

**Ce cours est enregistré et mis en ligne
sur les plateformes UNIGE.**

*This course is recorded and made
available online on UNIGE platforms.*



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

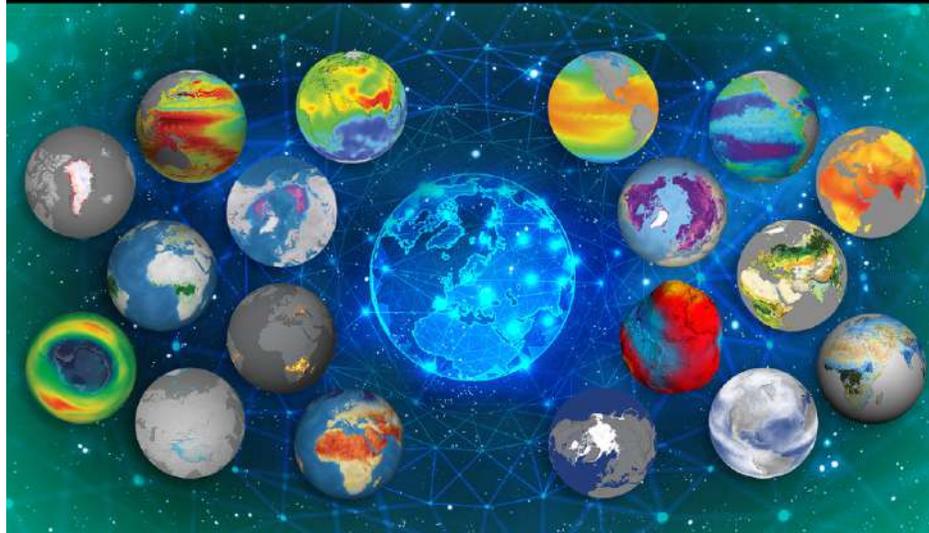


UNIVERSITÉ
DE GENÈVE

FACULTÉ DES SCIENCES
Département d'astronomie

Les grandes missions spatiales pour l'Astrophysique Saison 3

par Corinne Charbonnel, Professeure au Département
d'Astronomie de l'Université de Genève



Credit image : European Space Agency (ESA Towards Earth Explorer 11)

le mardi, du 20 septembre au 20 décembre 2022
de 17h45 à 18h45
Auditoire A300 - Sciences II, 30 quai Ernest-Ansermet, Genève

Inscription au cours sur place le 20 septembre
Renseignements : <http://unige.ch/sciences/astro>

Crédit image: NASA / ESA / STScI / www.hubblesite.org

La mission Gaia et notre Galaxie la Voie lactée

Laurent Eyer



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE

Les grandes missions spatiales pour l'Astrophysique

Mardi, 27 septembre 2022



La structure de l'exposé

Introduction

Gaia

résumé, le but de Gaia, les personnes qui font Gaia

Digression: nous sommes dans notre Galaxie

Comment mesure-t-on les distances avec Gaia: la parallaxe

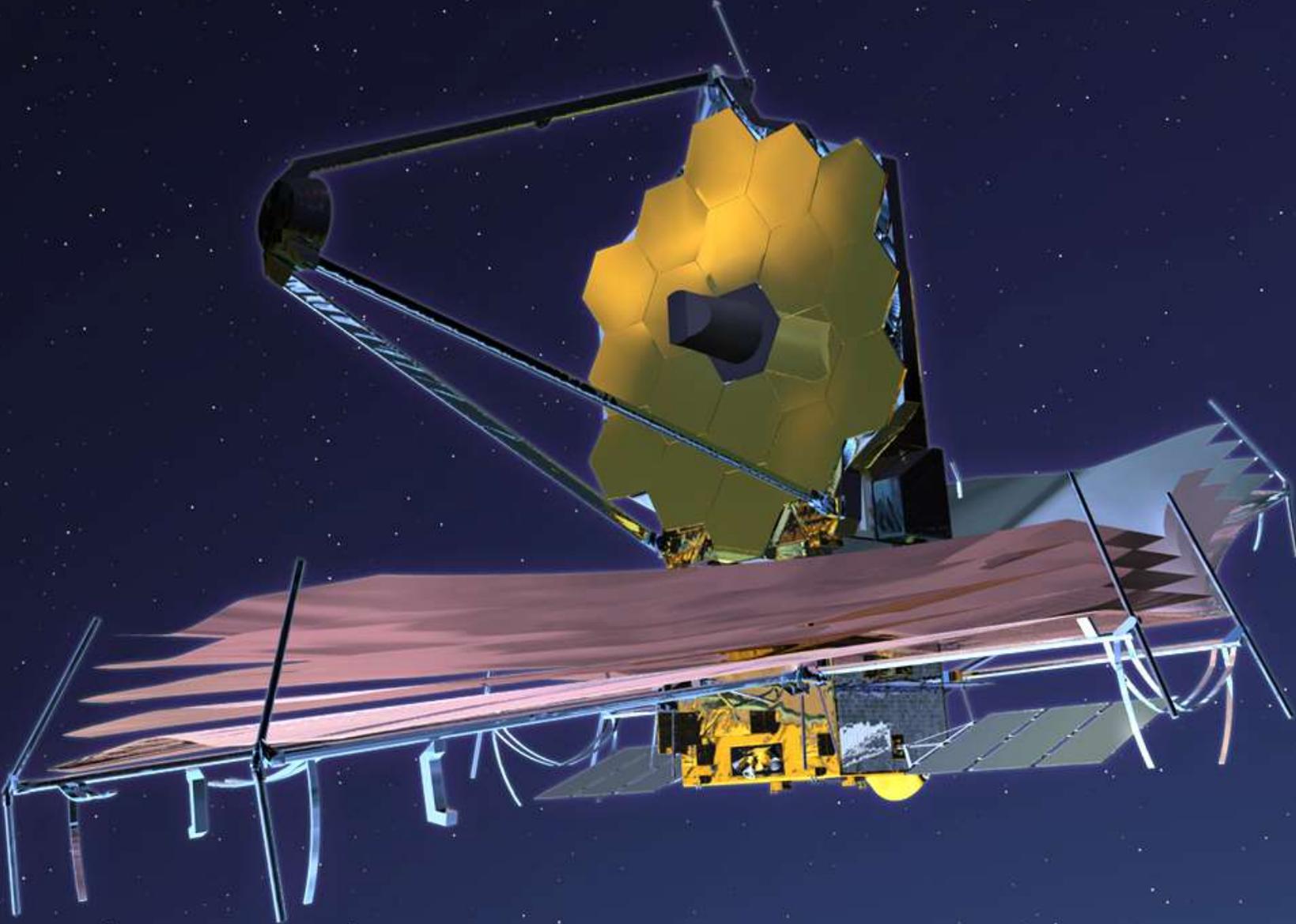
La photométrie de Gaia

Les spectres de Gaia

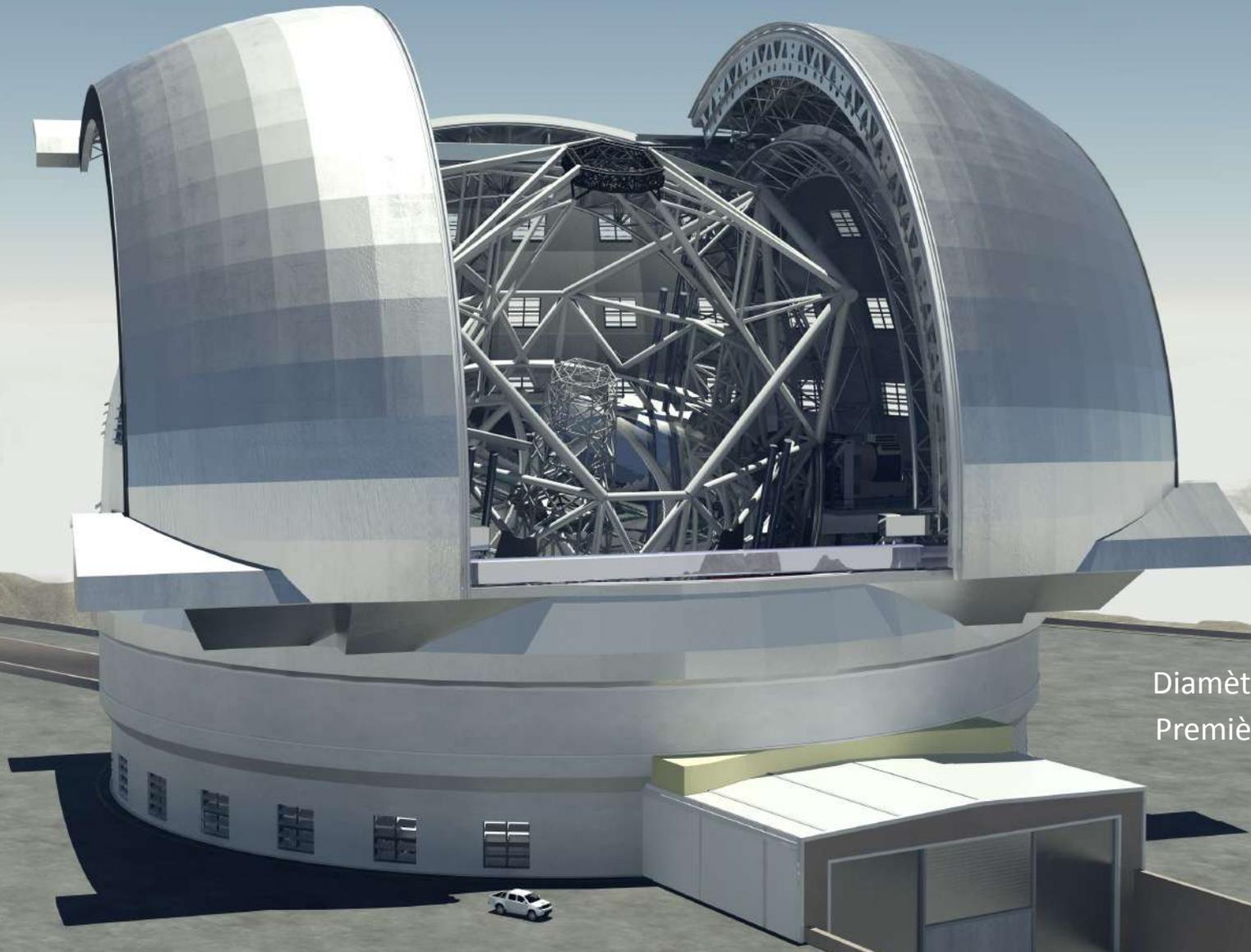
Du lancement de Gaia aux résultats

**Nous vivons une période fascinante
de l'astronomie**

James Webb Space Telescope (NASA)



Extremely Large Telescope (European Southern Observatory)



Diamètre: 39 mètres
Première lumière: 2027

Vera Rubin Observatory (LSST)

Diamètre : 8 mètres
Première lumière : 2023
Catalogue de 37 milliard d'objets



Gaia (European Space Agency)



Introduction : Mais qu'observe-t-on en astronomie ?

On mesure essentiellement des photons!

(+ le rayonnement cosmique, les neutrinos, des ondes gravitationnelles)

La position des sources lumineuses, la forme



Astrométrie

mesurer la position de façon de plus en plus précise, améliorer la résolution spatiale

L'éclat (objet brillant, faible)



Photométrie

mesurer des sources de plus en plus faibles

La couleur



mesurer dans des bandes photométriques différents
(rayon X, ultraviolet, visible, infrarouge)

Le spectre



Spectroscopie

améliorer la résolution des spectres

Introduction : Mais qu'observe-t-on en astronomie ?

La position des sources lumineuses, la forme



Astrométrie

Déterminer les mouvements
les distances

L'éclat (objet brillant, faible)



Photométrie

Déterminer les propriétés physiques
températures en surface, rayons, les masses

La couleur



Le spectre



Spectroscopie

Déterminer les propriétés physiques
Déterminer la composition chimique
Déterminer la vitesse radiale

Introduction : Des photons d'où ?

Du soleil



Des planètes et de leur(s) satellite(s)

Des astéroïdes, des comètes

Des étoiles (couleurs différentes)

De la matière interstellaire

De groupes d'étoiles

De galaxies

Du big bang



Introduction: les observations en astronomie

Tout au long de l'histoire, l'astronomie a souvent été guidée par les observations

La croissance des données (taille et diversité) a été énorme ces dernière décennies

- Les caméras CCD
- Les ordinateurs (la capacité de stockage et la puissance de calcul)
- Les observations automatisées
- L'espace (observations 24h/24, accès à d'autres longueurs d'onde - rayons X, Ultraviolet, infrarouge, etc.)

La structure de l'exposé

Introduction

Gaia

résumé, le but de Gaia, les personnes qui font Gaia

Digression: nous sommes dans notre Galaxie

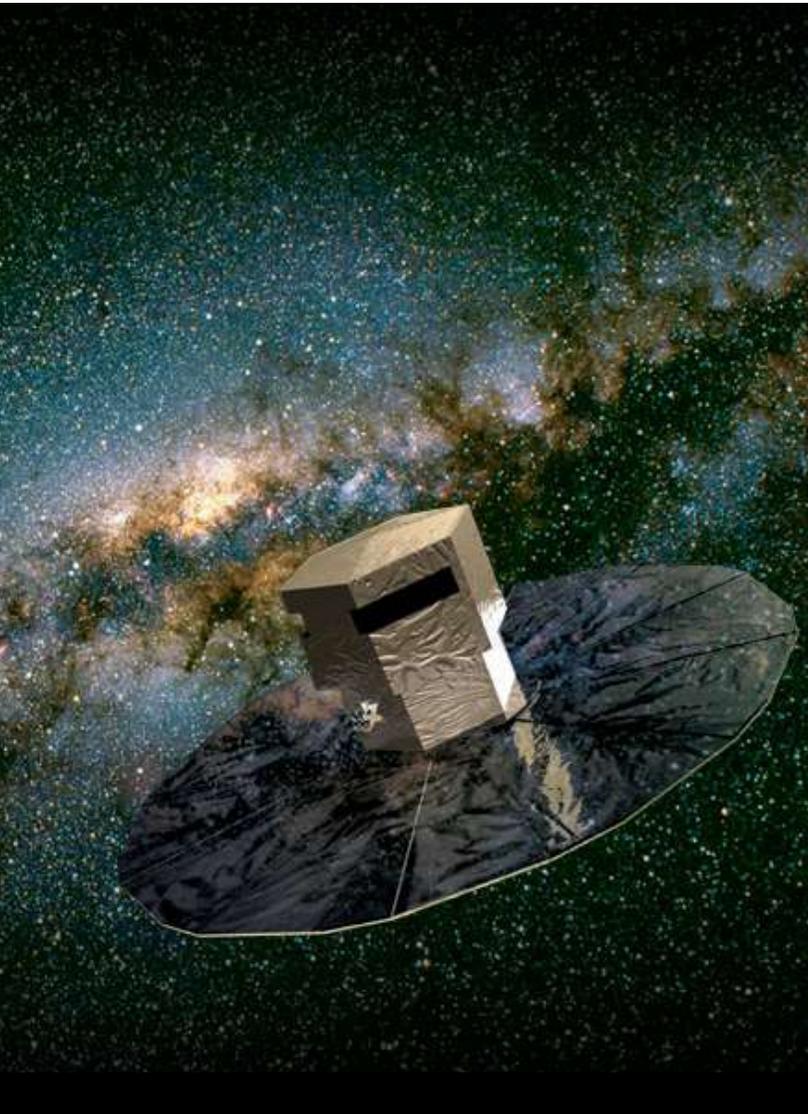
Comment mesure-t-on les distances avec Gaia: la parallaxe

La photométrie de Gaia

Les spectres de Gaia

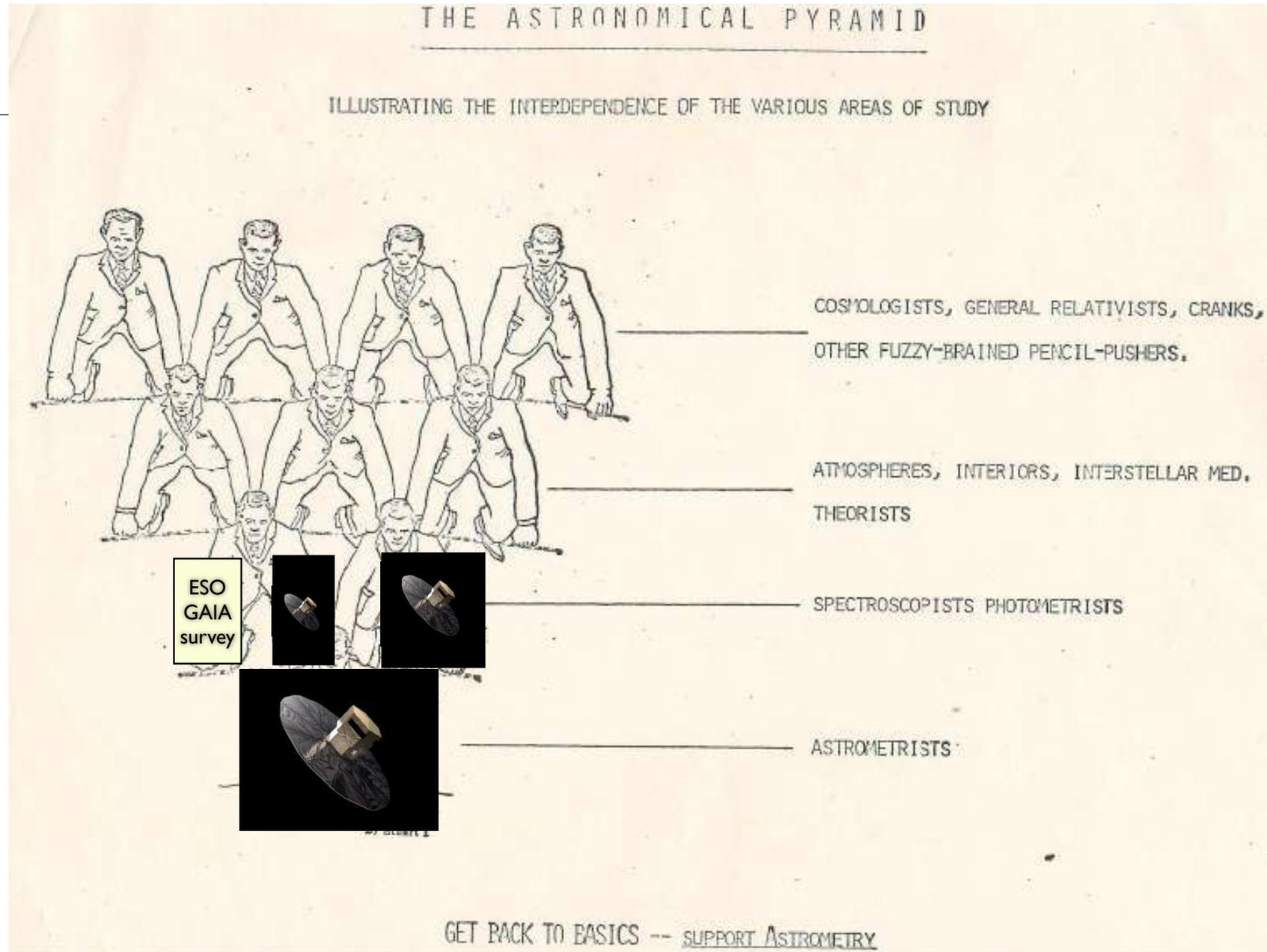
Du lancement de Gaia aux résultats

Résumé de Gaia



- Mission majeure de l'Agence Spatiale Européenne
- Observation de **tous les objets** plus brillant qu'une certaine limite $G=20.7$ (**>2 milliards d'objets célestes, principalement des étoiles**)
- Des mesures de:
 - **positions** (astrométrie)
 - **éclats, couleurs** (photométrie, spectro-photométrie)
 - **vitesse radiales** (spectroscopie) >100 million d'objets
- Lancement (fusée Soyuz): 19 décembre 2013
- Fin de mission: 2025
- Pour 10 ans, le ciel sera observé
 - **140** fois pour l'instrument d'astrométrie/photométrie
 - **80** fois pour l'instrument de spectroscopie

La pyramide de Probst (1974)



Importance de Gaia

Le but de Gaia



Le consortium Gaia est comme la NSA pour notre Galaxie



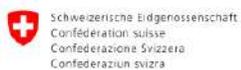
Facebook a environ 2 milliard d'utilisateurs réguliers



Avec Gaia nous avons environ 2 milliard de sources

But principal: nous étudions notre galaxie et ses constituants

Gaia fait un recensement



Office fédéral de la statistique

Sexe et âge	Population étrangère	Paysage religieux	Langue	Méthodologie
-------------	----------------------	-------------------	--------	--------------



Gaia mesure les objets du ciel

(Ra)conter l'histoire de notre Galaxie

Compter les objets célestes

astéroïdes

étoiles

quasars

galaxies

et découvrir...

supernovae

exoplanètes

trous noirs

...

Gaia fait un recensement, comme un recensement de la population

Recensement de 2 milliard de personnes

Mesure répétée (plusieurs fois par mois) de...:

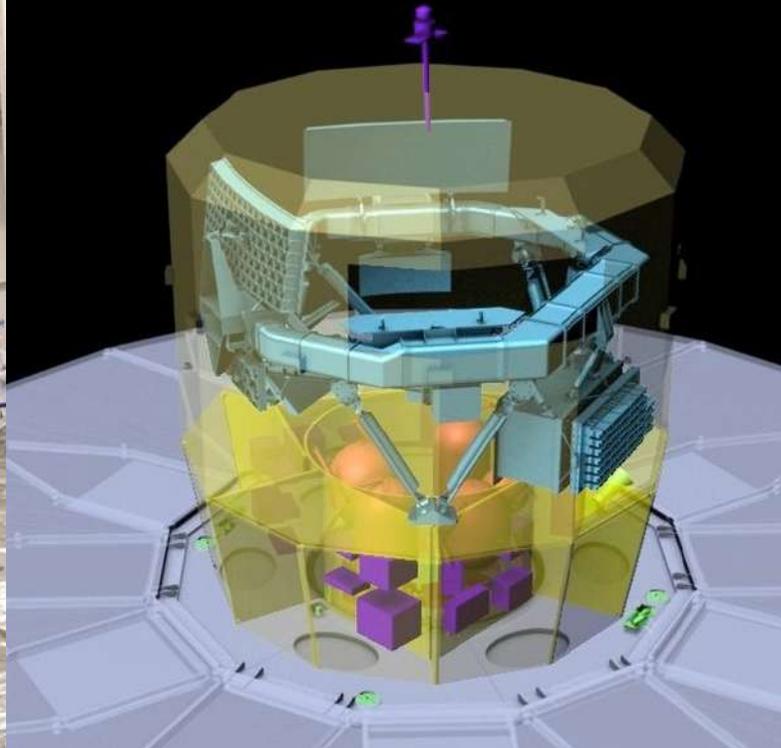
- localisation/position
- poids
- hauteur
- fer, vitamine D, etc dans le sang
- Nombre de personne dans le ménage
- etc.



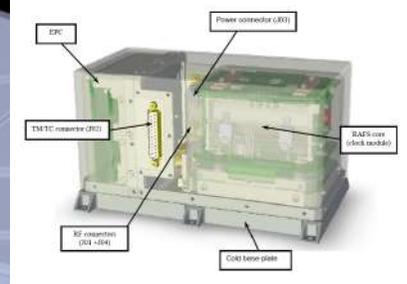
Gaia: une aventure moderne

- Défis technologiques avec des innovations
- Une large collaboration internationale pour un engagement à long terme
- Un impact scientifique gigantesque

Gaia : un aventure technologique



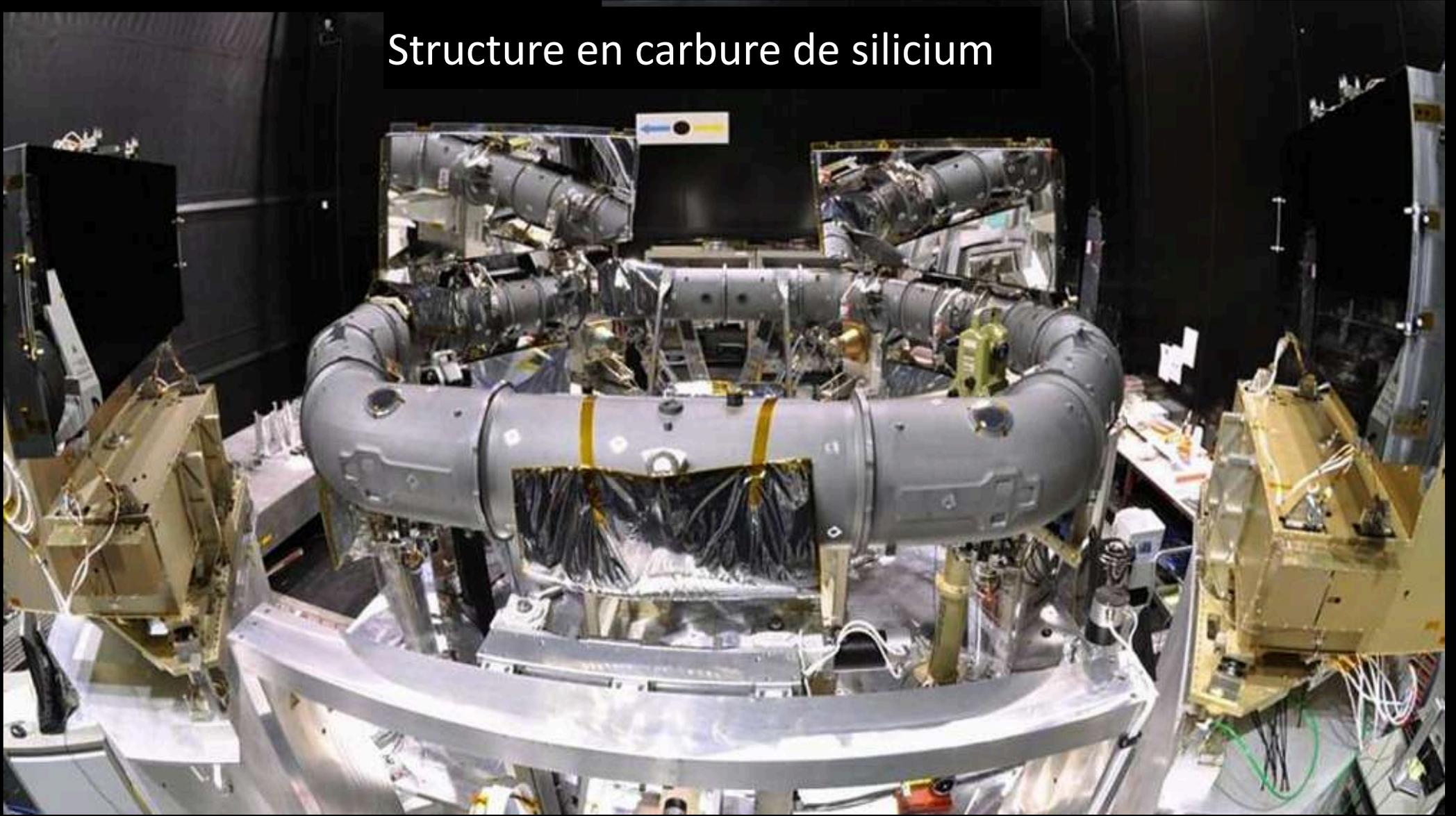
SPECTRATIME
iPrecision Timing Solutions®



Autres industries suisses: APCO, RUAG, Syderal

Gaia : un aventure technologique

Structure en carbure de silicium



Gaia une aventure humaine : le consortium Gaia



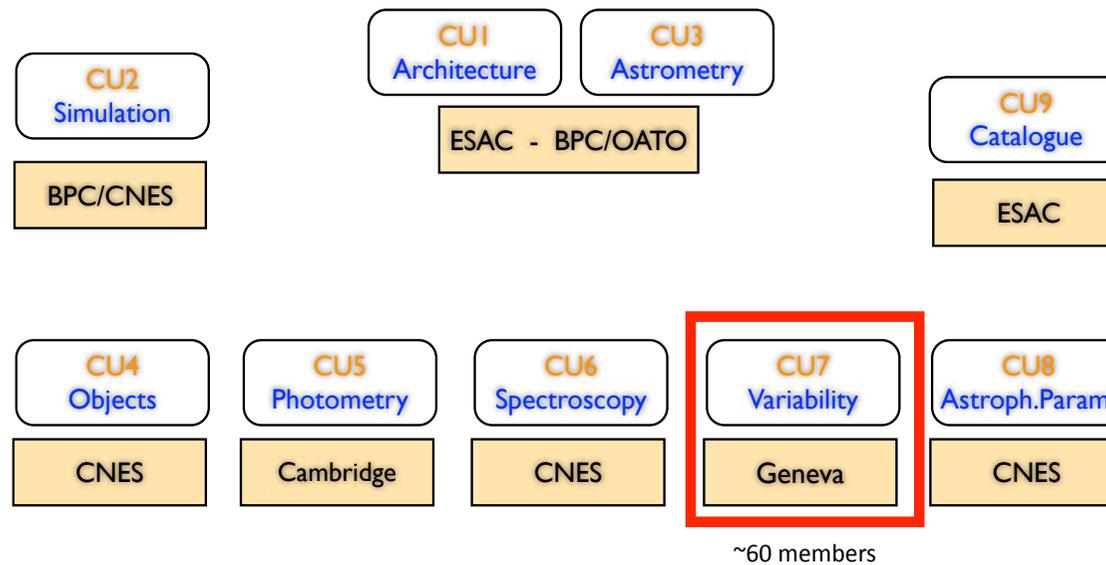
Des scientifiques et informaticiens pour analyser les données

Le consortium Gaia

Un consortium de plus de 450 personnes pour analyser les données de Gaia

Deux concepts

1. Unités de coordination
2. Centres de traitement des données



Planification: plus d'un quart de siècle

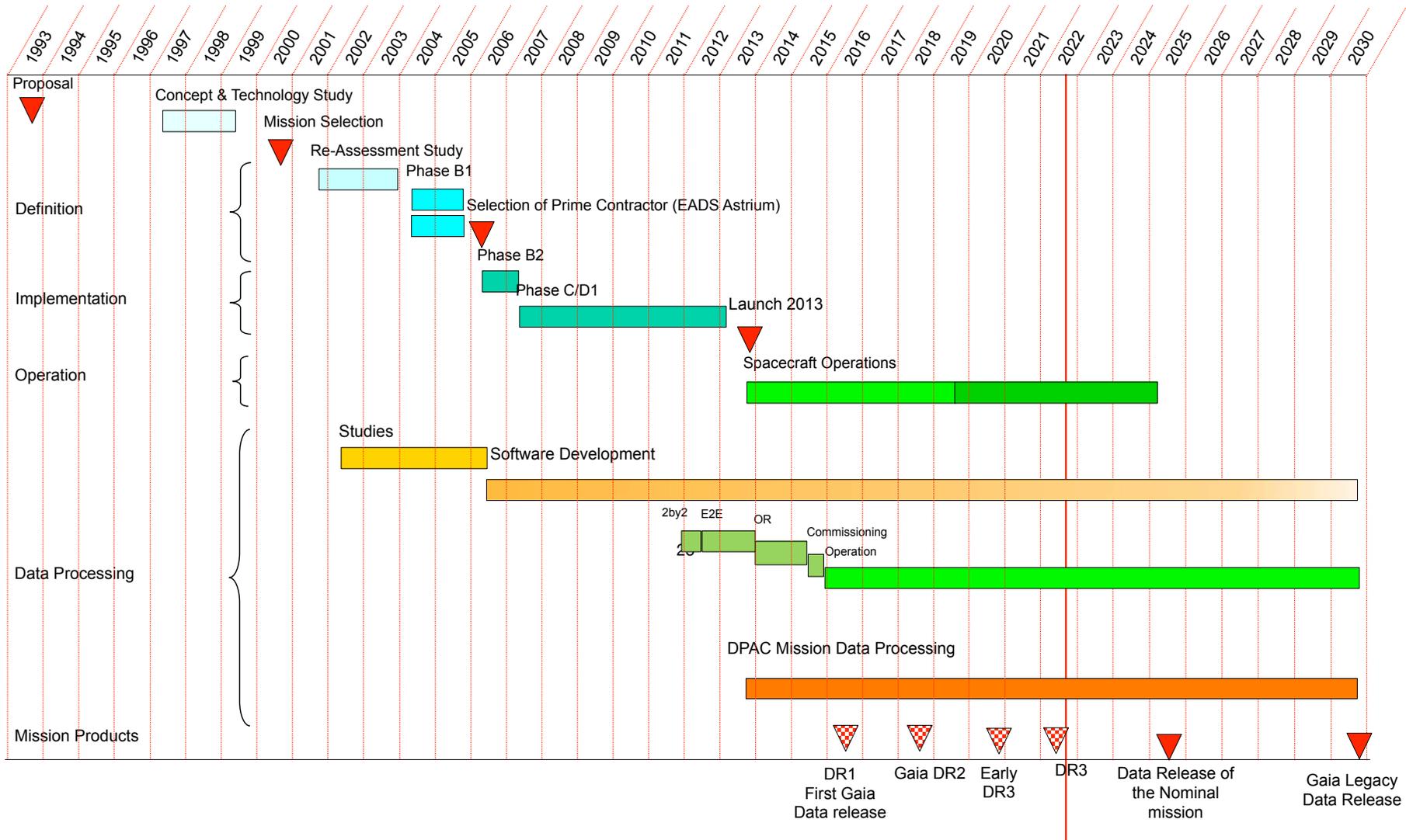


Figure courtesy M.Perryman, modified by F.Mignard, L.Eyer

Maintenant

La structure de l'exposé

Introduction

Gaia

résumé, le but de Gaia, les personnes qui font Gaia

Digression: nous sommes dans notre Galaxie

Comment mesure-t-on les distances avec Gaia: la parallaxe

La photométrie de Gaia

Les spectres de Gaia

Du lancement de Gaia aux résultats

La Voie lactée

- Depuis les débuts de l'humanité, les humains ont regardé vers le ciel
- Ici on voit la Voie lactée, notre Galaxie
- Cela a certainement suscité à la fois des sentiments d'émerveillement et une profonde curiosité
- Les gens ont essayé de donner un sens à ce qu'ils voyaient
- Toutes les civilisations ont construit des explications du monde
- Maintenant nous avons des observatoires très puissants

LE PROBLÈME: on est dedans

Astronomy Picture of the Day (APOD)-Rolf Weisenfeld

Plongée sous-marine



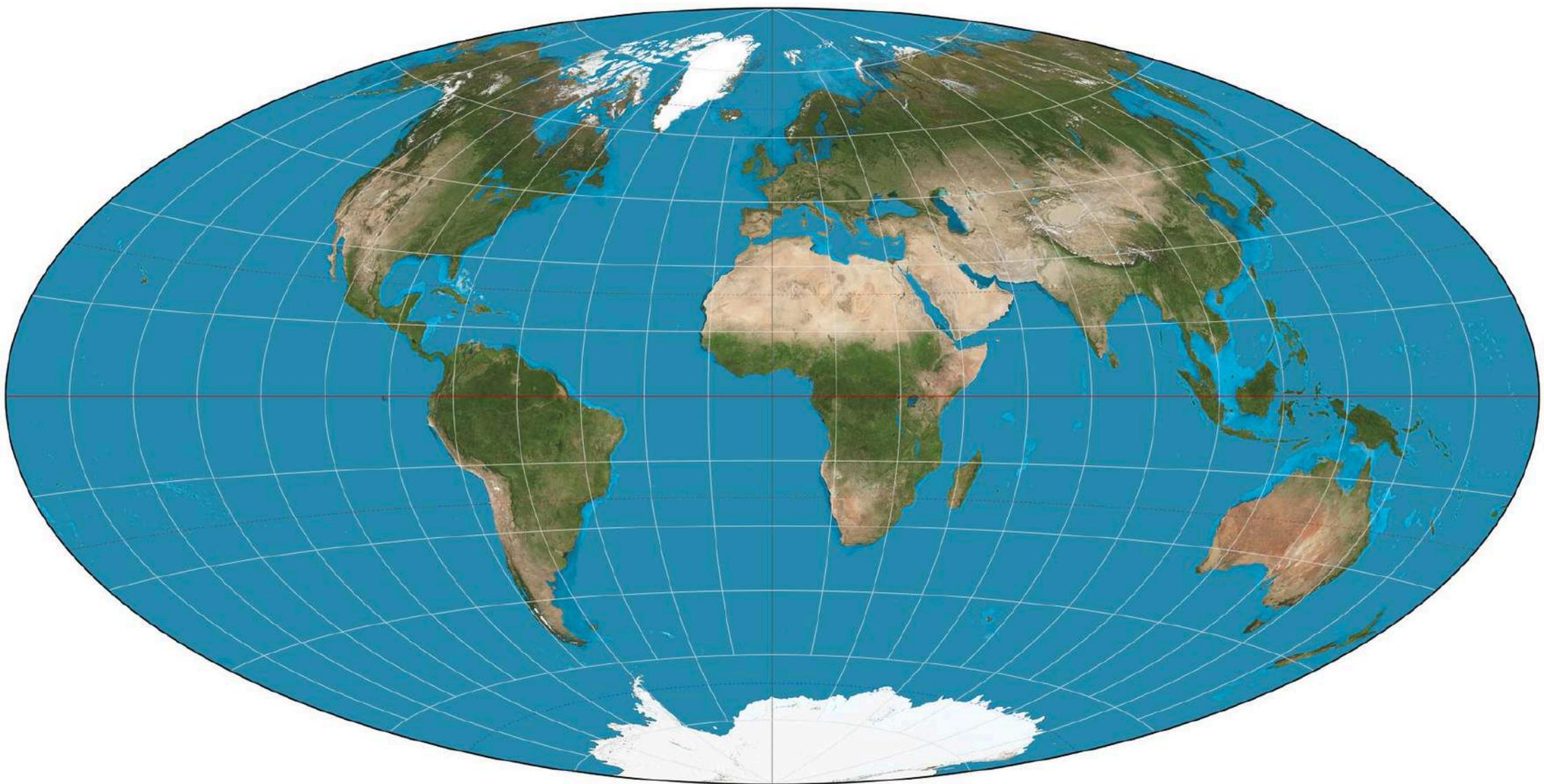
Plongée sous-marine

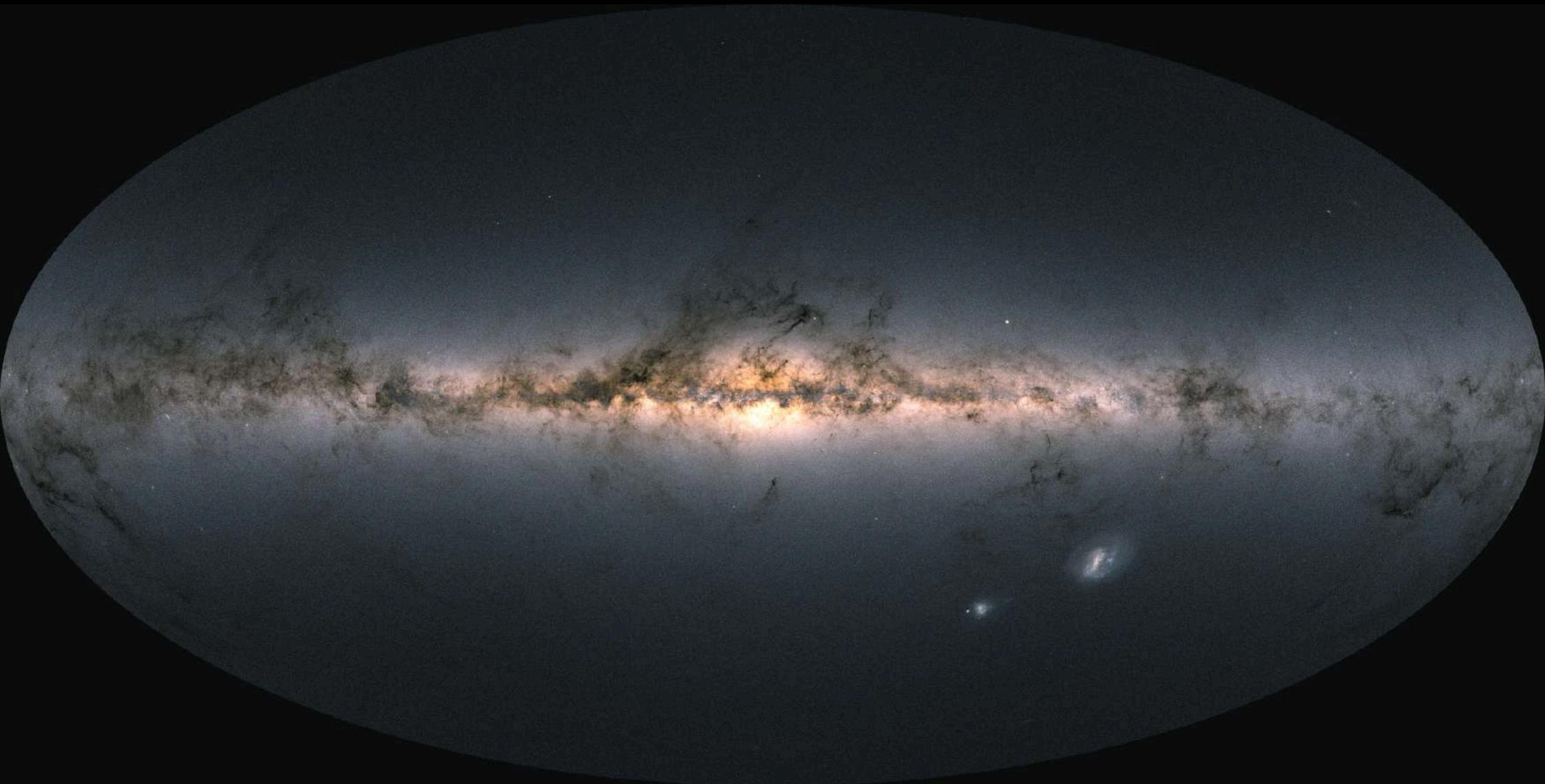


"Tracking sharks" youtube channel, April 5 2021

Avec un autre angle de vue, on voit parfois mieux ce qui est important







Une galaxie par la tranche



NGC 1535
Adam Block/Mount Lemmon SkyCenter/University of Arizona

Une galaxie un peu inclinée



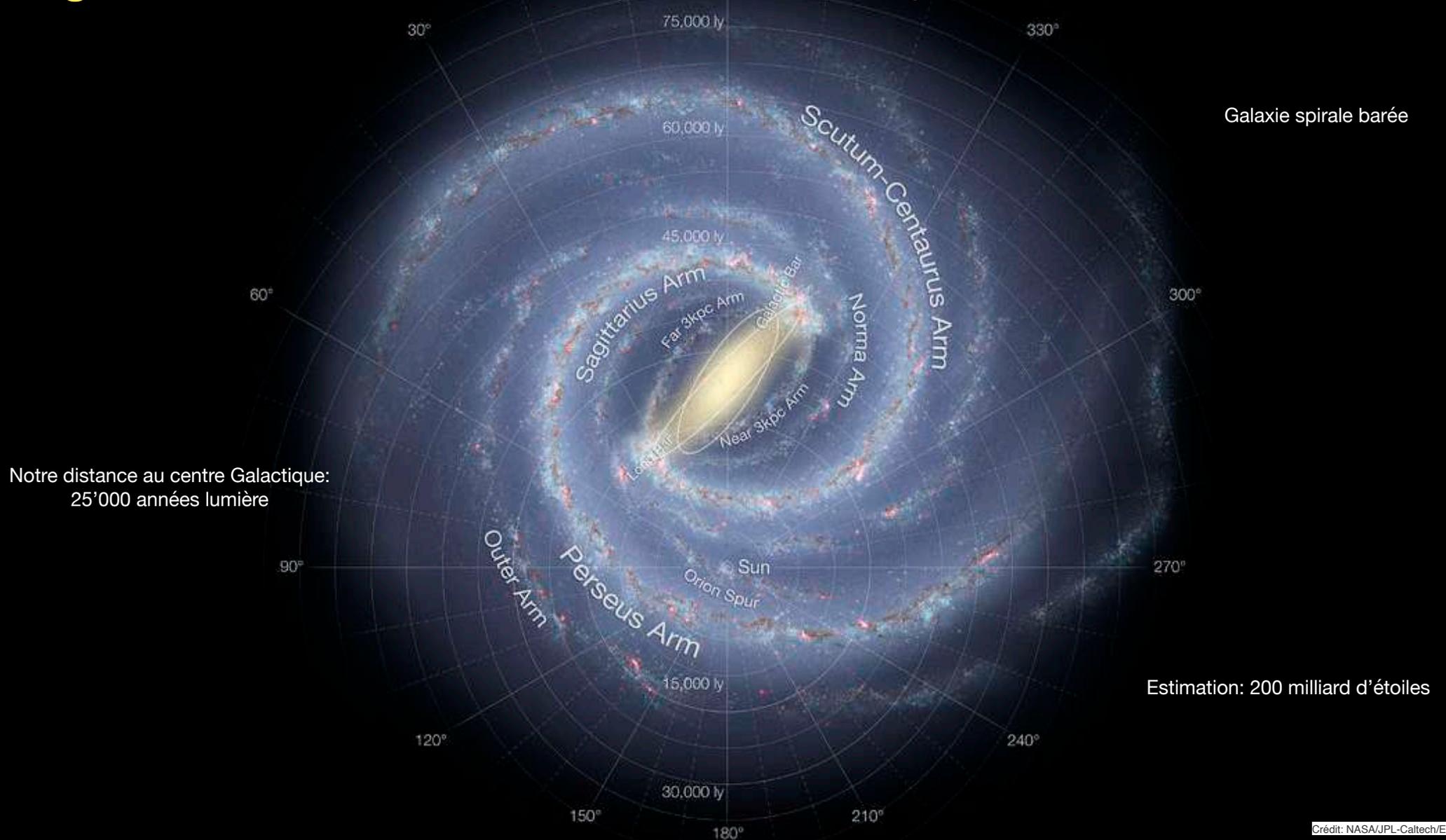
Galaxie Sombrero
NASA/ESA and The Hubble Heritage Team

Une galaxie de face



NGC 6814
ESA/NASA Hubble Heritage

Image d'artiste de notre Galaxie, la Voie lactée, vue de face



L'avantage d'être dans la
Galaxie, on voit les
détails



James Webb Space Telescope



Planetary nebule: NGC 3132

Les images de Gaia

- La première image de Gaia (“SIF images”)

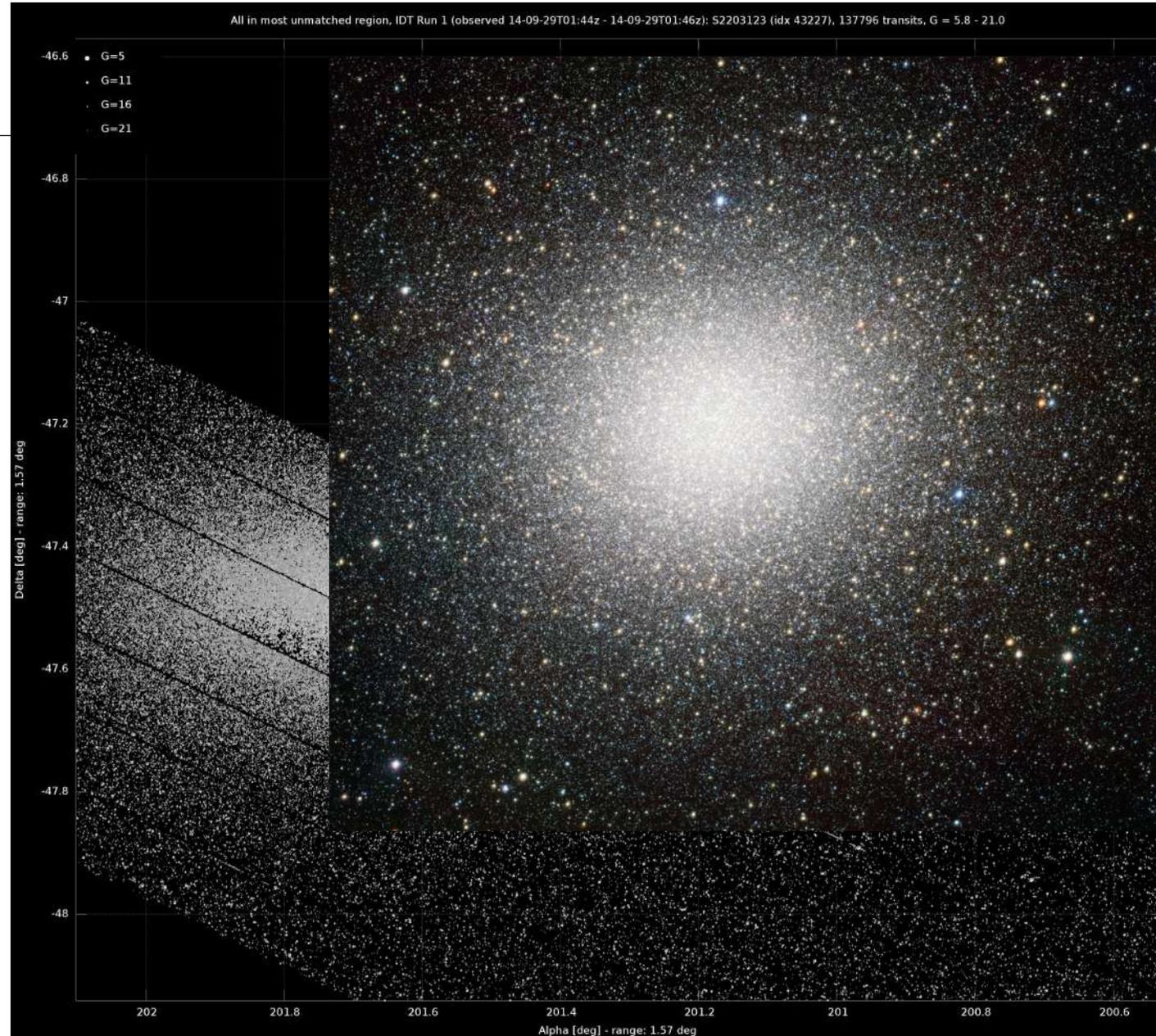
c’est aussi la dernière...



- Qu’observe Gaia alors?

Des “points”, des sources lumineuses

- astrométrie (position)
- photométrie (éclat)
- spectroscopie (spectre)

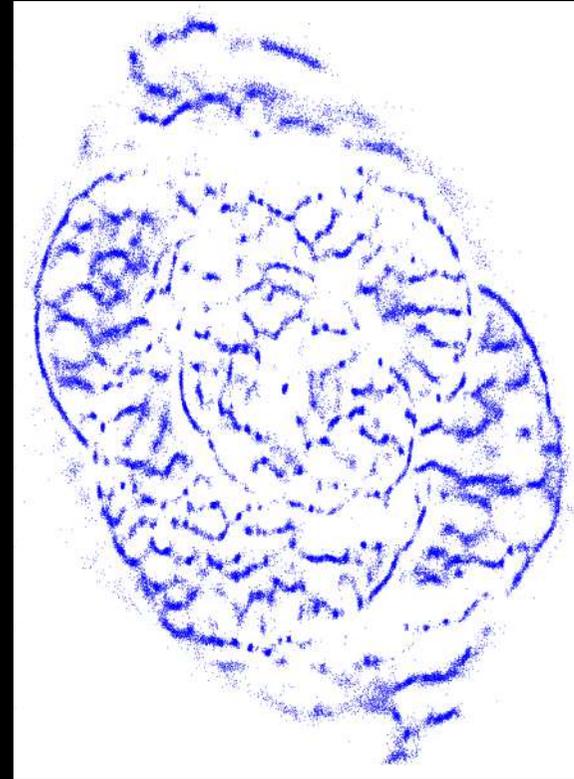


La nébuleuse de l'oeil du chat

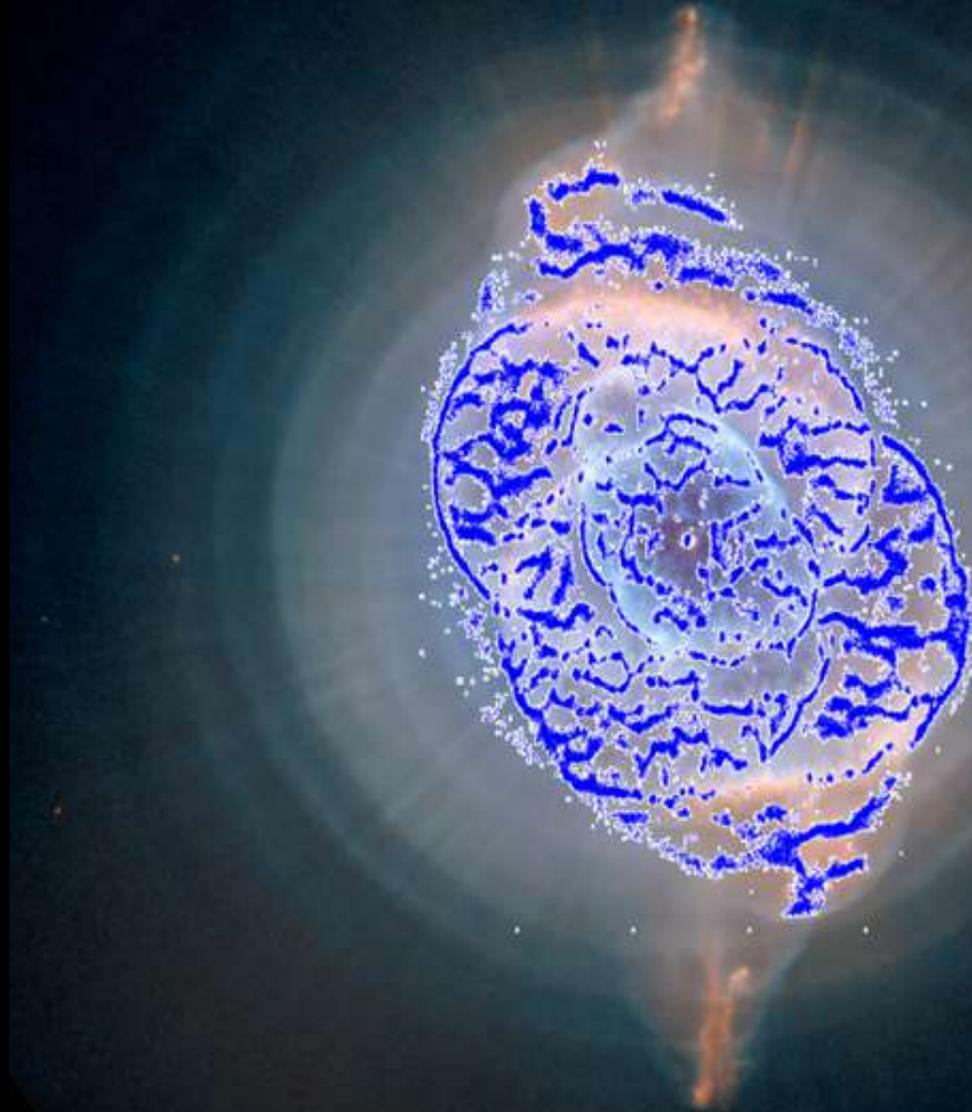


Copyright: NASA/ESA/HEIC/The Hubble Heritage Team/STScI/AURA
(background image); ESA/Gaia/DPAC/UB/IEEC (blue points)

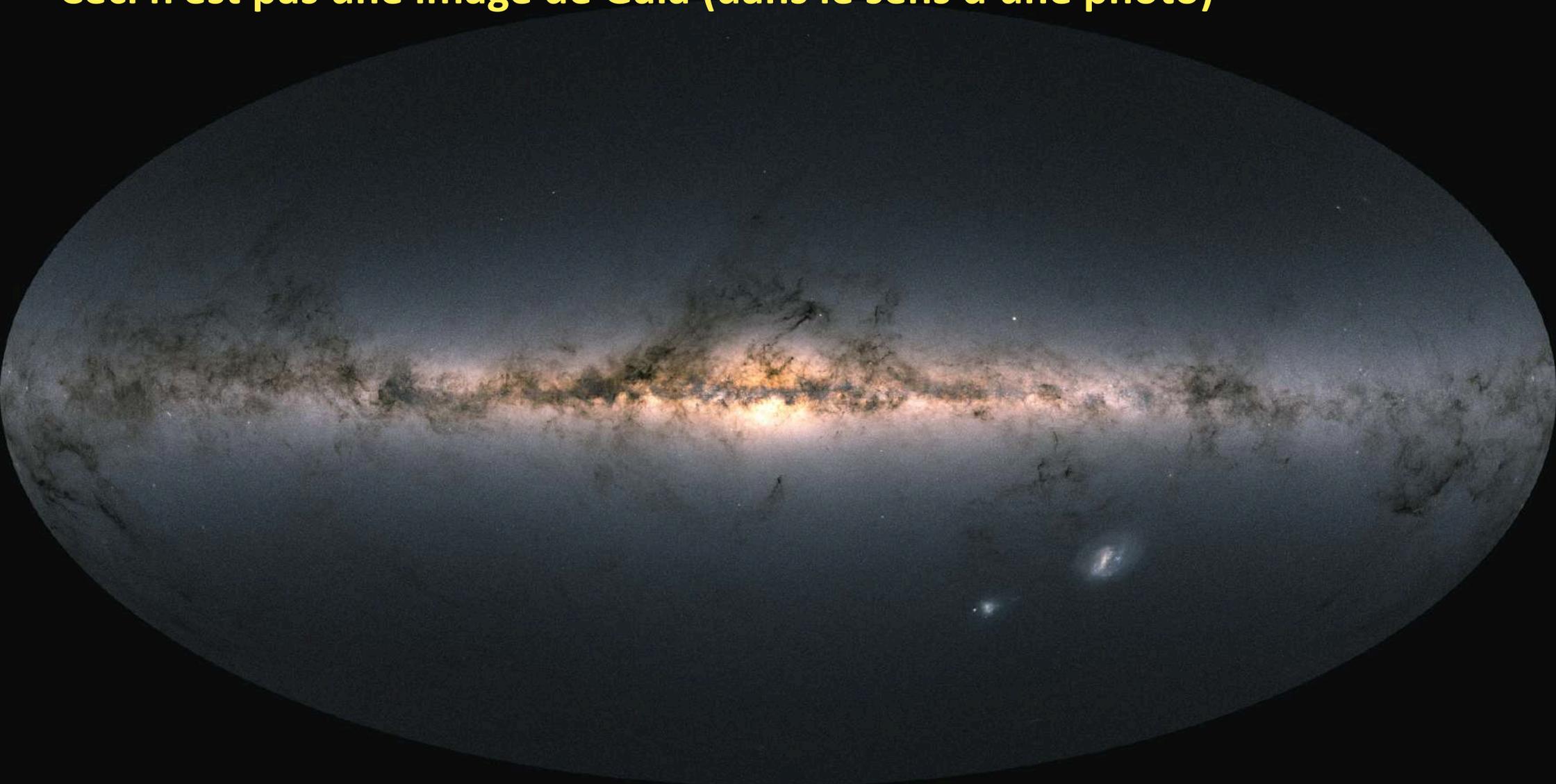
La nébuleuse de l'oeil du chat



La nébuleuse de l'oeil du chat



Ceci n'est pas une image de Gaia (dans le sens d'une photo)



La structure de l'exposé

Introduction

Gaia

résumé, le but de Gaia, les personnes qui font Gaia

Digression: nous sommes dans notre Galaxie

Comment mesure-t-on les distances avec Gaia: la parallaxe (astrométrie)

La photométrie de Gaia

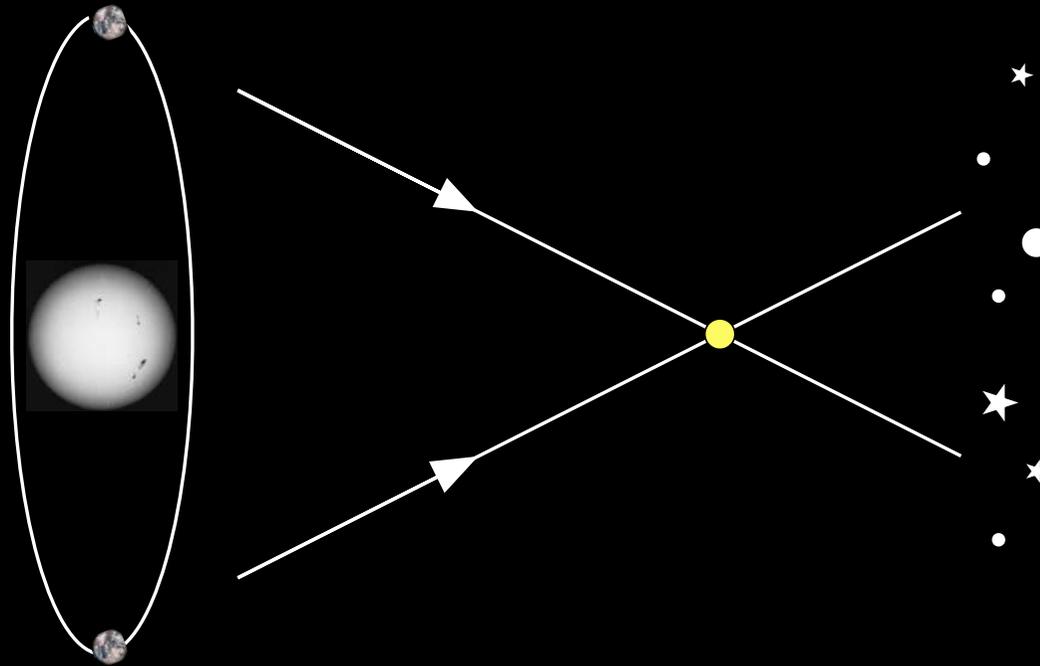
Les spectres de Gaia

Du lancement de Gaia aux résultats

La parallaxe

mesurer les
positions à 6
mois d'intervalle

cela permet
déterminer la
distance aux
étoiles
proches



<https://www.youtube.com/watch?v=XI2o8J1v3QE&t=155s>

L'astrométrie est un domaine difficile

Les développements technologiques pour Gaia ont été centrés sur l'astrométrie

• Plusieurs mesures de la position d'une source :

- parallaxe

- mouvement propre

⇒ ~1.5 année pour découpler le mouvement propre de la parallaxe

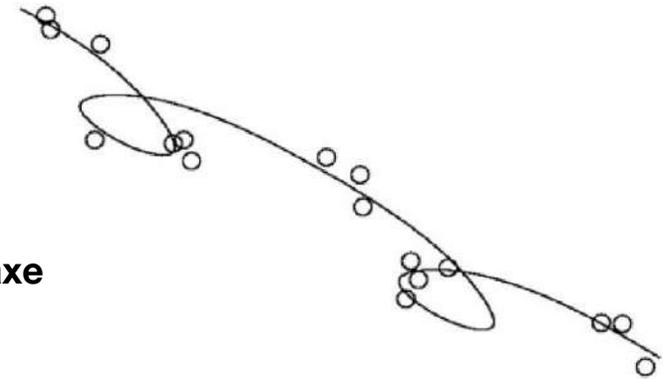
• Les problèmes :

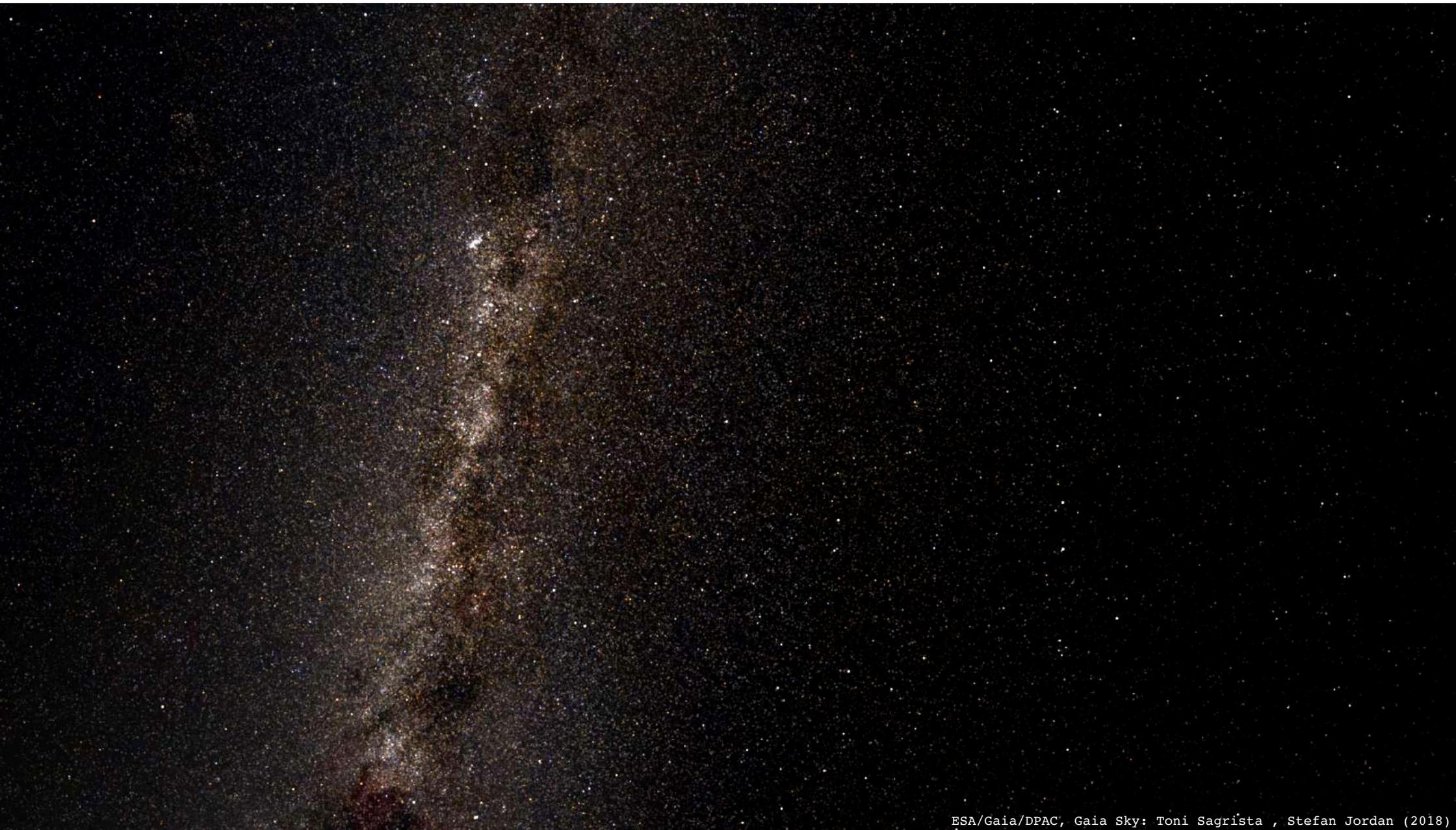
- la parallaxe est "petite"

- Quelle est la référence fixe?

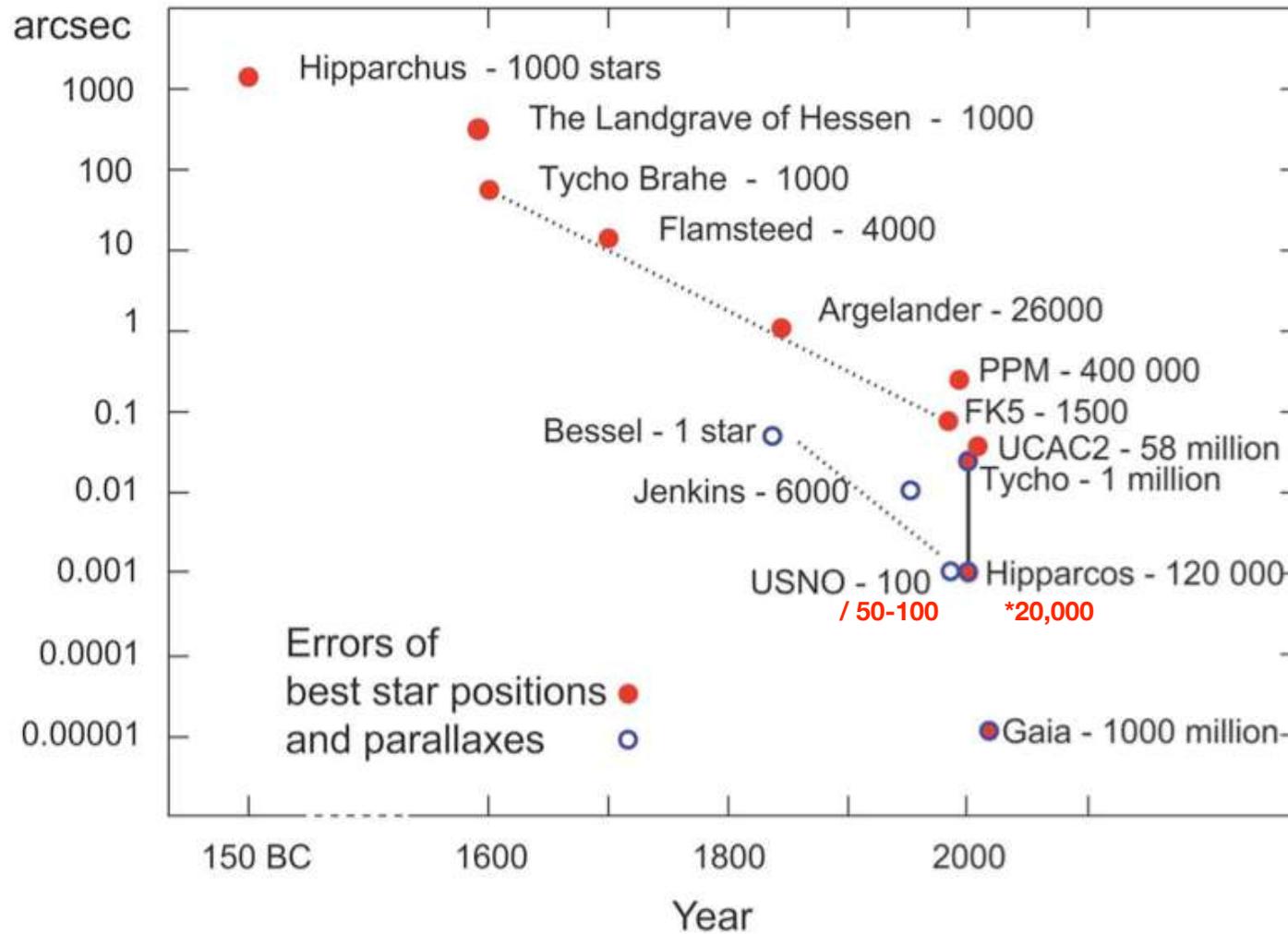
- mouvement globaux

- parallaxe résiduelle





Gaia dans le contexte historique



10 micro arcsec est,

très,

très,

très petit



Parallax horizon for G0V stars

10 kpc

$A_V = 0$

$A_V = 5 \text{ mag}$

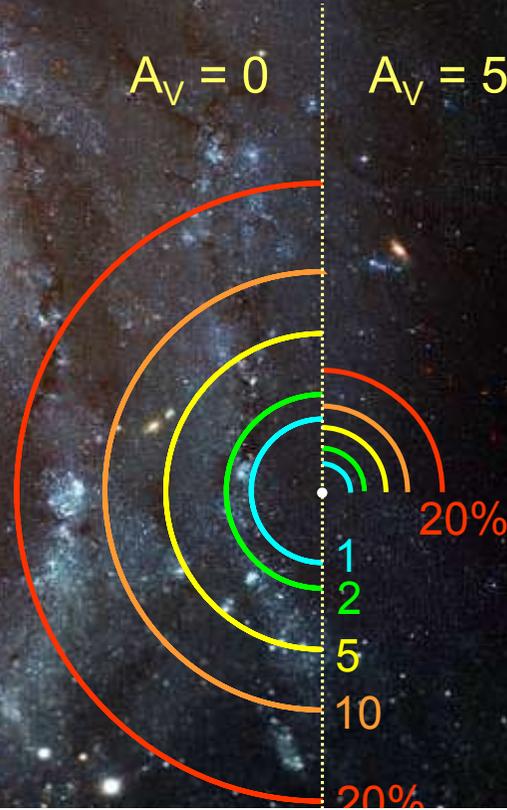


Figure courtesy Lennart Lindegren

Parallax horizon for K5III stars

10 kpc

$A_V = 0$

$A_V = 5 \text{ mag}$

20%

10

1

2

5

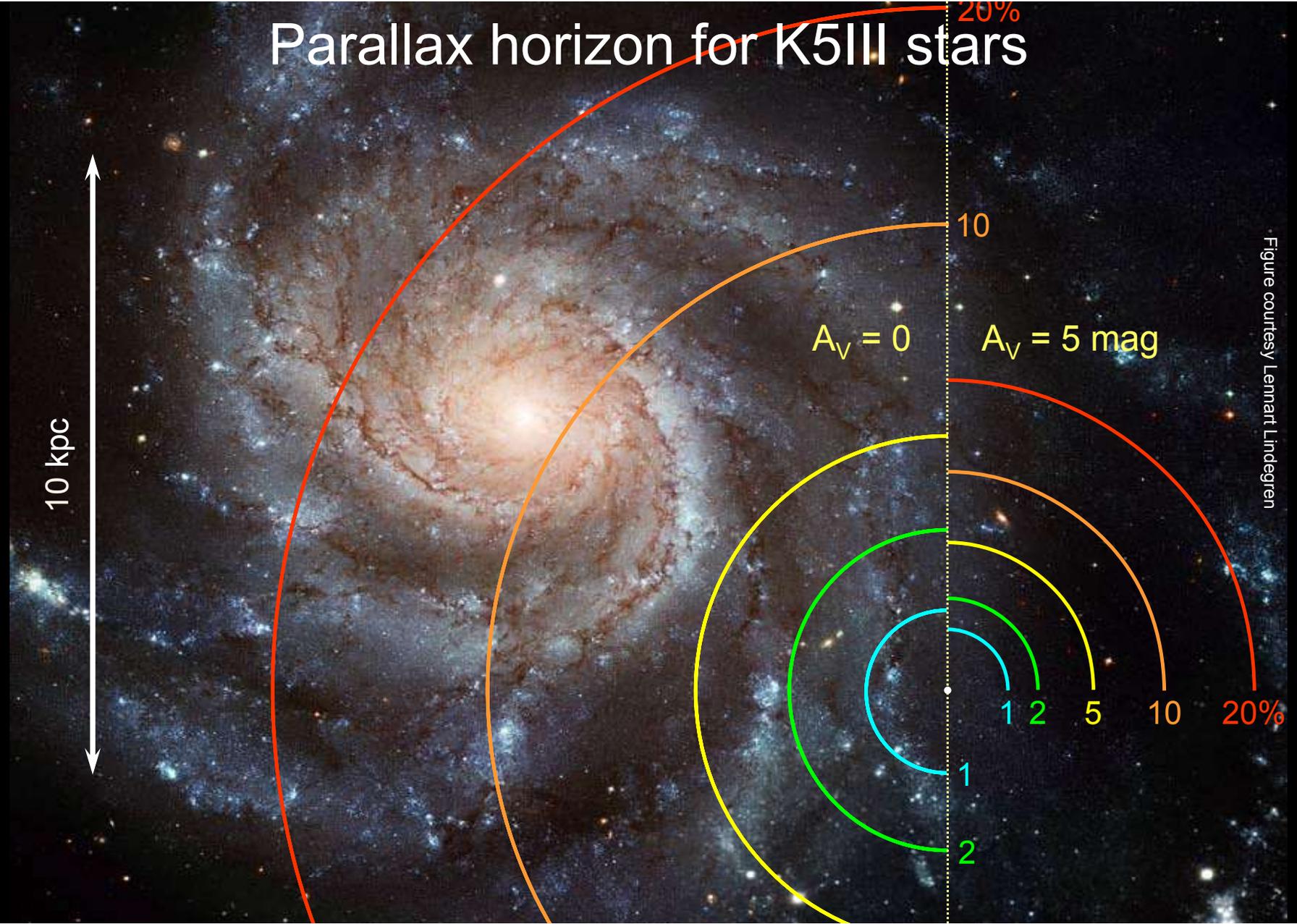
10

20%

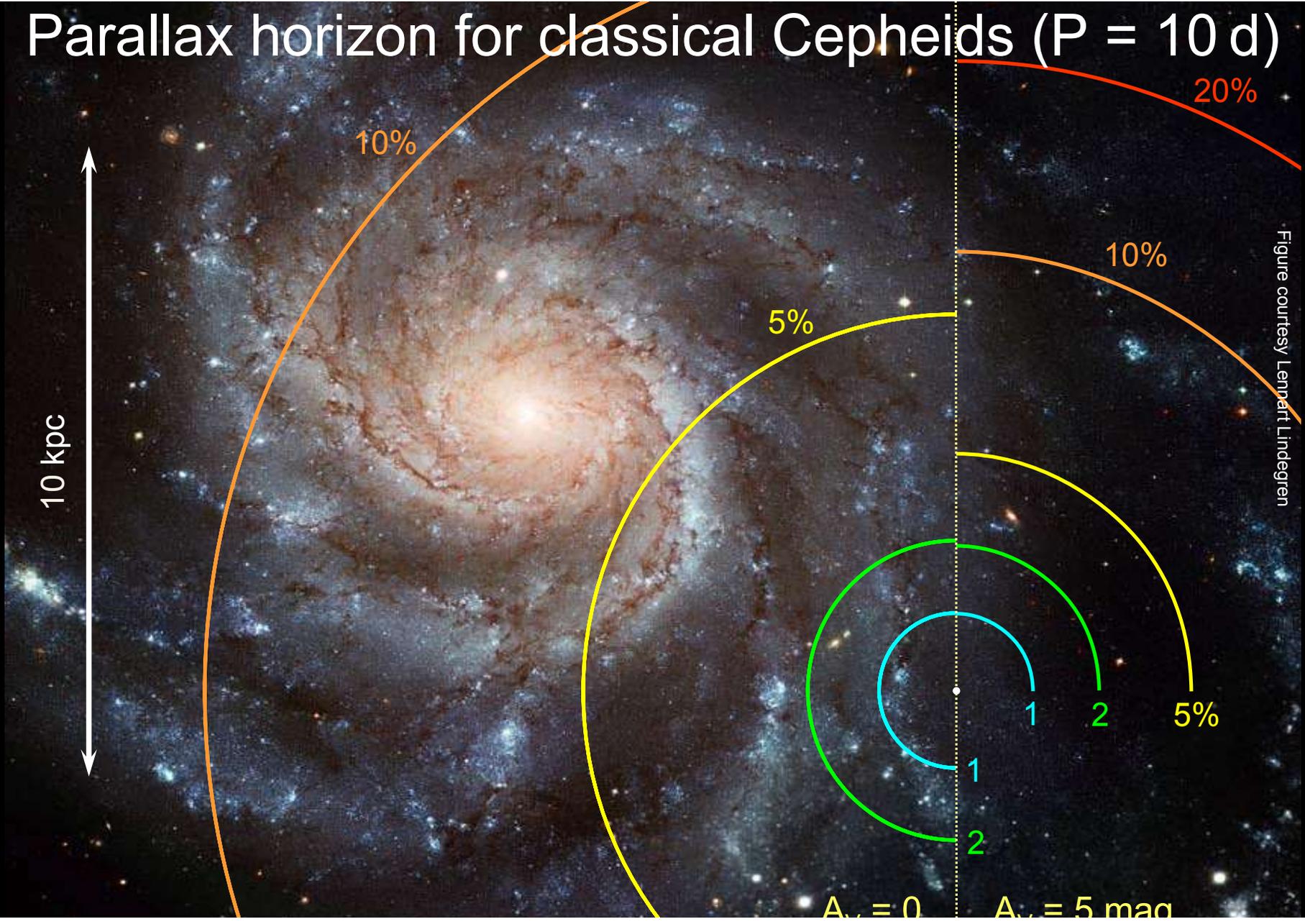
1

2

Figure courtesy Lennart Lindegren



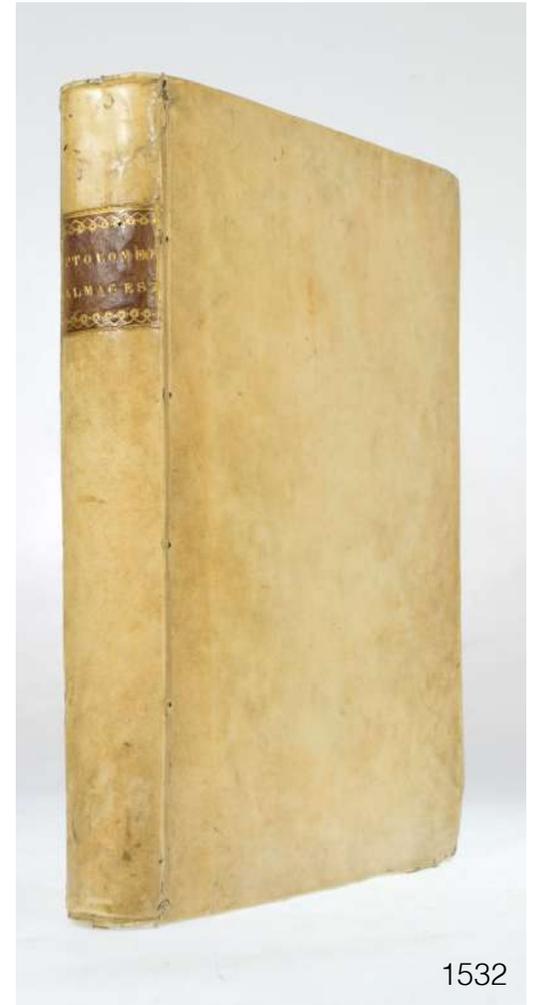
Parallax horizon for classical Cepheids ($P = 10$ d)



Gaia dans le contexte historique

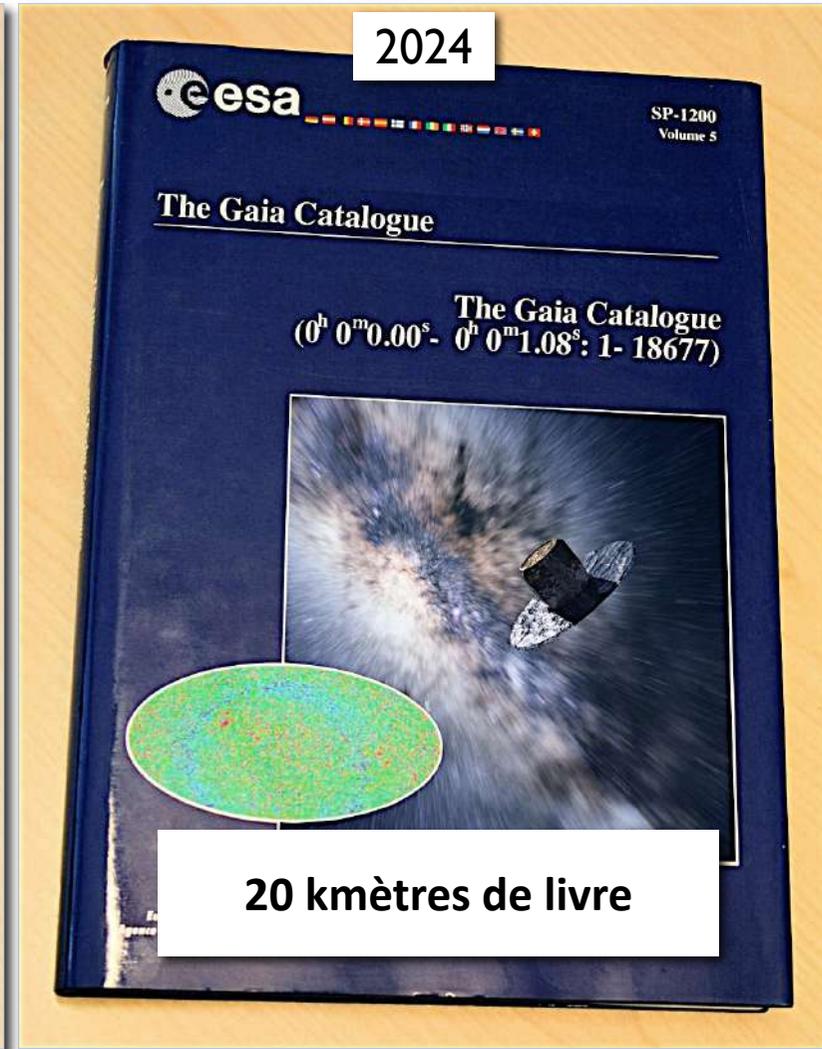
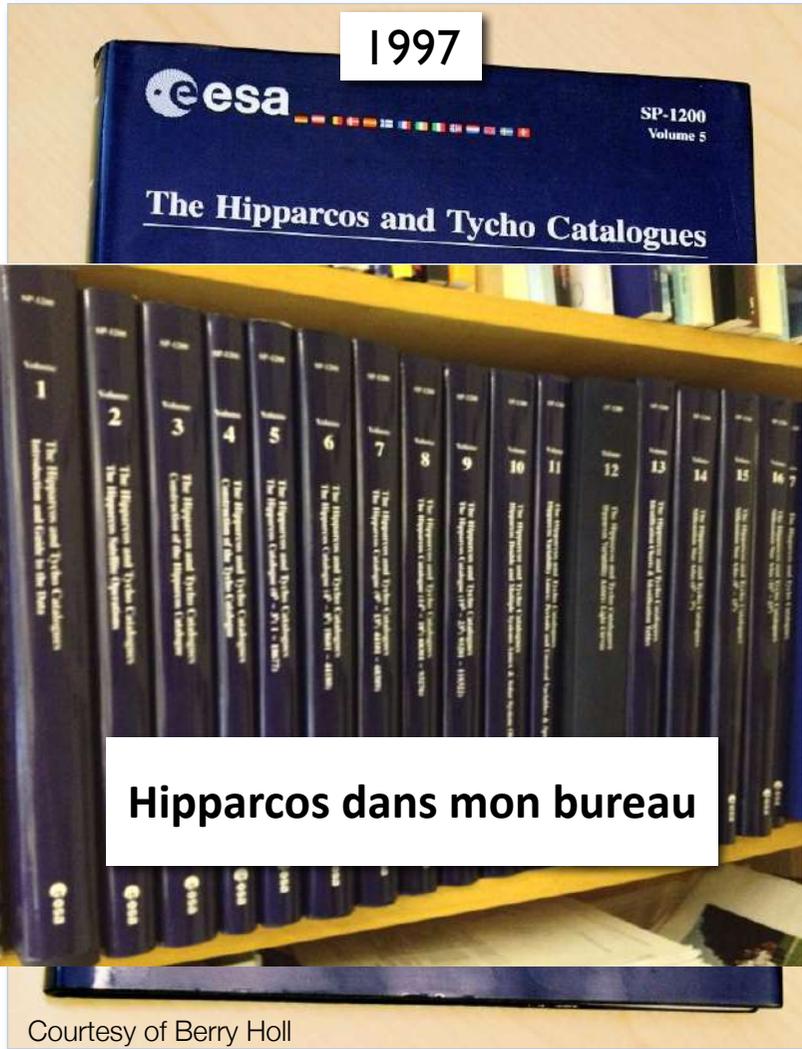
Date: ~150 apr. J.-C.

Nombre d'étoiles: 1'022



1532

Les catalogues Hipparcos et Gaia



L'archive Gaia à l'ESA

<https://gea.esac.esa.int/archive/>



The screenshot shows the Gaia Archive website interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'EUROPEAN SPACE AGENCY', 'ABOUT ESAC', and 'SIGN IN'. The main header features the 'gaia archive' logo and the ESA logo. Below the header is a navigation menu with 'HOME', 'SEARCH', 'VISUALISATION', and 'HELP'. The main content area has a large heading 'Welcome to the Gaia Archive at ESA' and a paragraph describing the mission: 'Gaia is a European space mission providing astrometry, photometry, and spectroscopy of more than 1000 million stars in the Milky Way. Also data for significant samples of extragalactic and Solar system objects is made available. The Gaia Archive contains deduced positions, parallaxes, proper motions, radial velocities, and brightnesses. Complementary information on multiplicity, photometric variability, and astrophysical parameters is provided for a large fraction of sources.' To the right of this text is a circular icon representing the Gaia satellite. Below the main text is a 'Top Features' section with four columns: 'Citation' (with a document icon), 'Search' (with a magnifying glass icon), 'Download' (with a download icon), and 'Help' (with a lifebuoy icon). Each column contains a brief description of the feature. At the bottom of the page, there are two more icons: 'Gaia Mission' and 'Partners'.

→ EUROPEAN SPACE AGENCY ABOUT ESAC SIGN IN

gaia archive

HOME SEARCH VISUALISATION HELP

Welcome to the Gaia Archive at ESA

Gaia is a European space mission providing astrometry, photometry, and spectroscopy of more than 1000 million stars in the Milky Way. Also data for significant samples of extragalactic and Solar system objects is made available. The Gaia Archive contains deduced positions, parallaxes, proper motions, radial velocities, and brightnesses. Complementary information on multiplicity, photometric variability, and astrophysical parameters is provided for a large fraction of sources.

Top Features

- Citation**
How to cite and acknowledge Gaia. Where to find DOI info.
- Search**
Search for Gaia sources using the basic search form or the ADQL (Astronomical Data Query Language) interface for more advanced queries.
- Download**
Direct download of Gaia data files.
- Help**
Data release documentation, tutorials and more. For questions, suggestions or problems, please contact the Gaia Helpdesk.

Gaia Mission Partners

Tout le monde peut y accéder

La structure de l'exposé

Introduction

Gaia

résumé, le but de Gaia, les personnes qui font Gaia

Digression: nous sommes dans notre Galaxie

Comment mesure-t-on les distances avec Gaia: la parallaxe

La photométrie de Gaia

Les spectres de Gaia

Du lancement de Gaia aux résultats

La précision photométrique

Mesure précise de la magnitude moyenne dans la bande G (Gaia)

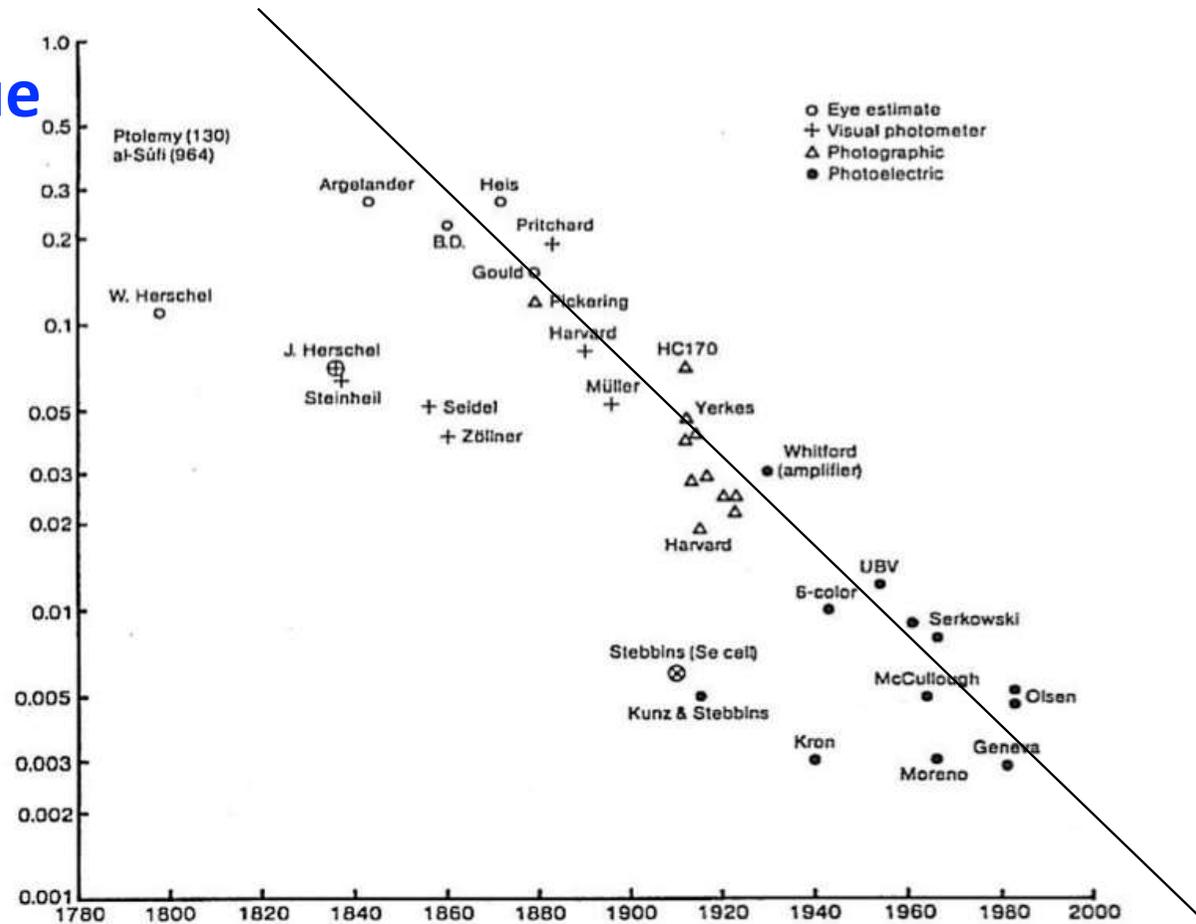


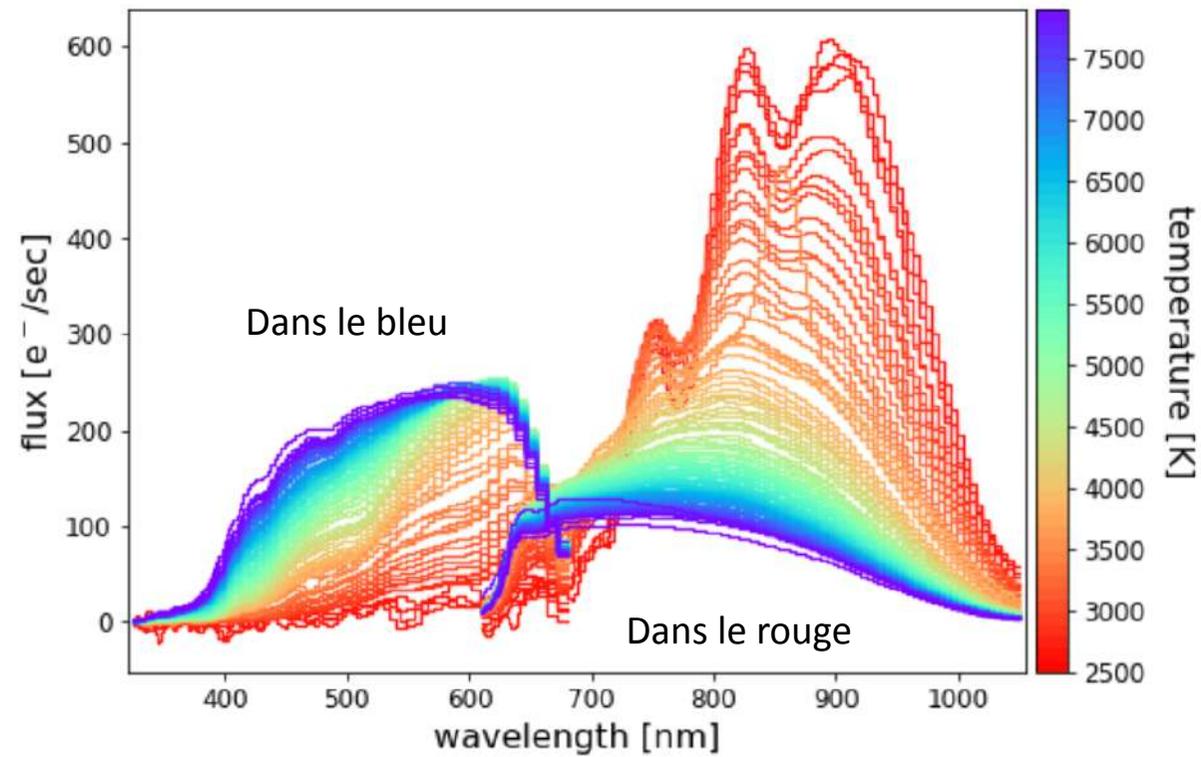
FIG. 3.6 – Évolution de la précision sur les magnitudes de l'antiquité à nos jours. En abscisse les dates et en ordonnée la précision, en magnitude (Young 1984).

● Gaia G band

La photométrie de Gaia

Spectro-photométrie

Chaque ligne est une étoile d'une température différente



Courtesy of R. Andrae

On peut déterminer la température de chaque étoile

La structure de l'exposé

Introduction

Gaia

résumé, le but de Gaia, les personnes qui font Gaia

Digression: nous sommes dans notre Galaxie

Comment mesure-t-on les distances avec Gaia: la parallaxe

La photométrie de Gaia

Les spectres de Gaia

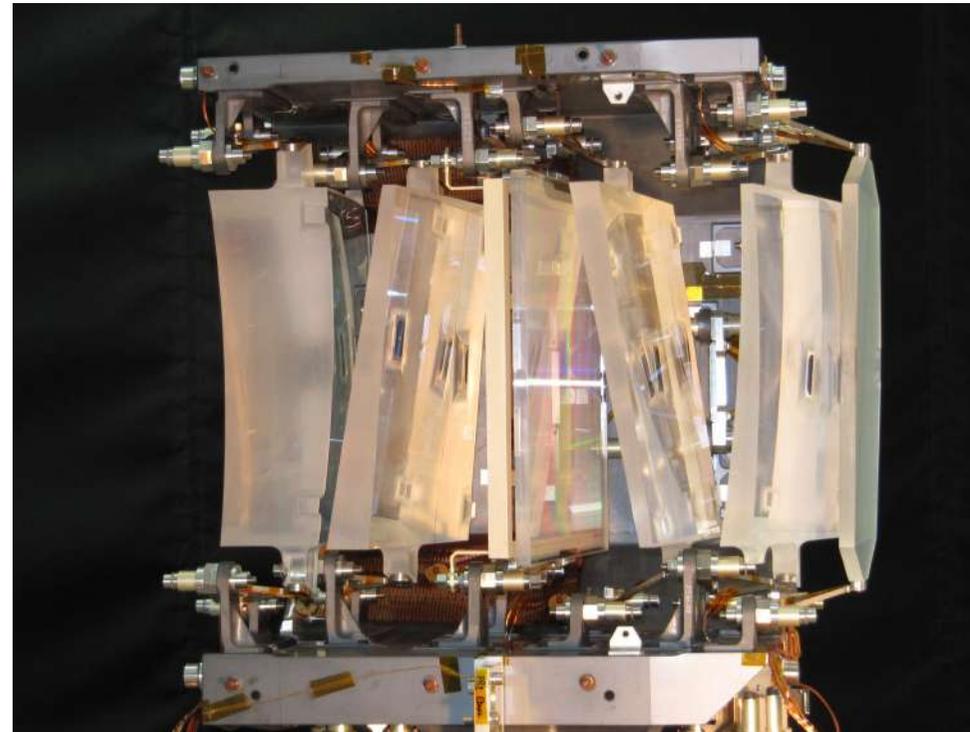
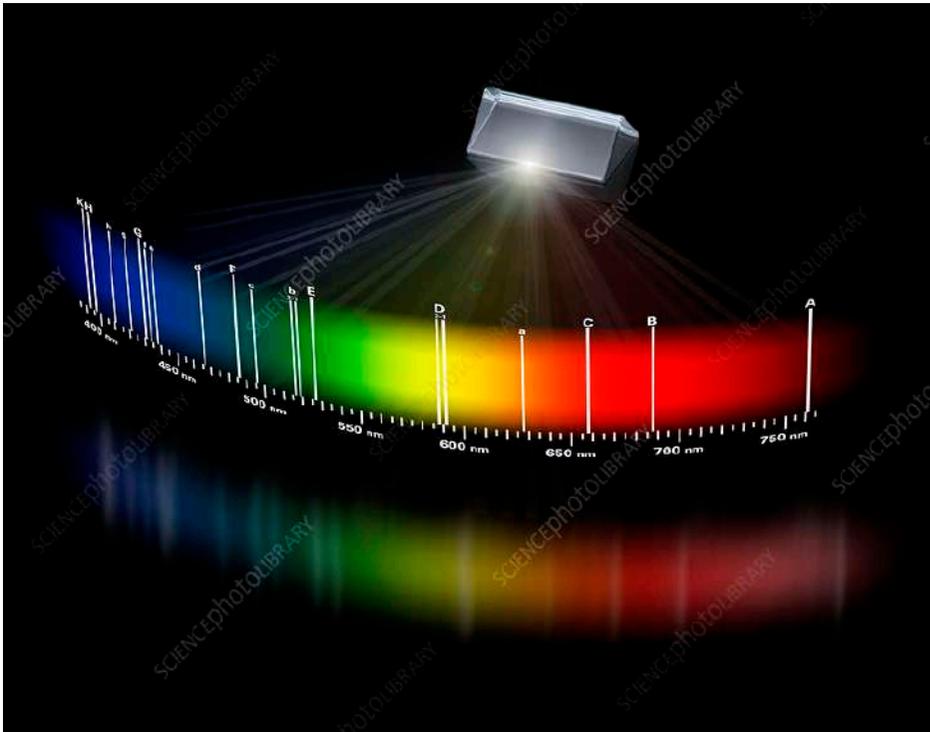
Du lancement de Gaia aux résultats

L'instrument "RVS" produit des spectres

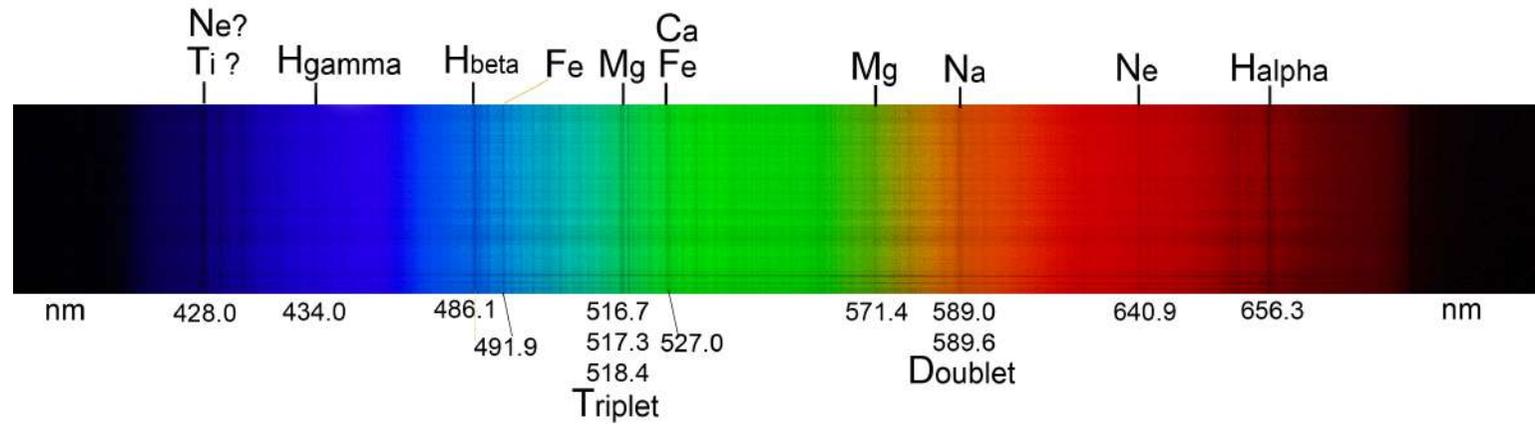
Un des instruments de Gaia est un spectromètre

But initial : déterminer les vitesses radiales

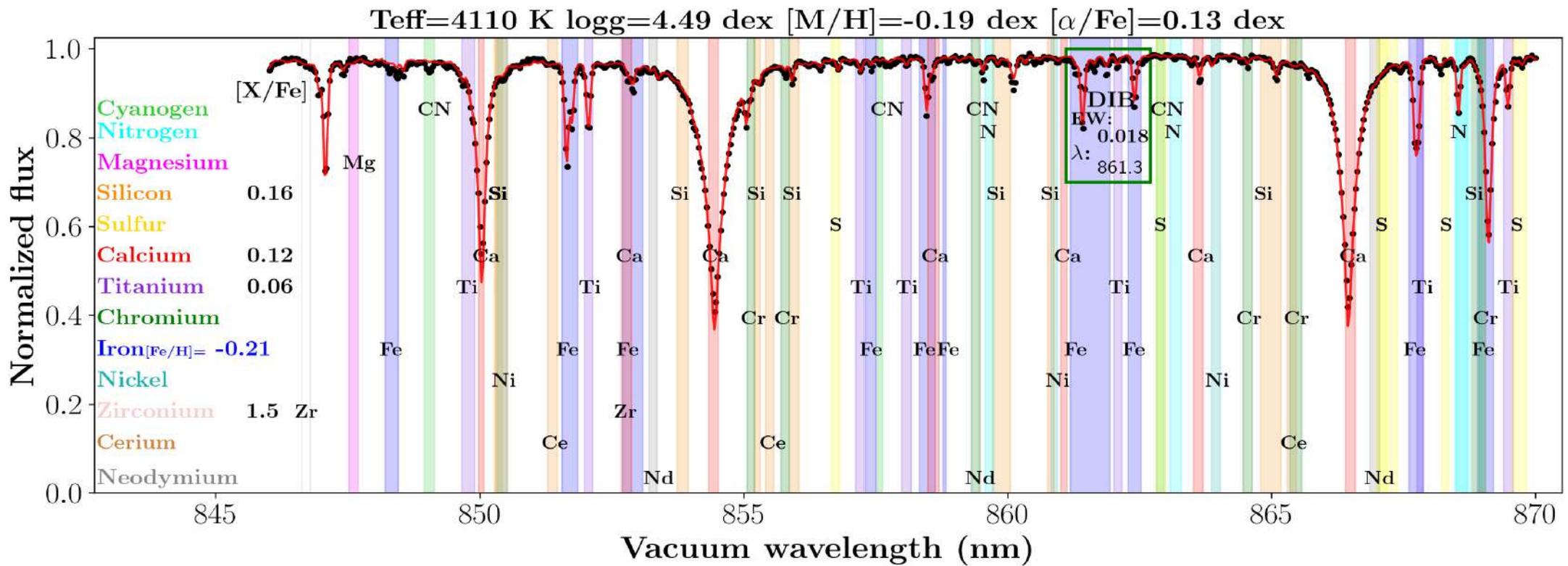
Permet aussi de déterminer la composition chimique des étoiles



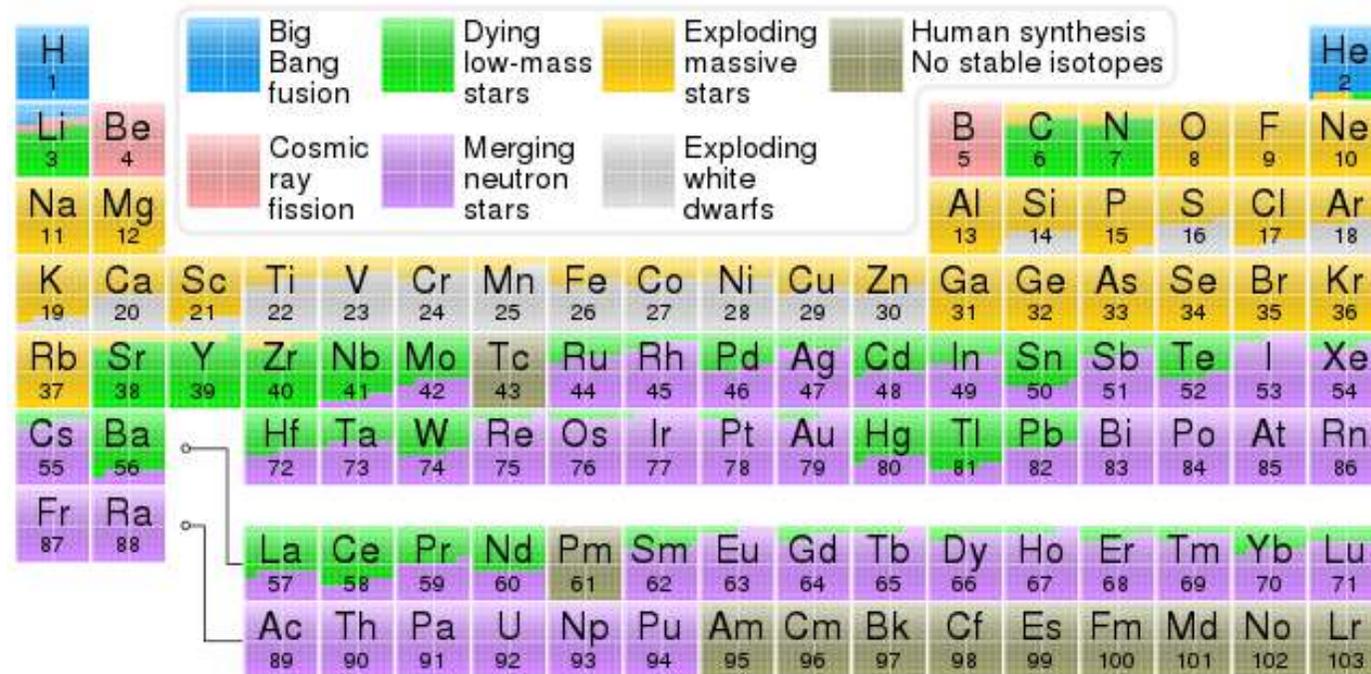
Le spectre du soleil



Les spectres de Gaia



L'origine des atomes



Pour les astronomes, il y a l'hydrogène, l'hélium et le reste (les métaux)

La composition chimique

Les éléments les plus abondants dans notre Galaxie

Z	Element	Mass fraction (ppm)
1	Hydrogen	739,000
2	Helium	240,000
8	Oxygen	10,400
6	Carbon	4,600
10	Neon	1,340
26	Iron	1,090
7	Nitrogen	960
14	Silicon	650
12	Magnesium	580
16	Sulfur	440
	Total	999,060

La structure de l'exposé

Introduction

Gaia

résumé, son but, les personnes qui font Gaia

Digression: nous sommes dans notre Galaxie

Comment mesure-t-on les distances avec Gaia: la parallaxe

Les spectres de Gaia

Du lancement de Gaia aux résultats

La structure de l'exposé

Introduction

Gaia

résumé, le but de Gaia, les personnes qui font Gaia

Digression: nous sommes dans notre Galaxie

Comment mesure-t-on les distances avec Gaia: la parallaxe

La photométrie de Gaia

Les spectres de Gaia

Du lancement de Gaia aux résultats

December 19, 2013: Gaia Launch at 10h12

esa

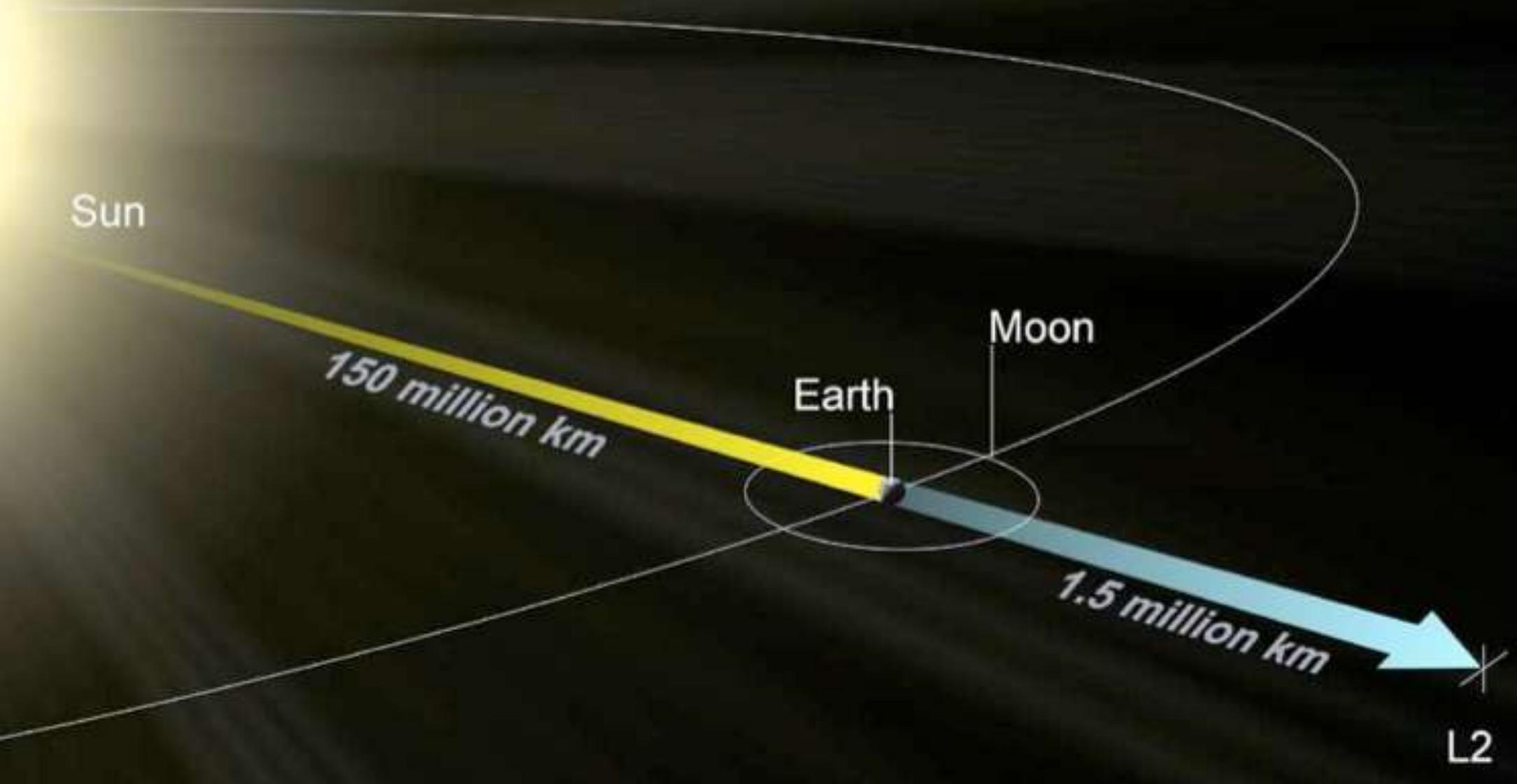
00 : 15



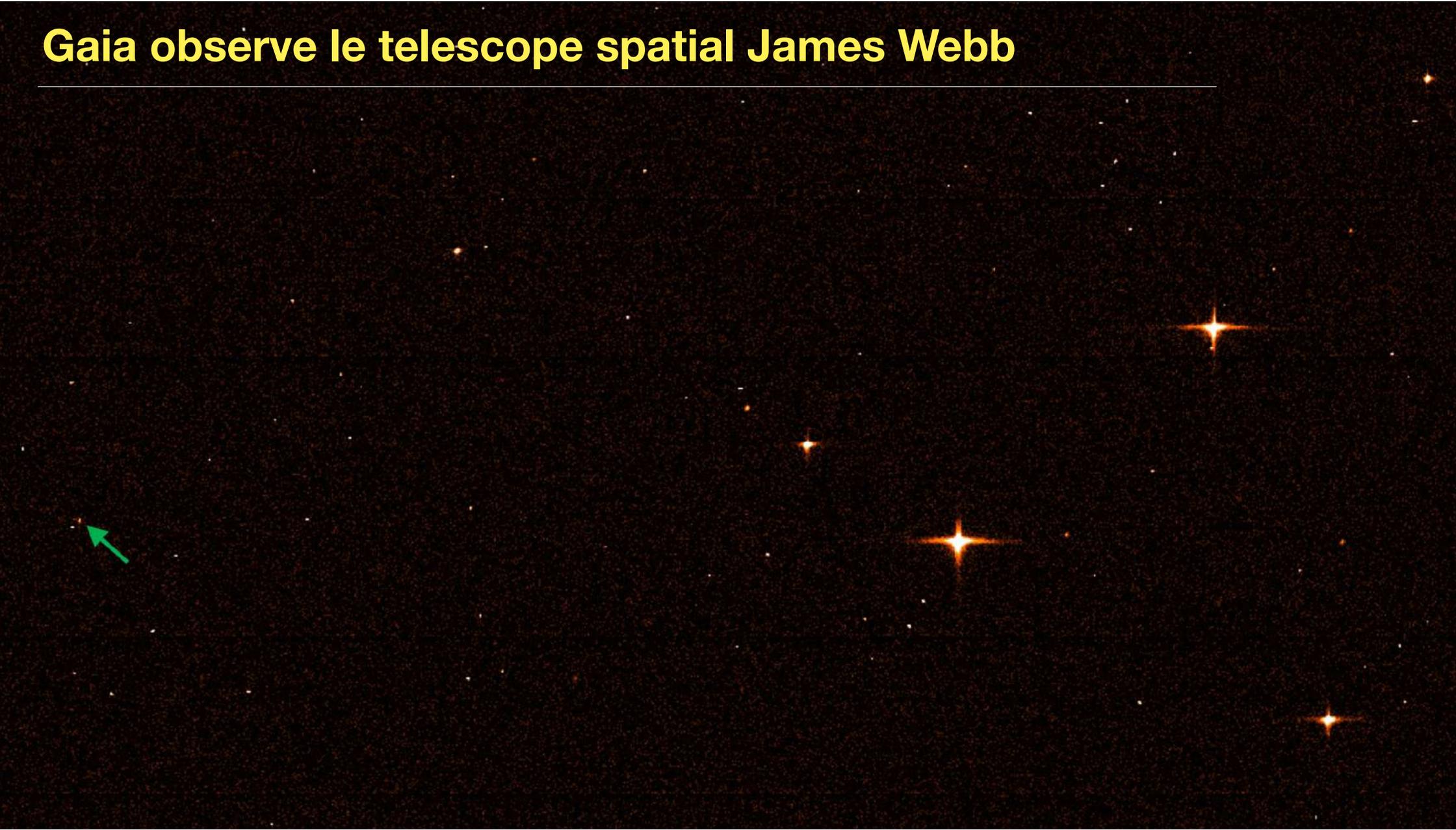
Soyuz rocket from French Guiana



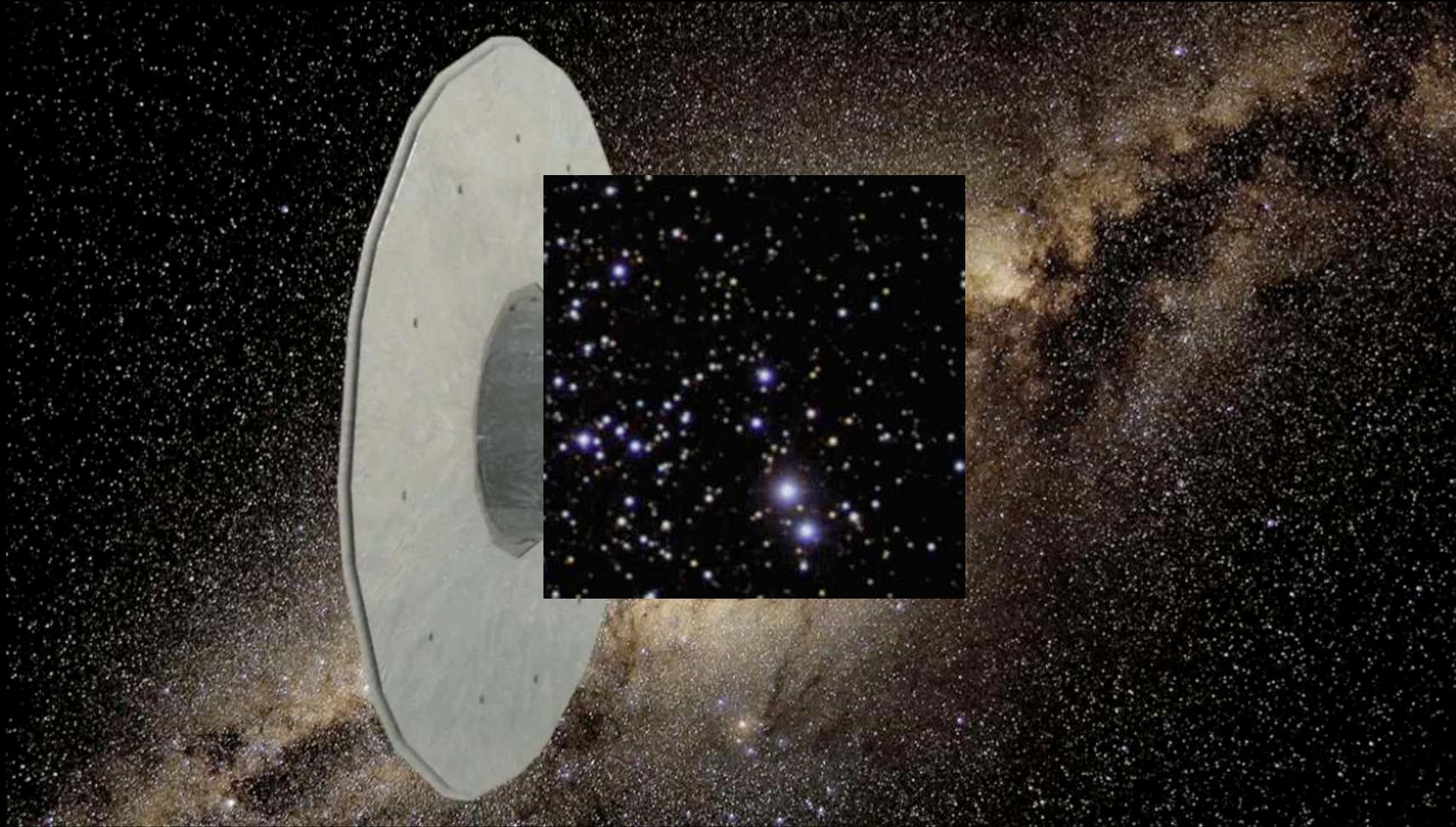
Le point de Lagrange L2



Gaia observe le telescope spatial James Webb

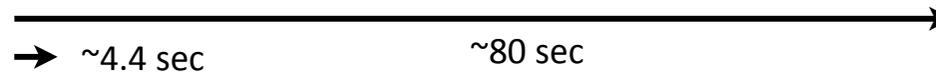
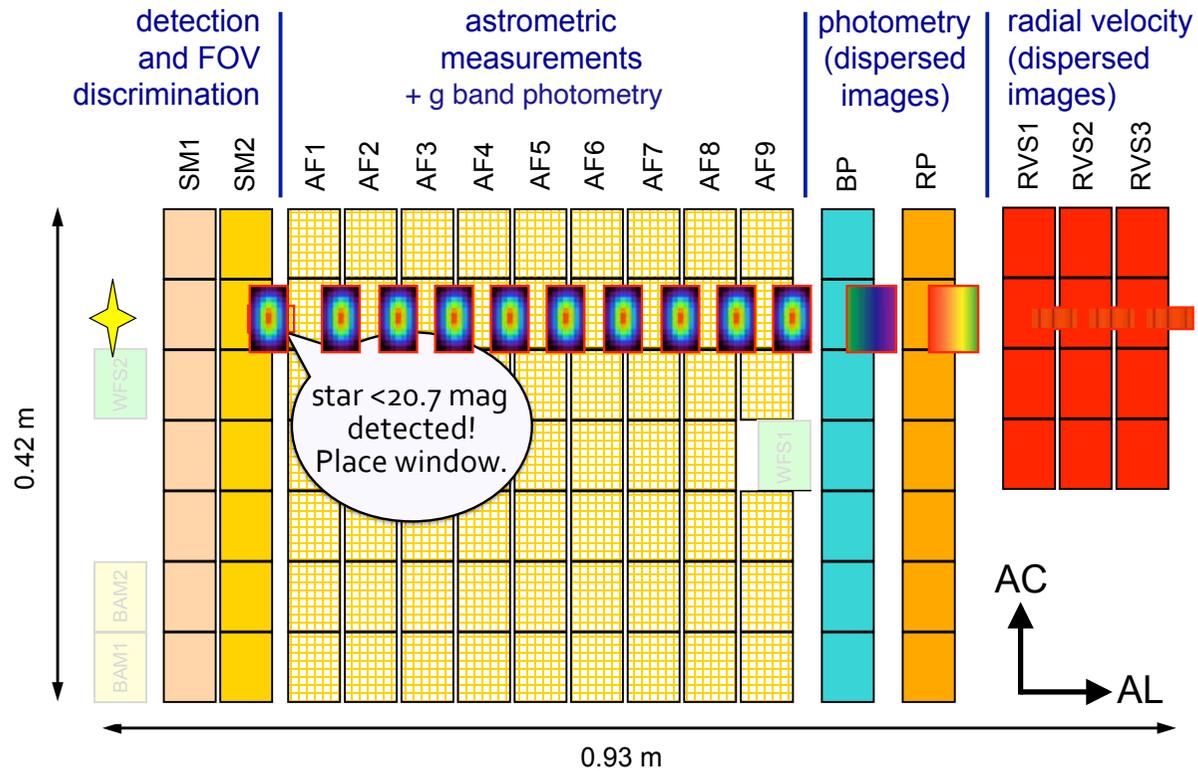


**Gaia tourne sur lui-même et observe continuellement le ciel
(période de rotation: 6 heures)**



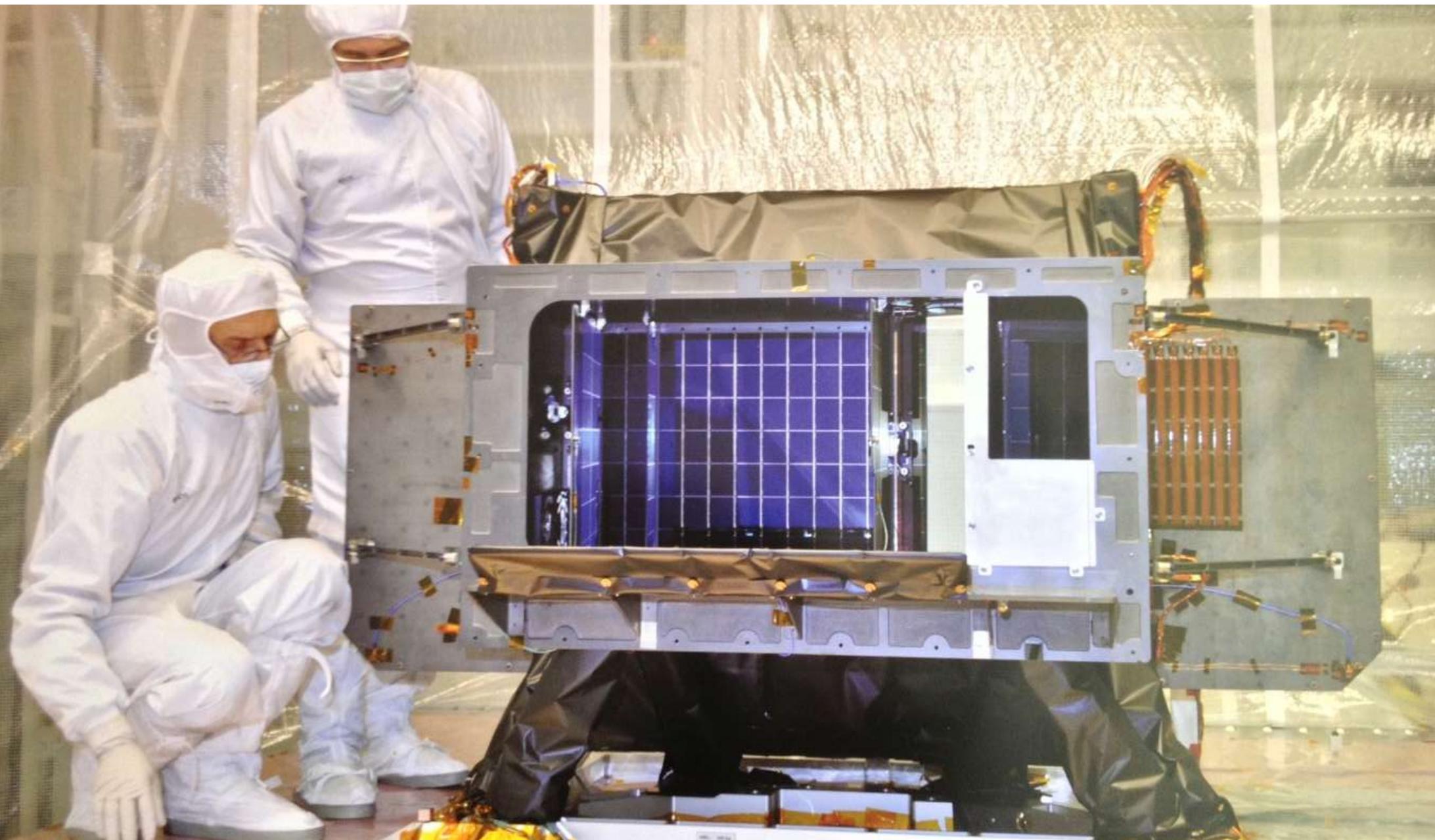
La plan focal

106 CCDs: 938 million de pixels



observed windows
(not to scale):

Gaia FoV: 0.7 deg x 0.7 deg
pixel: 0.059"(AL) x 0.177"(AC)



December 19 2013: Gaia Launch at 10h12 (CET)



Après le lancement: Des surprises durant la période de “commissioning”

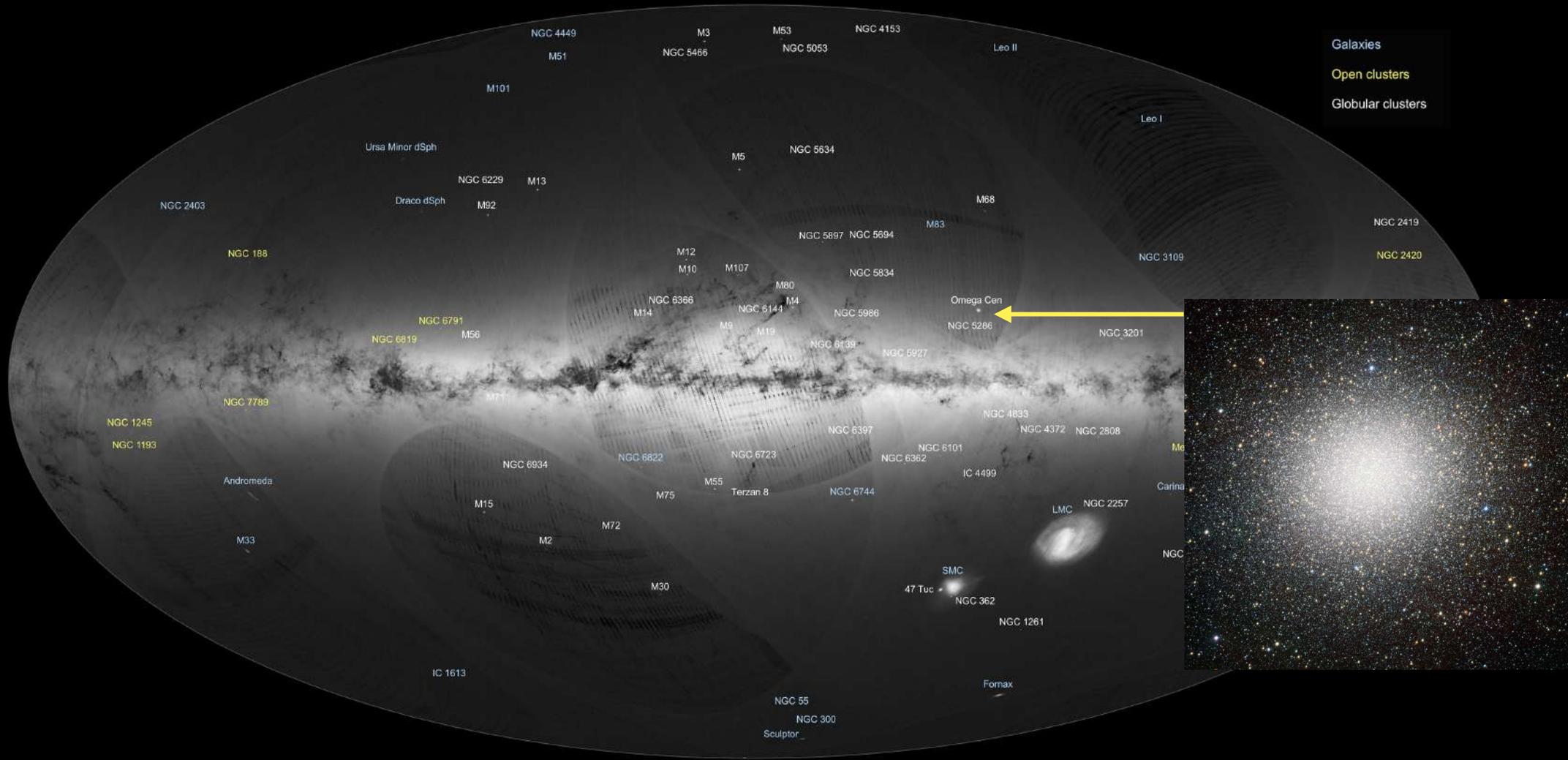
Lancement a été heureux, puis...:

- Gaia vu depuis la terre est moins brillant que prévu
- Sur la plan focal, il y a de la lumière parasite
- L'angle de base super-stable, ne l'est pas tout à fait...
- Des perturbations de la rotation plus importantes que prévus
- Un dépôt se forme sur les miroirs, rendant le satellite aveugle



<https://imotions.com/blog/collect-and-analyze-facial-expressions/>

→ GAIA'S FIRST SKY MAP in 2016



La deuxième publication des données : un énorme succès

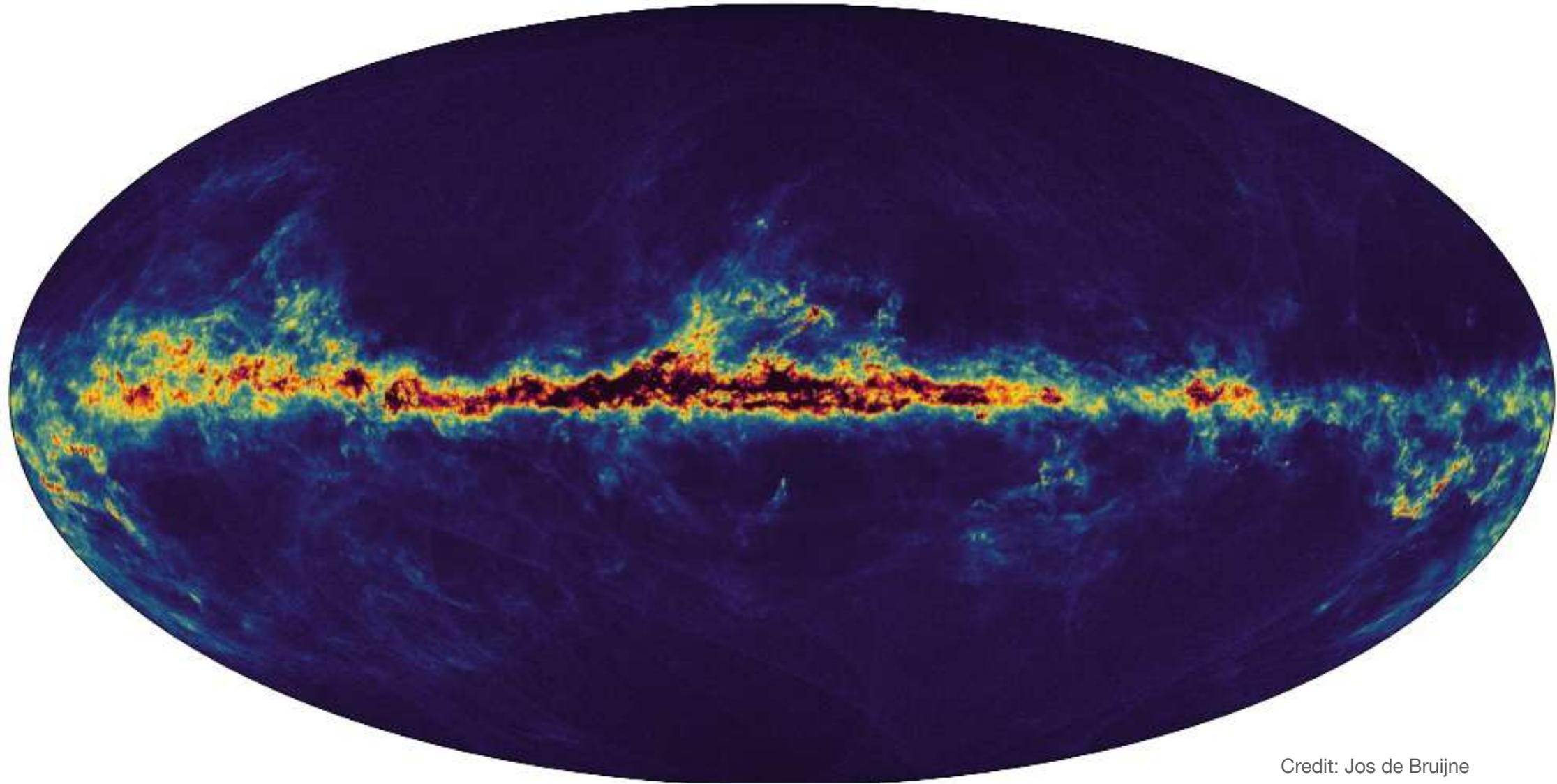
Citations

En 2018:

- 67,931 articles sont publiés en astronomie (ADS September 26, 2022)
- Je vous laisse deviner l'article qui a le plus de citation :
 - ➡ Gaia DR2: Summary of the content and survey properties
Gaia Collaboration, Brown et al.

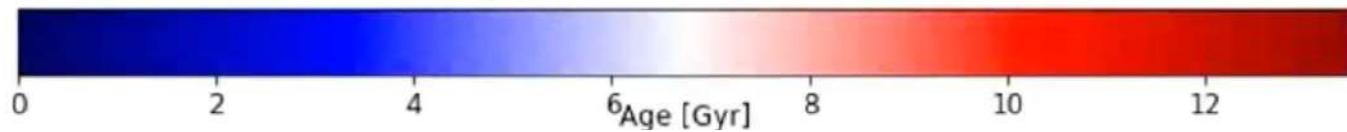
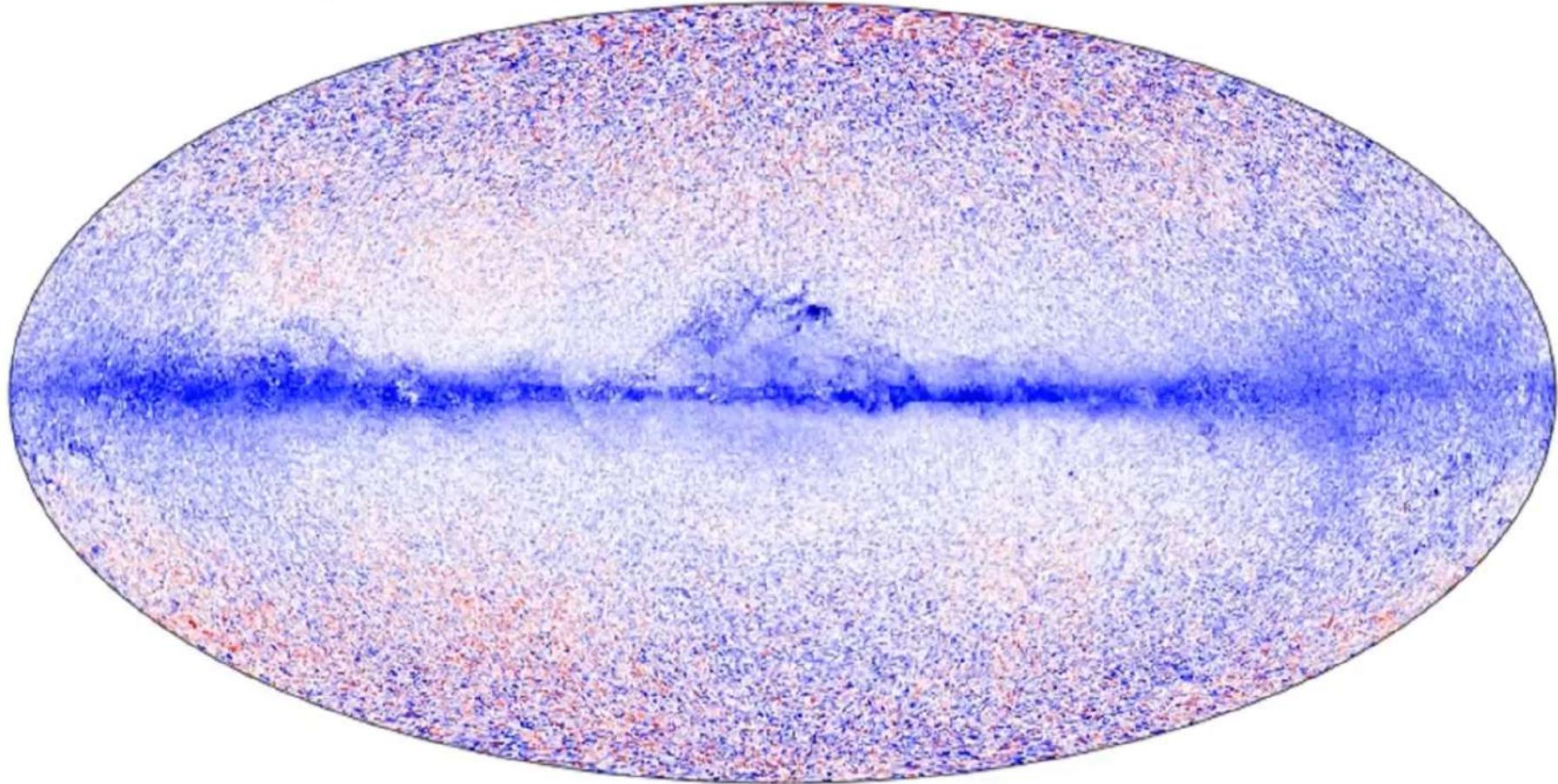
avec 6,080 citations

Carte de l'extinction de la matière interstellaire



Credit: Jos de Bruijne

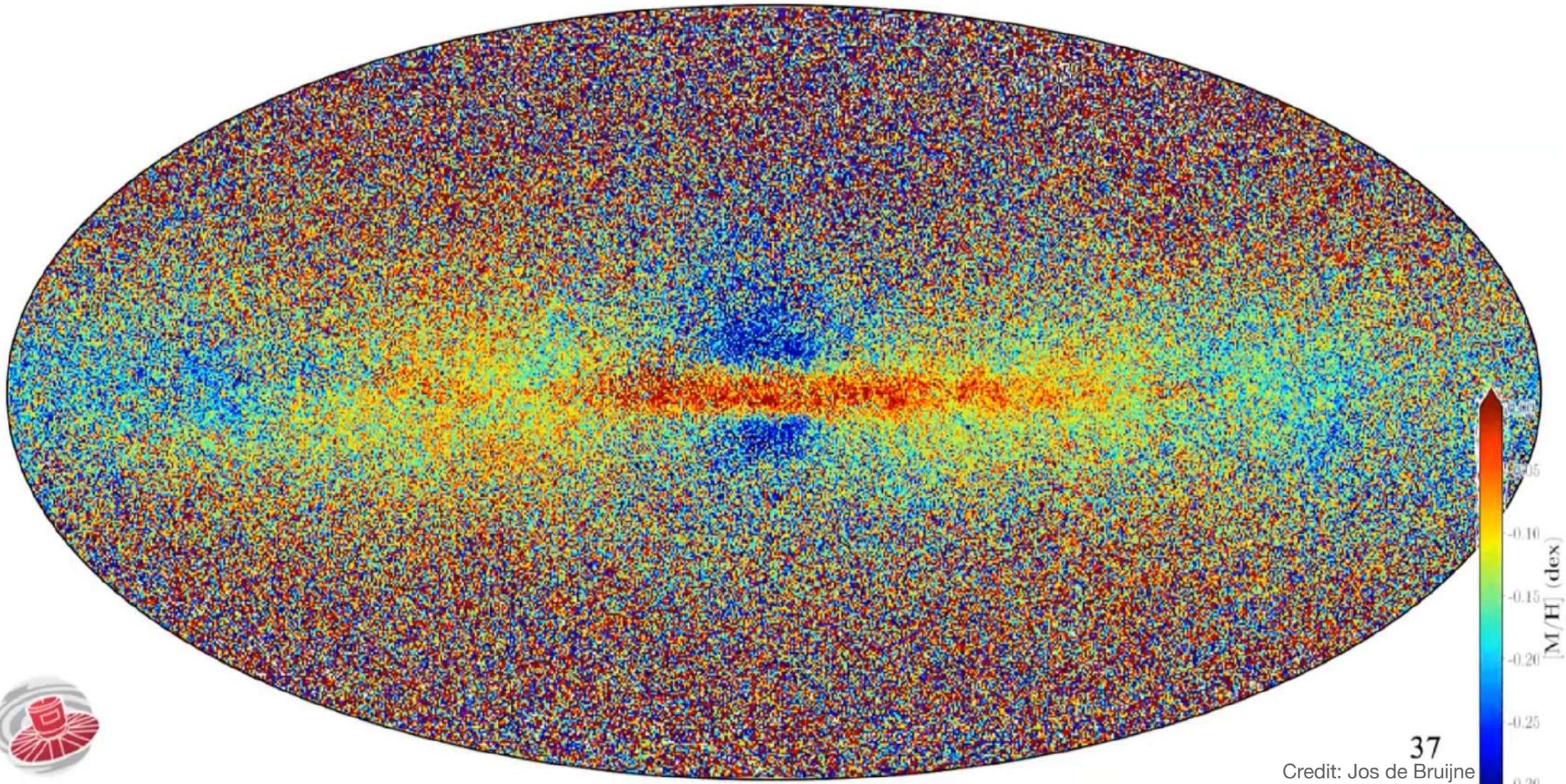
Carte de l'âge des étoiles

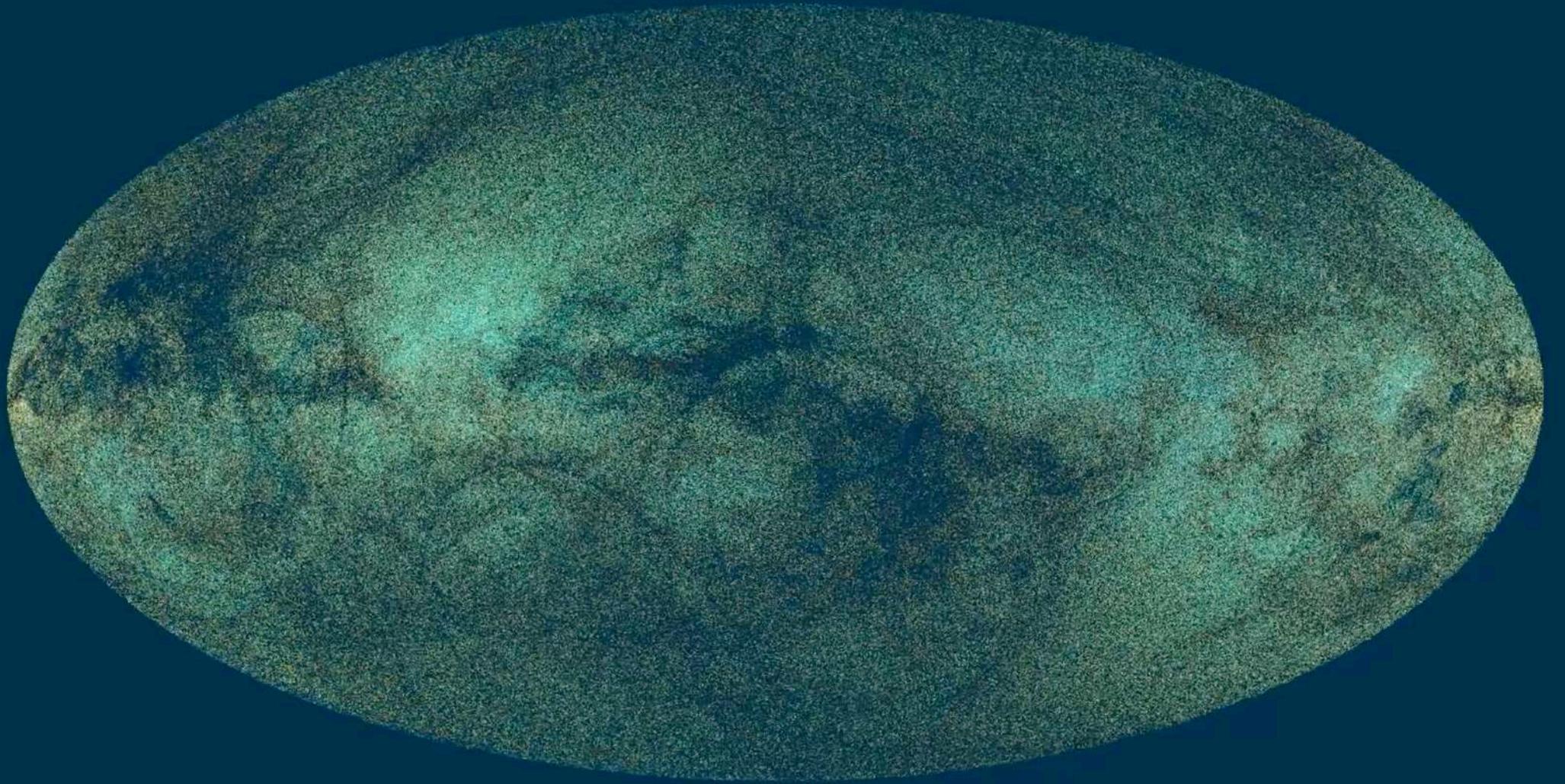


Credit: Jos de Bruijne



Carte de la métallicité des étoiles





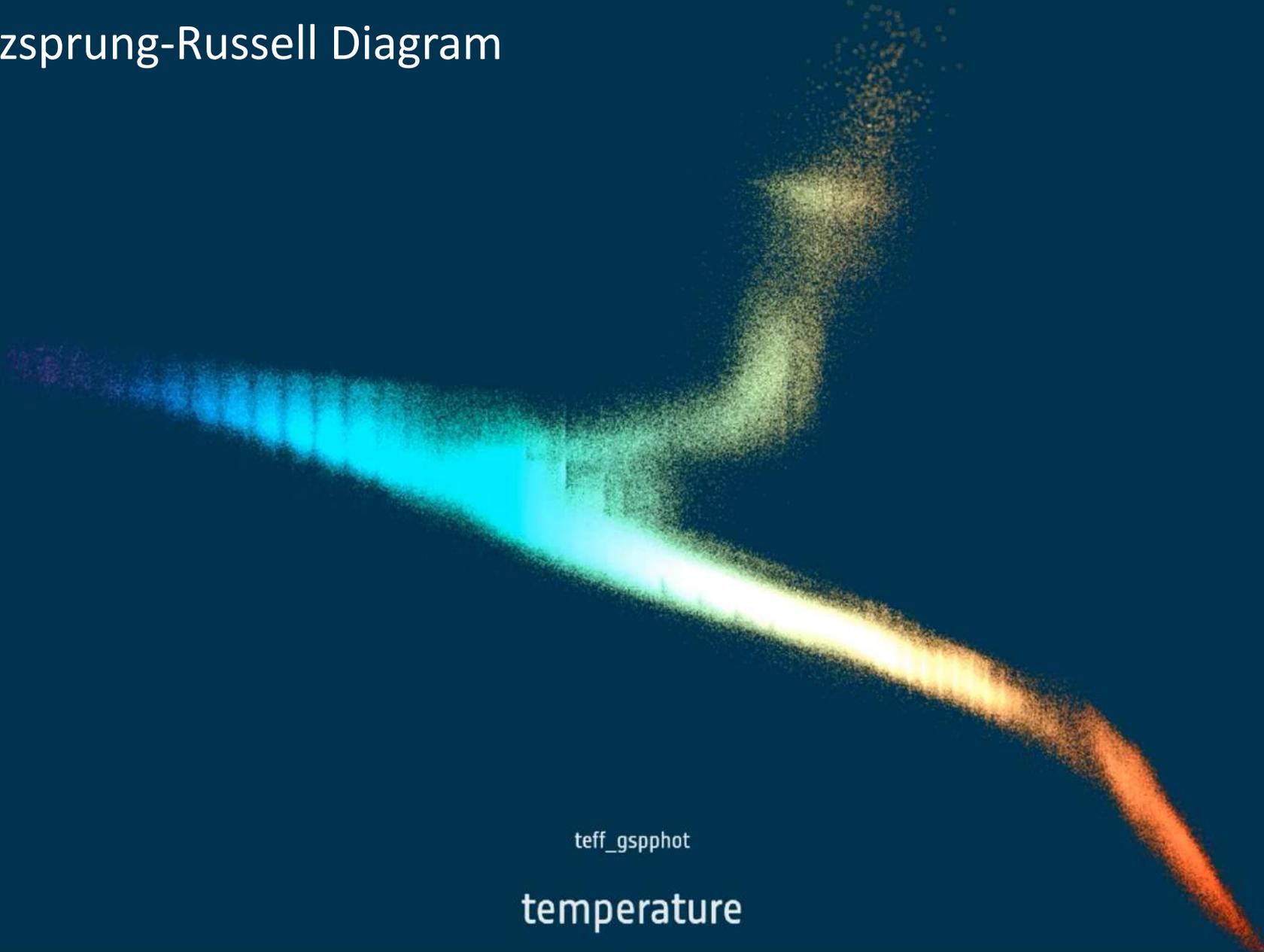
The Hertzsprung-Russell Diagram

luminosity

$\log(\text{lum_flame})$

teff_gspphot

temperature



**Rendez-vous pour
plus de résultats :
11 octobre**

**Merci
pour votre attention!**

**Notez pas de cours
le 4 octobre!**

