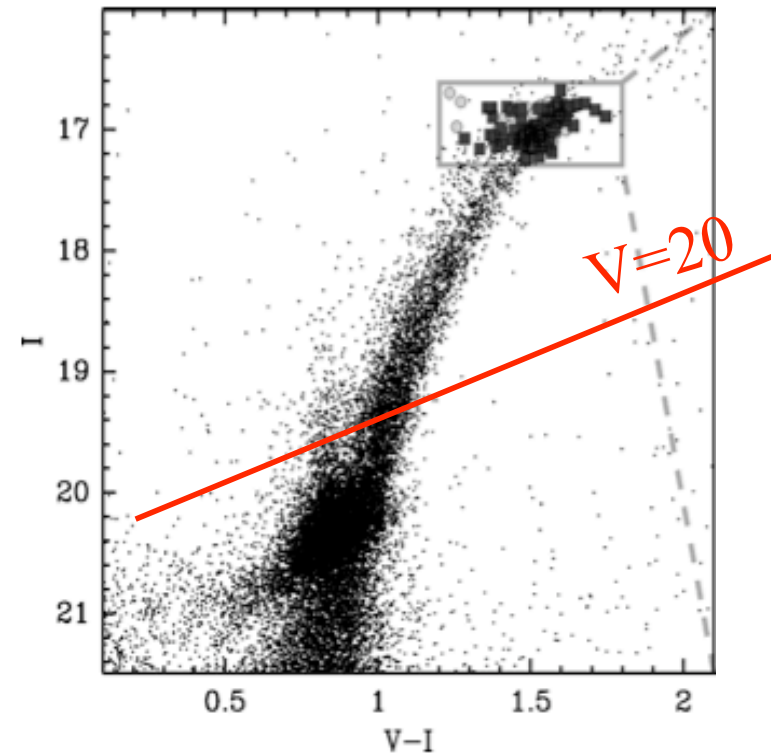
Diagrammes Couleur-Magnitude jusqu'à $V = 20$ mag

Sculpteur (79 kpc)



Courtesy V. Hill

Fornax (138 kpc)



GAIA va permettre de tracer des diagrammes HR précis de galaxies du Groupe Local, non contaminés par des étoiles du voisinage solaire

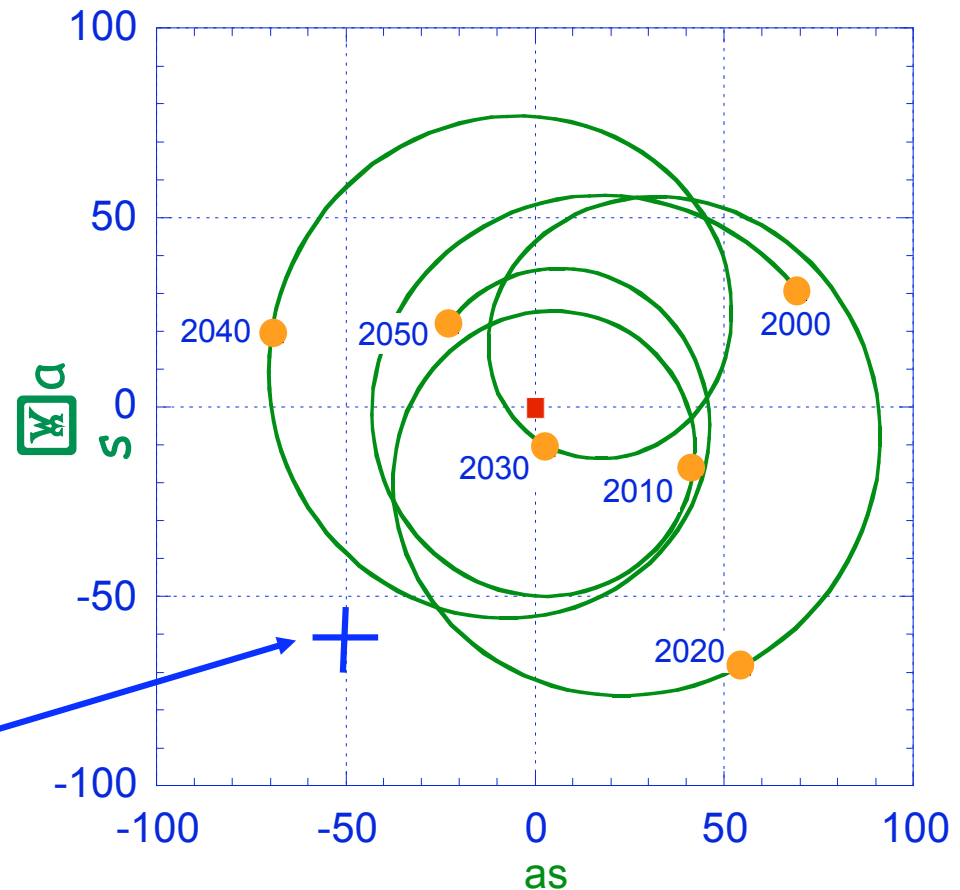
La détection astrométrique des exoplanètes

GAIA va surveiller les mouvements de centaines de milliers d'étoiles

et détecter

- 2-5 000 exo-planètes de période 2 à 10 ans
- Tous les « Jupiters » jusqu'à 150 pc
- $10 M_{\text{Terre}}$ à 10 pc

Mouvement du Soleil à 100 pc



Précision de GAIA à $V = 15$ mag

Traitement des données: difficile ?

Important volume de données

Environ 1 pB de données.

- $\sim 10^9$ objets observés en astrométrie et photométrie $V < 20$
 - ~ 700 milliards de mesures astrométriques.
 - ~ 150 milliards de mesures spectro-photométriques.
- qq centaines de 10^6 d'objets observés en spectroscopie
 - ~ 15 milliards de mesures spectroscopiques.
- étoiles (simples, doubles, multiples, avec planètes, variables), objets du système solaire, QSO, galaxies
- 80 observations par objet, sur 5 ans
- 102 CCDs \rightarrow environ 10^9 pixels

Important volume de calcul

10^{21} Flops.

- Consacrer 1 seconde CPU à chaque étoile: 30 ans de réduction de données + itératif + auto-calibration

Sociologie...

- "Il est difficile de faire de la science seul... Il est encore plus difficile de la faire avec d'autres personnes" H. van der Hulst

Echelles de temps

Hipparcos

- Premières idées et proposition au CNES: 1965-1966
- Proposition à l'ESA: 1973
- Inclusion dans le Programme Scientifique de l'ESA : 1980
- Lancement: 1989
- Publication du Catalogue: 1997, révision 2007 **> 30 ans !**

Gaia

- Premières idées: début des années 1990
- Proposition à l'ESA: 1993
- Inclusion dans le Programme Scientifique de l'ESA : 2000
- Lancement : 2011
- Publication du Catalogue : 2020 **~ 30 ans !**

Venus Express

- Inclusion dans le Programme Scientifique de l'ESA : March 2001
- Lancement : Nov 2005 **5 ans ...**

Coûts

Programme scientifique de l'ESA \approx 400 M€ /yr

Gaia 557 M€ = coût ESA en euros 2006

Hipparcos 293 M€ en euros 1982
= 762 M€ en euros 2006

... 30 Km d'autoroute

XMM 920 M€ = coût ESA en euros 2006

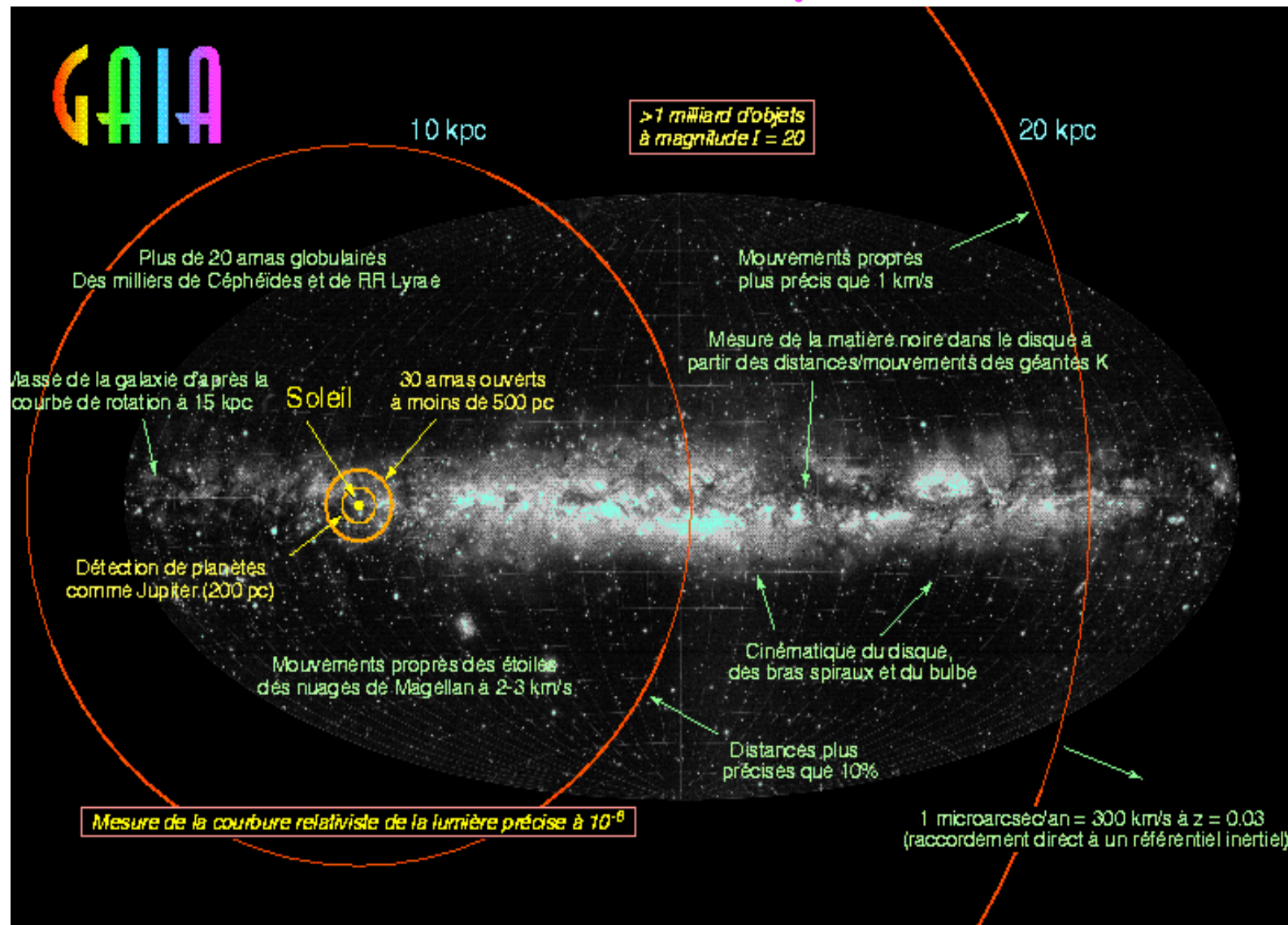
Mars Express / Venus Express 200 M€ en euros 2006

Nouvelles missions

"moyennes" 300 M€ = coût ESA en euros 2006
= 0.75 an de budget

"grosses" 650 M€ = coût ESA en euros 2006
= 1.6 an de budget

La Galaxie vue par Gaia



Adresses sur la toile

Gaia

sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=26

www.rssd.esa.int/Gaia

wwwhip.obspm.fr/gaia/ en français

Hipparcos

sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=20

www.rssd.esa.int/HIPPARCOS

Photos

ESA www.esa.int/export/esaSC/index.html

Hubble Space Telescope www.spacetelescope.org/index.html

ESO www.eso.org/outreach/gallery/astro/wfi/

Anglo-australian Observatory www.aao.gov.au/htdocs/images/

Sloan Digital Sky survey cas.sdss.org/dr5/en/tools/places/

NASA mwmw.gsfc.nasa.gov/

A. Mellinger canopus.physik.uni-potsdam.de/~axm/astrophot.html

Merci de votre attention

