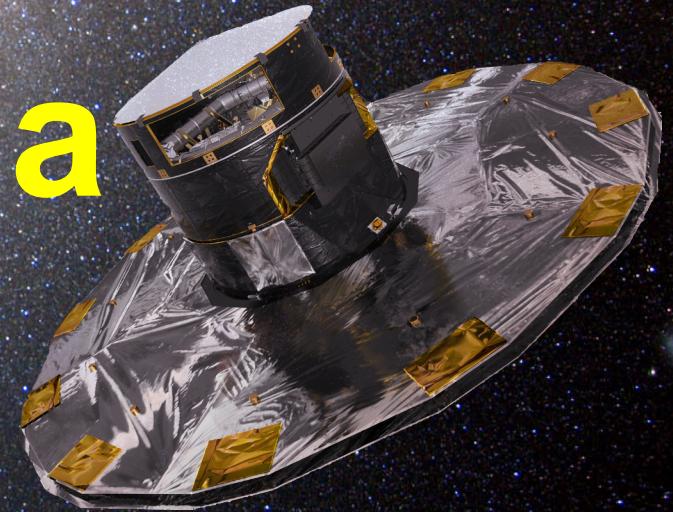




# La Voie Lactée cartographiée par Gaia (en "6D")

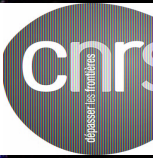


**Laurent Chemin**

Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux



université  
de **BORDEAUX**





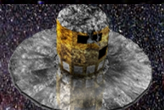
# 1. Présentation de la mission Gaia

## 2. Objectifs scientifiques:

« Connais-toi toi-même »

Autres objectifs

## 3. Passé & futur de la Galaxie



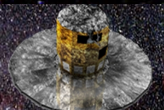


# Crédits

Vidéos & images :

CNES, ESA, NASA, Astrium, ESO

Vidéos & données de calibration Gaia :  
ESA, CNES, OBSPM





# Galaxies



elliptique



spirale



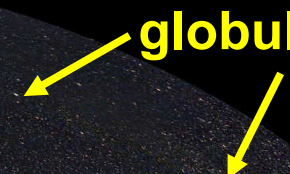


# Gaia : pourquoi ?



## La Voie Lactée

Amas  
globulaires



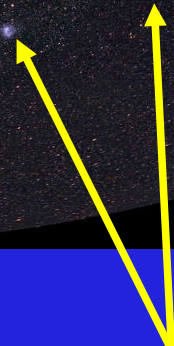
Diamètre: ~100 000 années-lumière  
Épaisseur: ~5000 a.-l.  
Masse stellaire: ~100 milliards Msol  
Masse totale: ~1000 milliards Msol

Disque

Poussières

Bulbe

Nuages de Magellan



Laurent Chemin





# La Voie Lactée ?



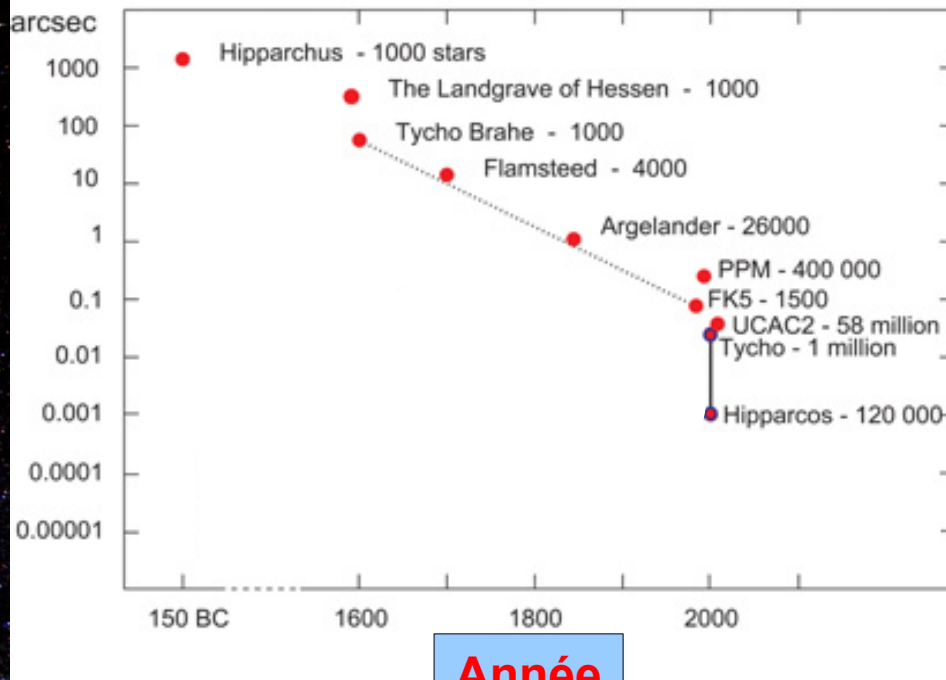
Ceci est une illustration, pas une photo





# Gaia : pourquoi ?

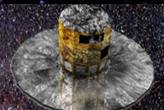
## Précision



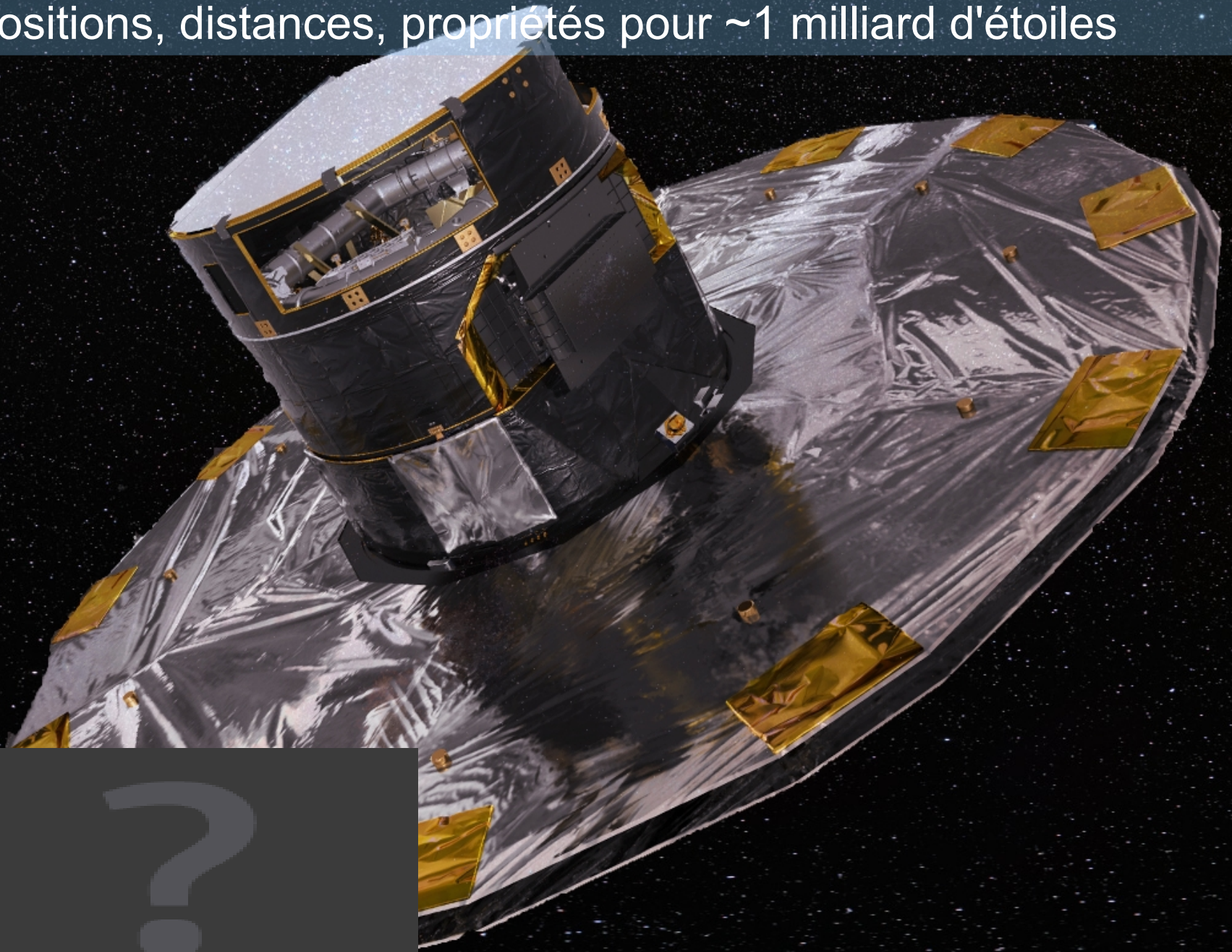
- Précision ultime  
HIPPARCOS  
~1 milli seconde d'arc  
(~1/4 000 000 deg.)

- Catalogue Tycho-2  
2 539 913 étoiles  
Précision moyenne 60 mas  
(1/60 000 deg.)

Il existe très peu de mesures précises de distances d'étoiles  
Précisions de 5% pour 7000 étoiles à 500 a.-l.

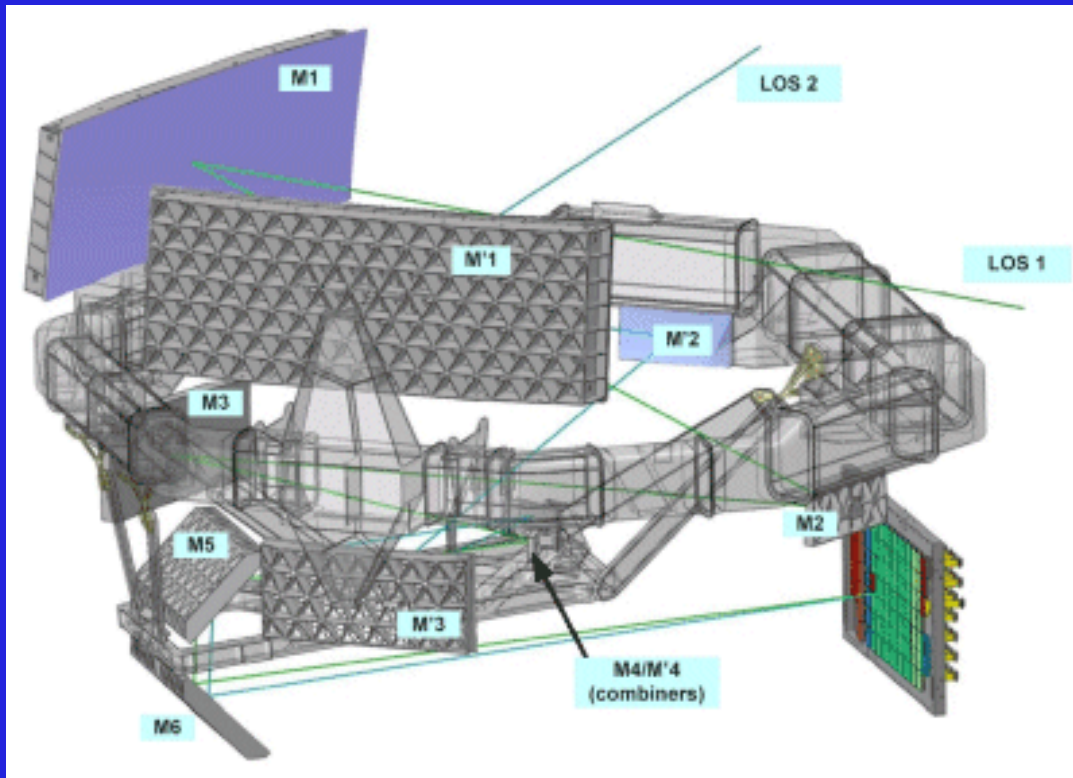


Positions, distances, propriétés pour ~1 milliard d'étoiles





# Gaia : module principal





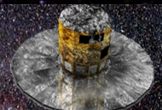
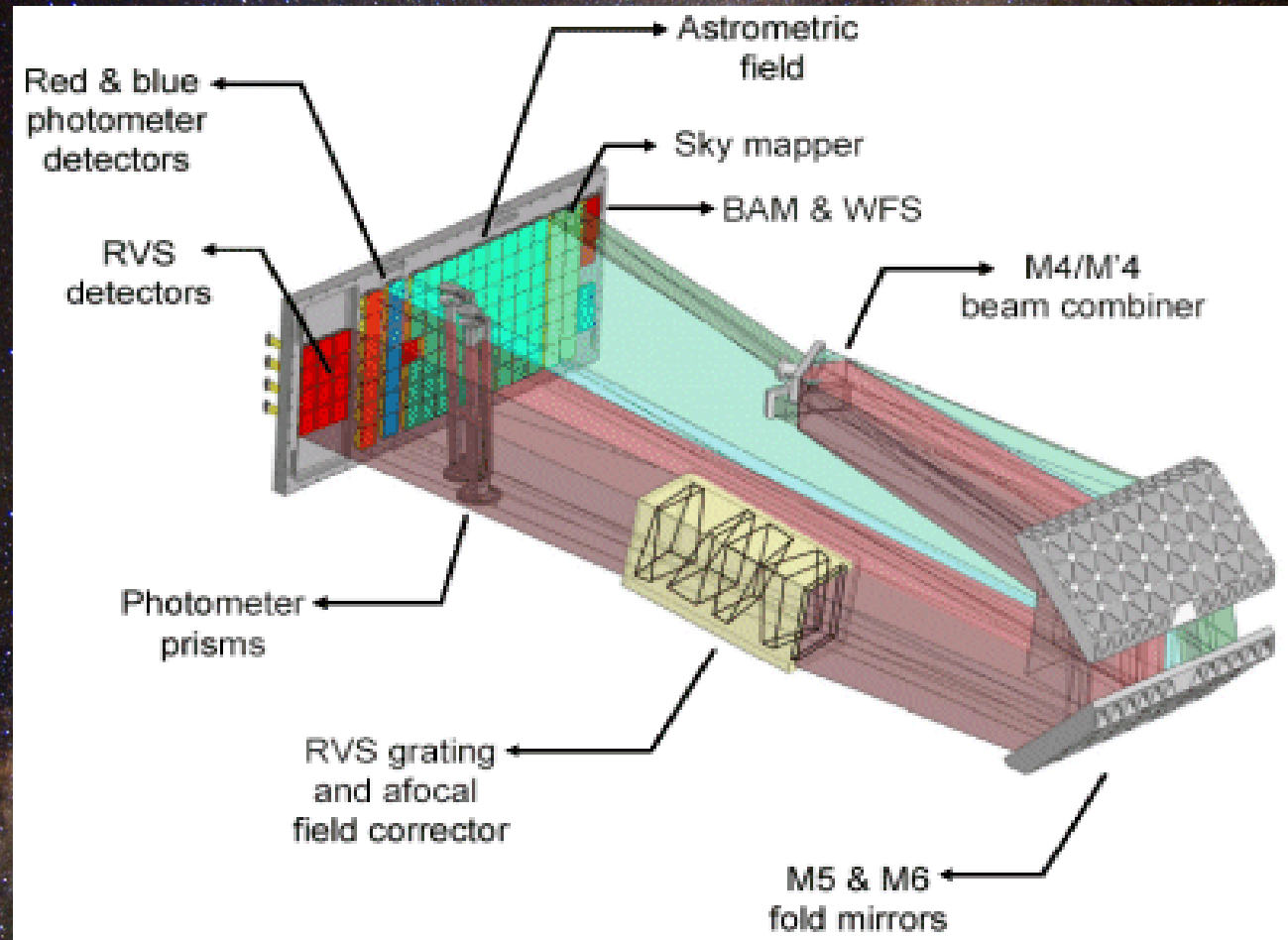
# Gaia : 3 instruments



**ASTRO**  
astrométrie

**BP-RP**  
photométrie

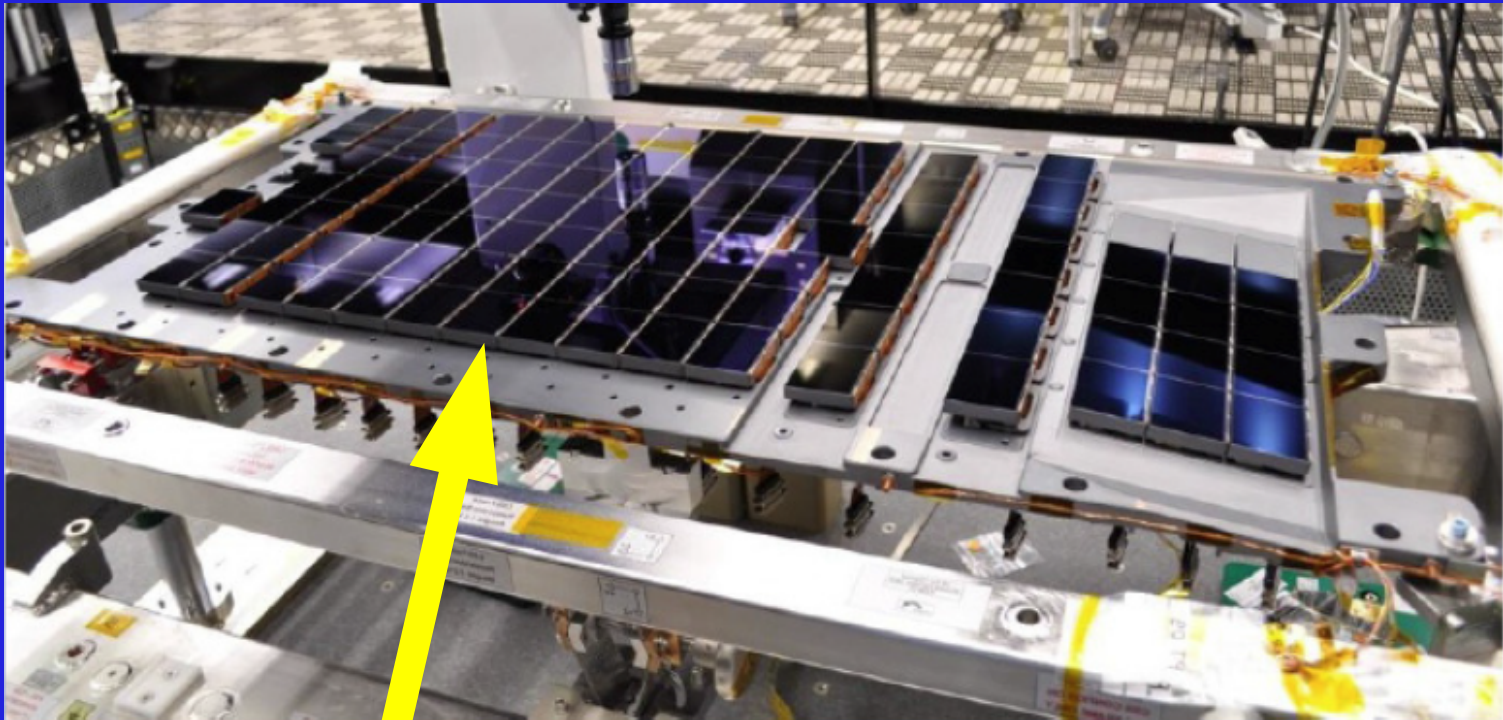
**RVS**  
spectroscopie





# Gaia : le plan focal

106 CCD = 1 milliard de pixels !



**ASTRO**



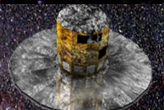


# Les observables de Gaia



## ASTRO: astrométrie

- Positions des astres pendant 5 ans (70 passages) +1 an
  - Parallaxes
  - Mouvements propres
  - ~1 milliard de sources ( $V < 20$ )





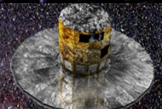
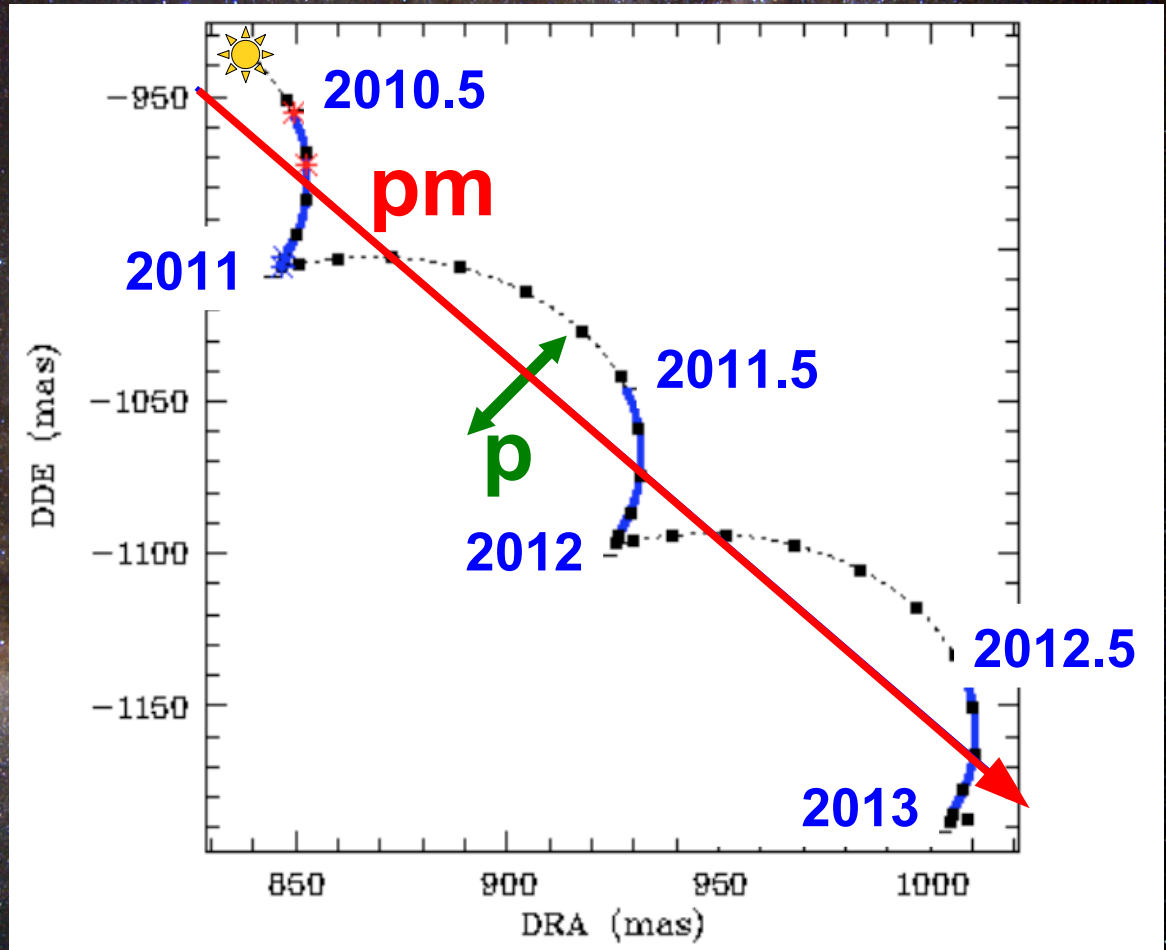
# Les observables de Gaia



Mouvement propre (**pm**)

+

Parallaxe (**p**)





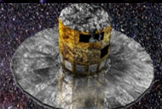
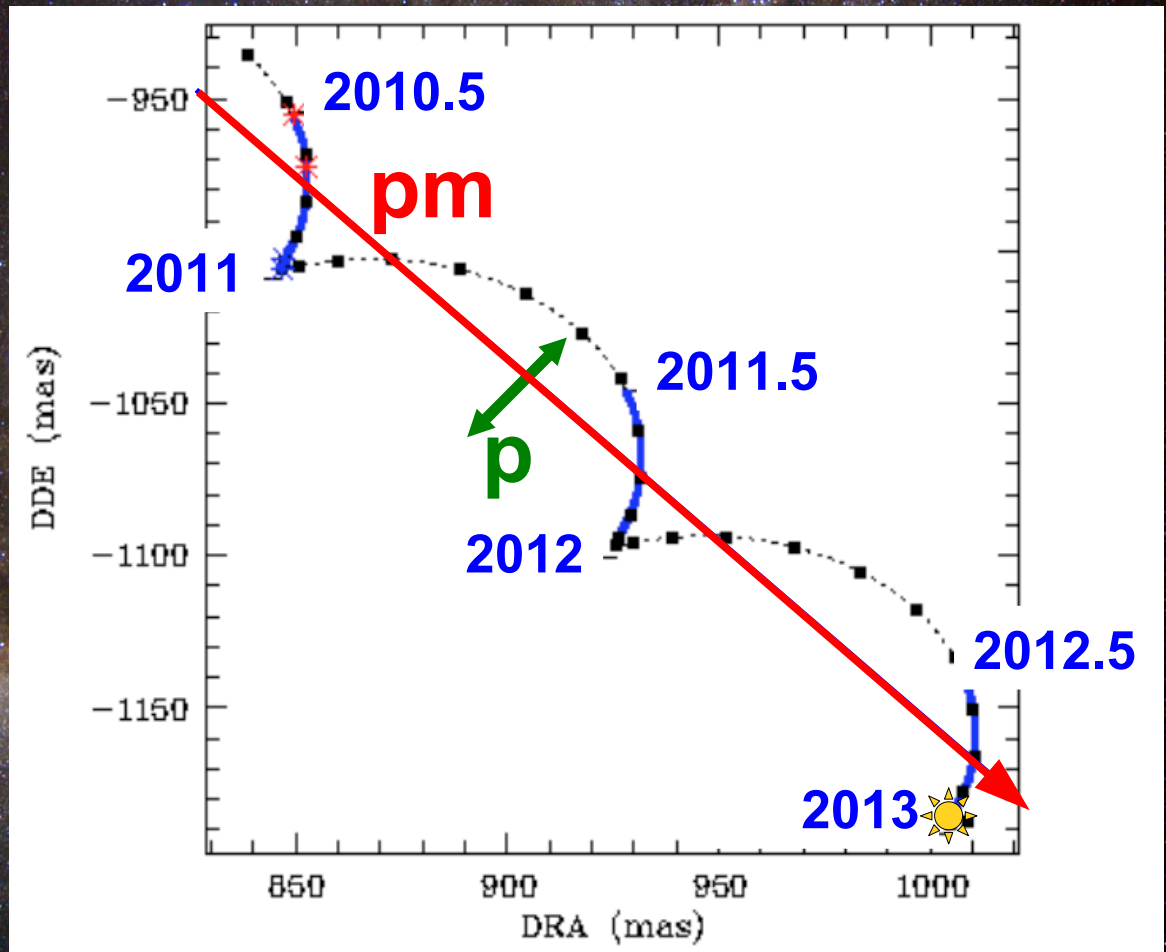
# Les observables de Gaia



Mouvement  
propre (**pm**)

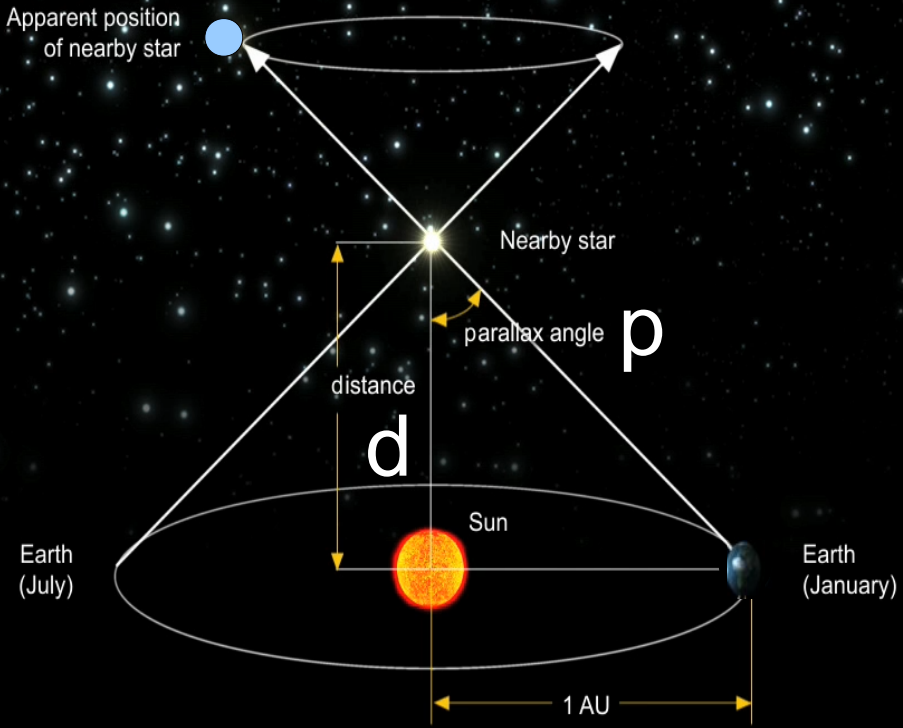
+

Parallaxe (**p**)

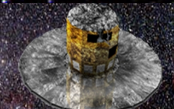




# Les observables de Gaia



$$d = 1/p$$

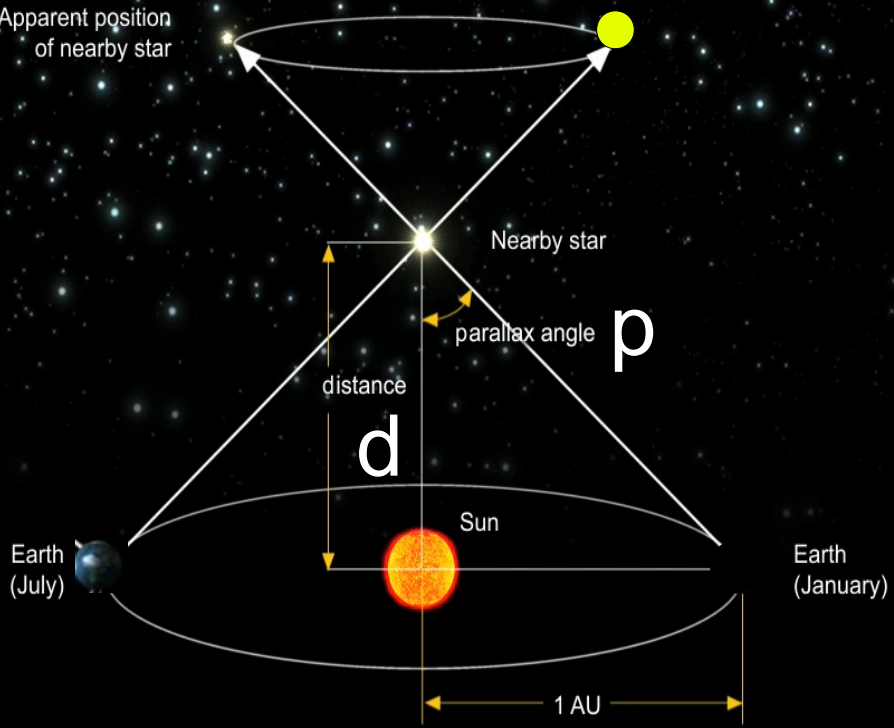




# Les observables de Gaia

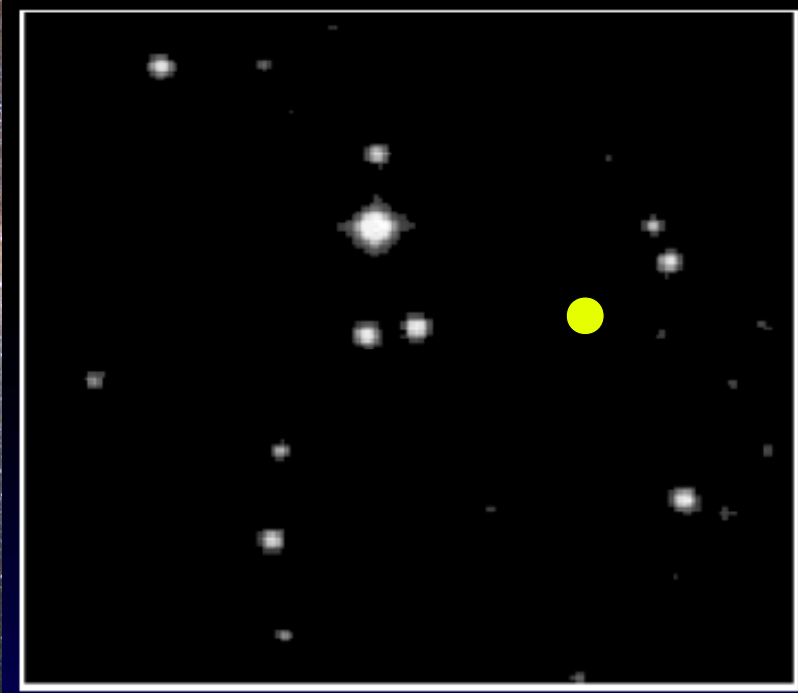


Apparent position of nearby star

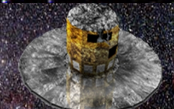


hiver

été



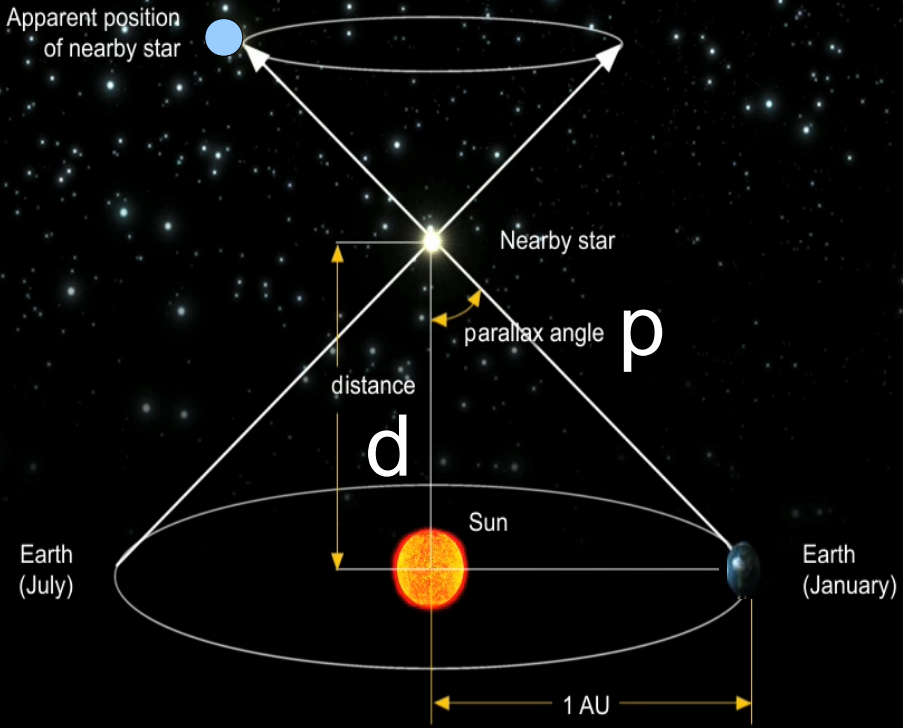
$$d = 1/p$$



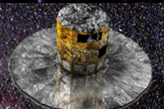




# Les observables de Gaia

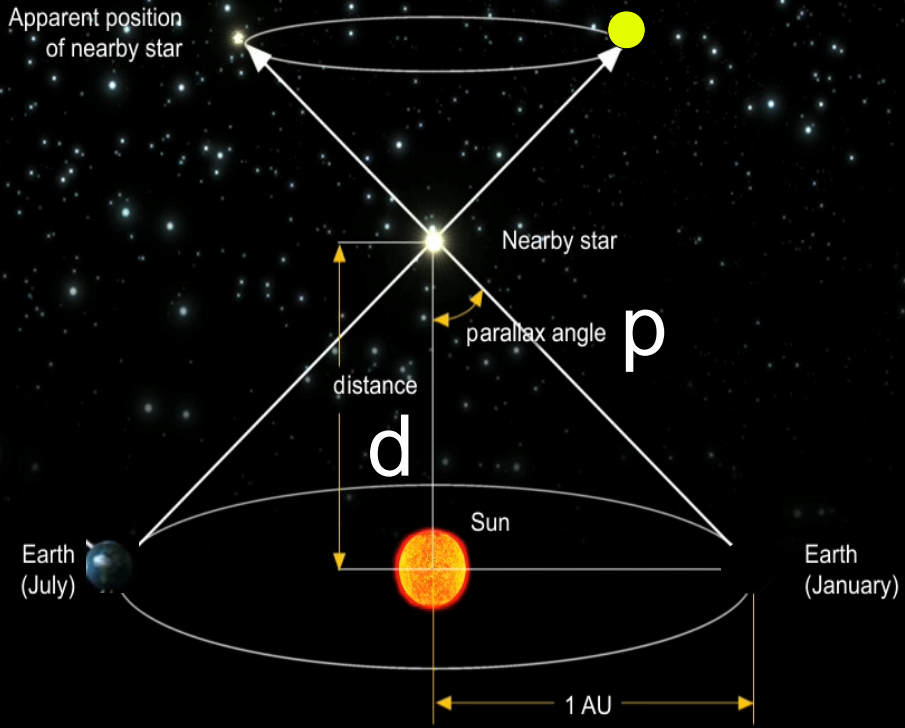


$$d = 1/p$$

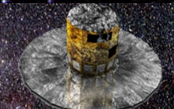




# Les observables de Gaia

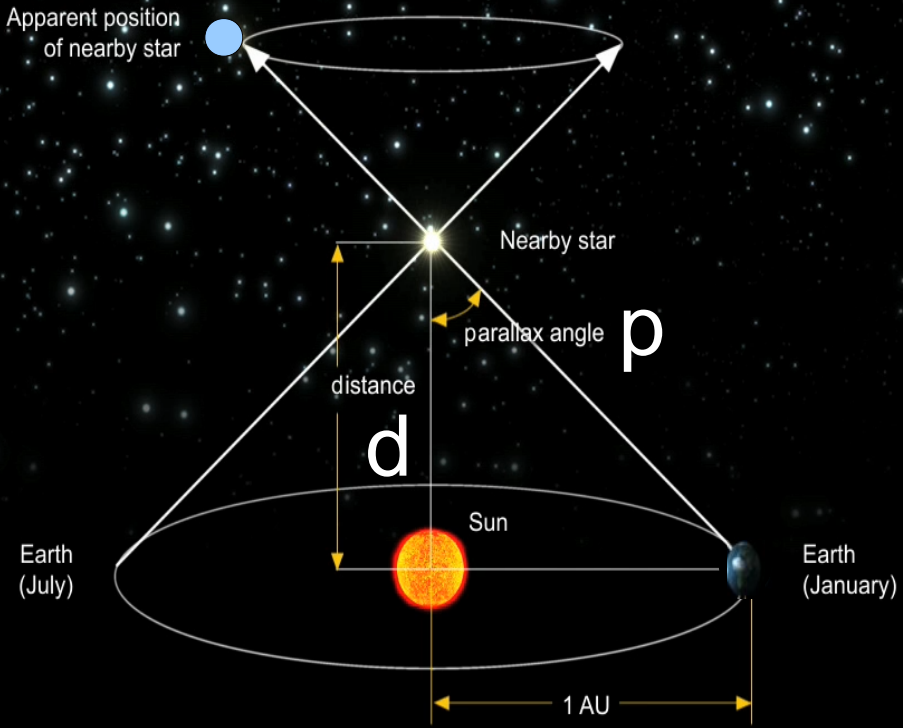


$$d = 1/p$$

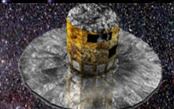




# Les observables de Gaia

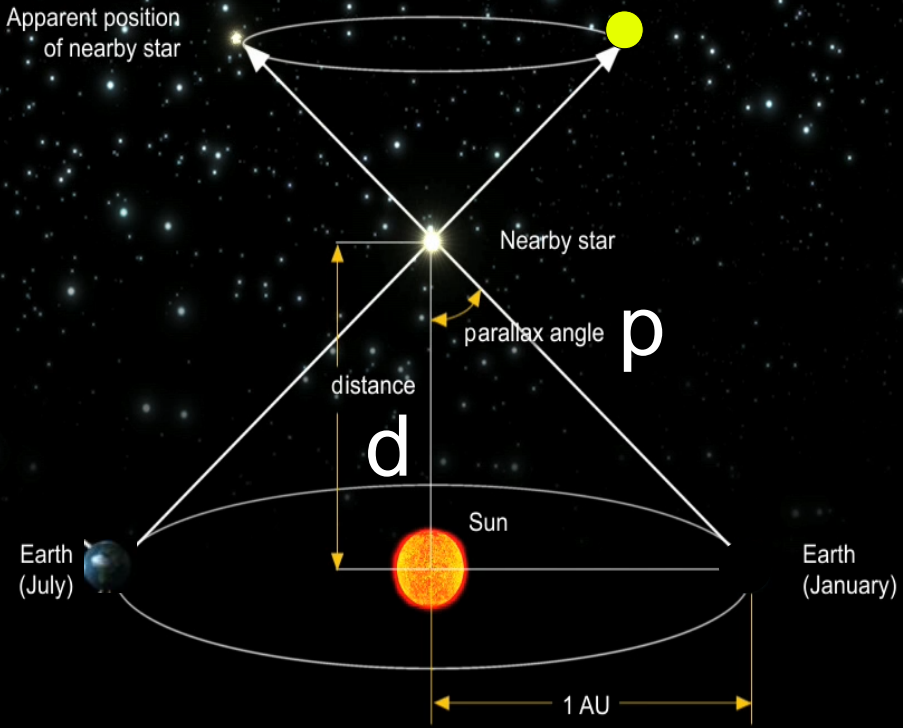


$$d = 1/p$$

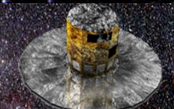




# Les observables de Gaia



$$d = 1/p$$

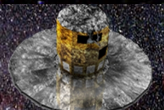




# Les observables de Gaia

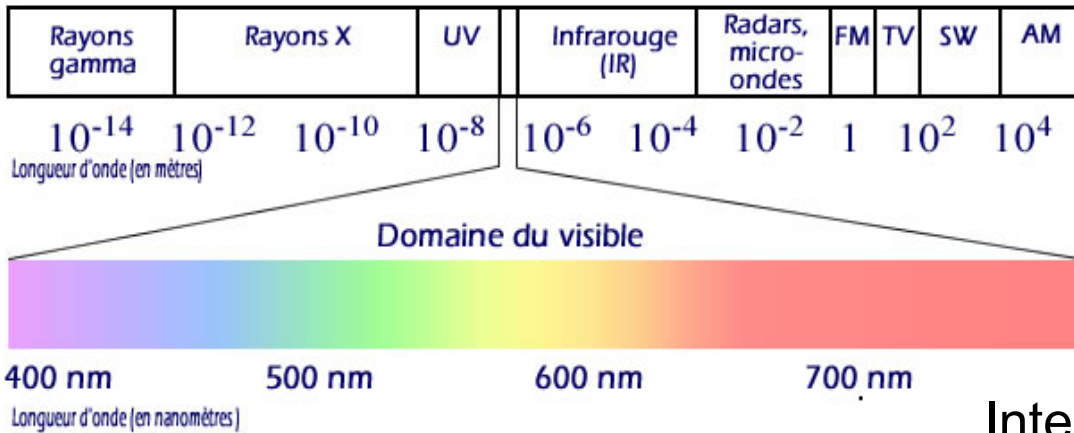
## Blue-Red Photometer: photométrie

- Flux et magnitudes B (320-660 nm), R (660-1000nm)
  - Couleur
  - Luminosité absolue
  - Température effective
  - Classification

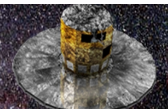
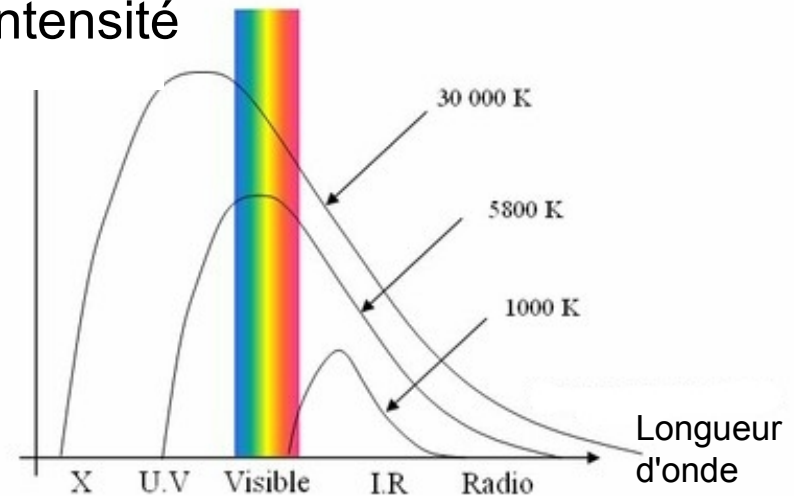




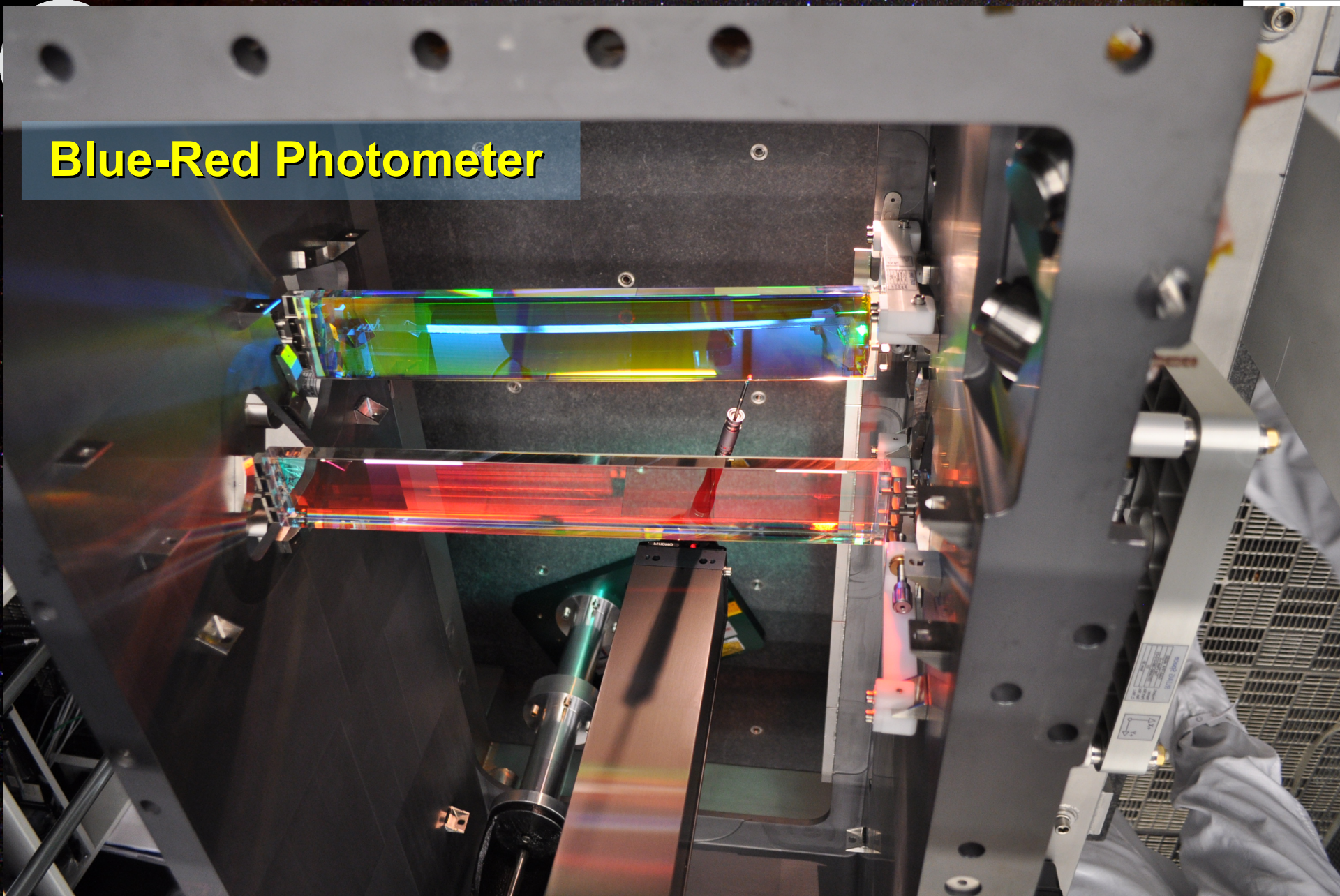
# Spectre électromagnétique



Intensité



# Blue-Red Photometer



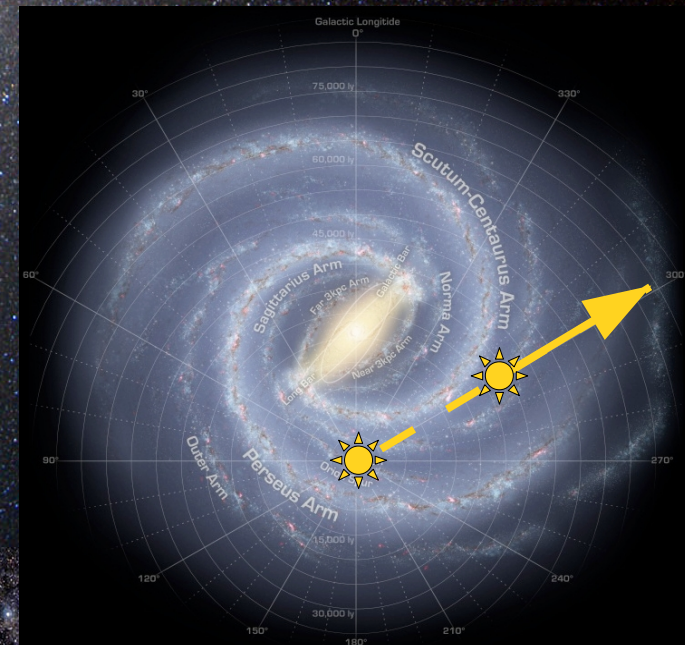
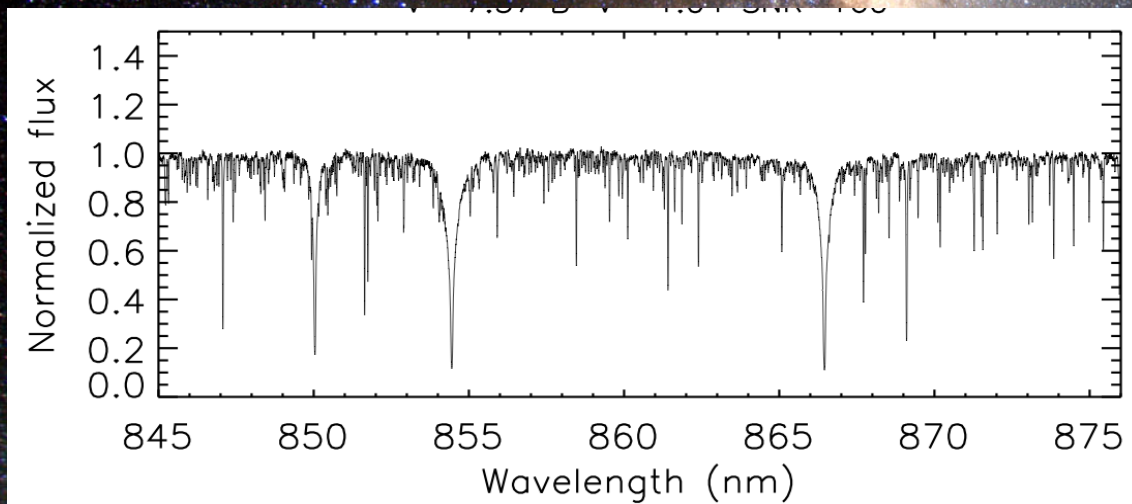


# Les observables de Gaia



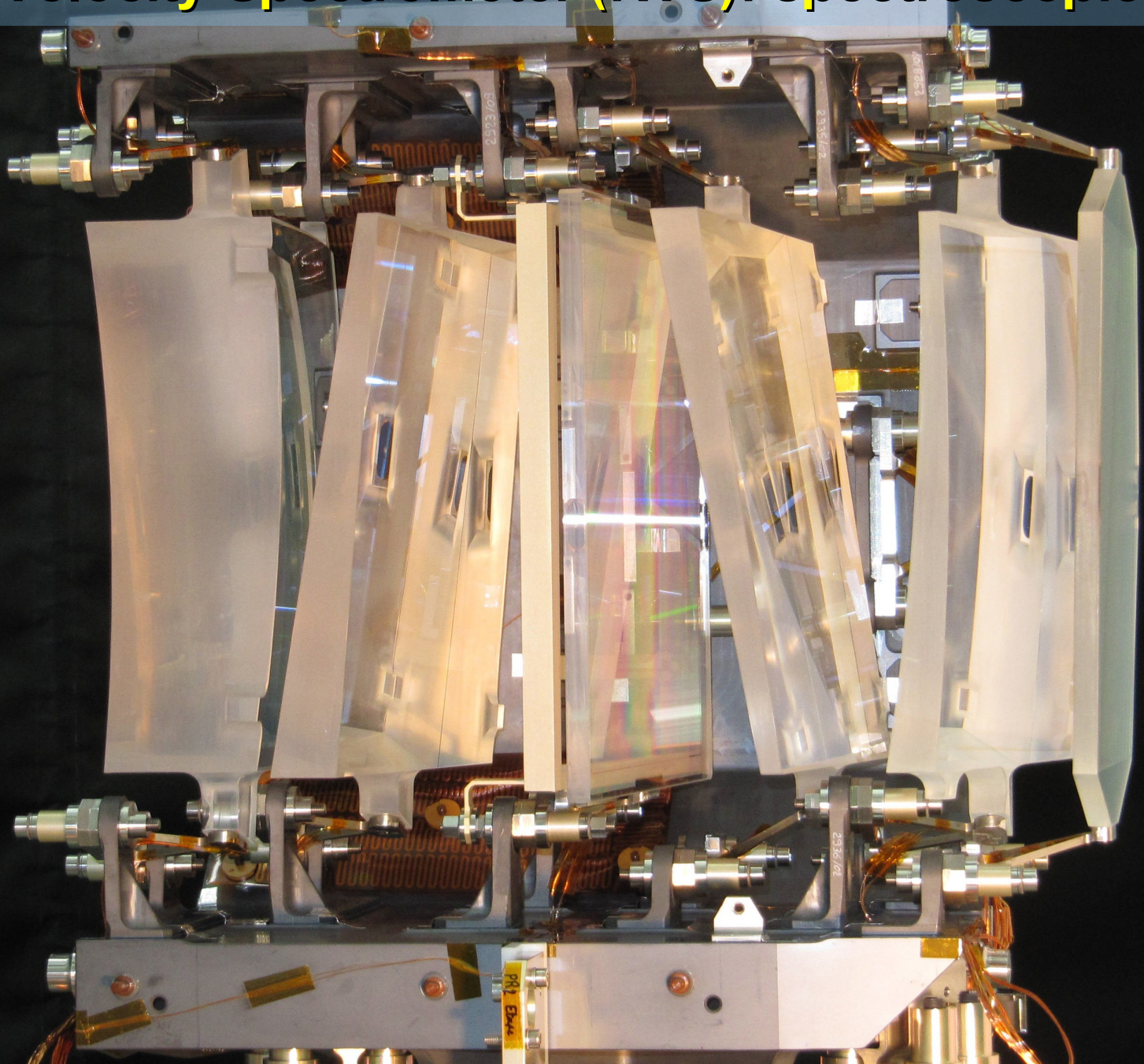
## Radial Velocity Spectrometer (RVS): spectroscopie

- Spectres des étoiles (<150 millions d'étoiles  $V < 16$ )
  - Vitesses radiales
  - Classification
  - Paramètres atmosphériques
  - Composition chimique (Ca, Fe, ...)





# Radial Velocity Spectrometer (RVS): spectroscopie





Laurent Chemin





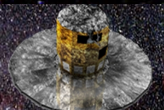
# Gaia : les premiers mois



Période de tests, vérifications, calibrations :  
février à juillet 2014

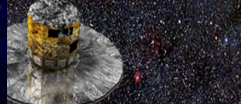
Problèmes découverts :

- Eau parasite
- Lumière parasite
- Variation de l'angle entre les 2 directions de visées  
(1/3 600 000)



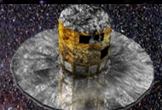
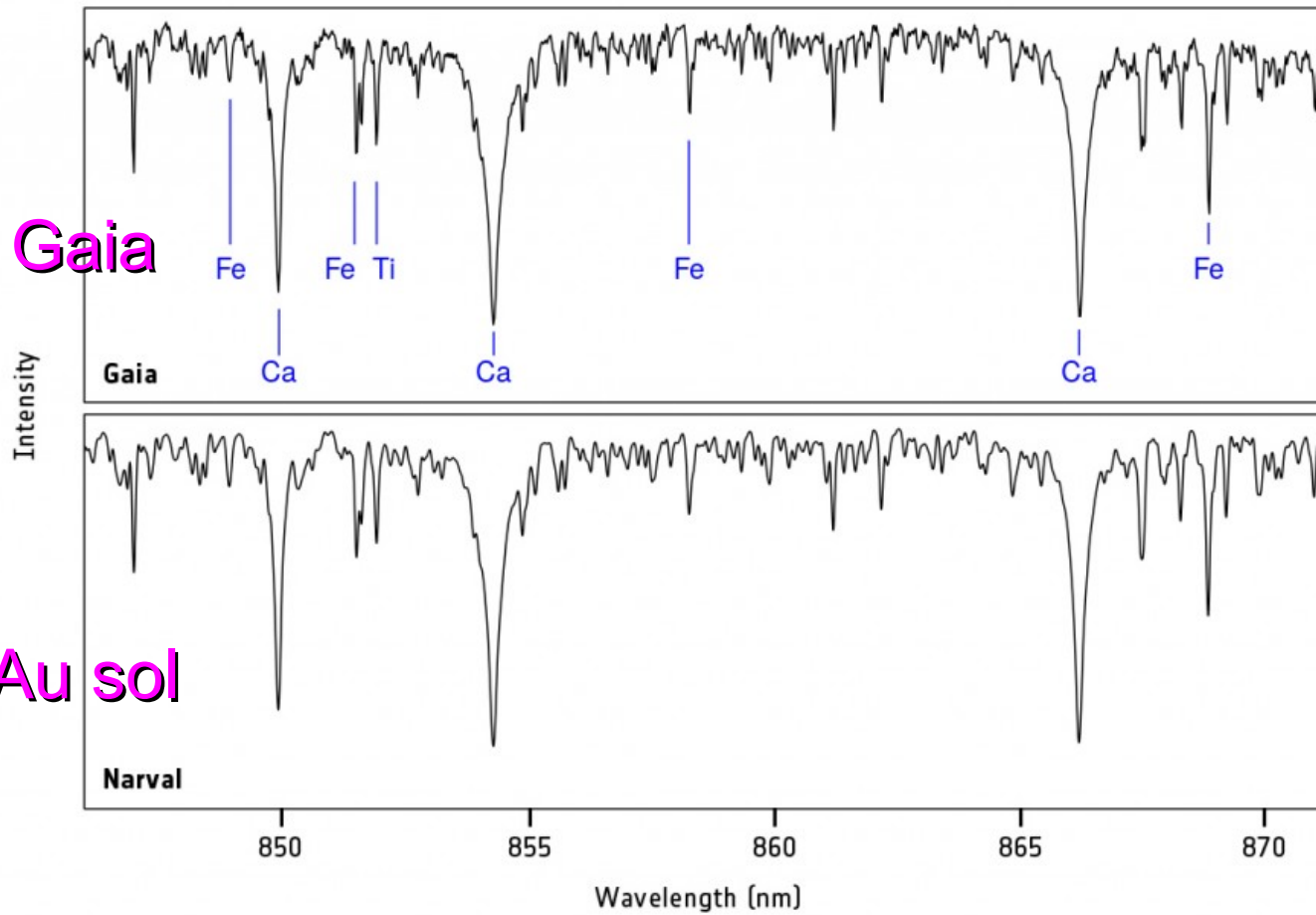


# Amas stellaire NGC 1818





# Etoile HIP86564

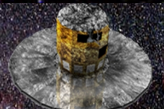




# Objectif scientifique principal

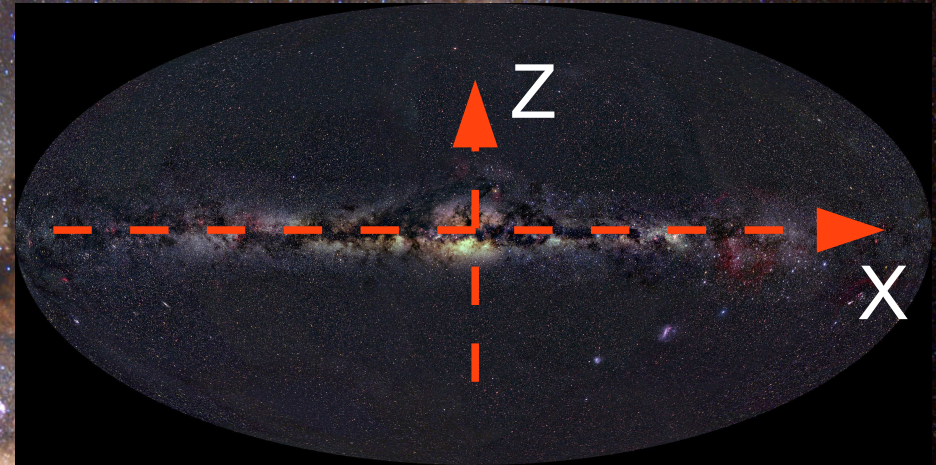
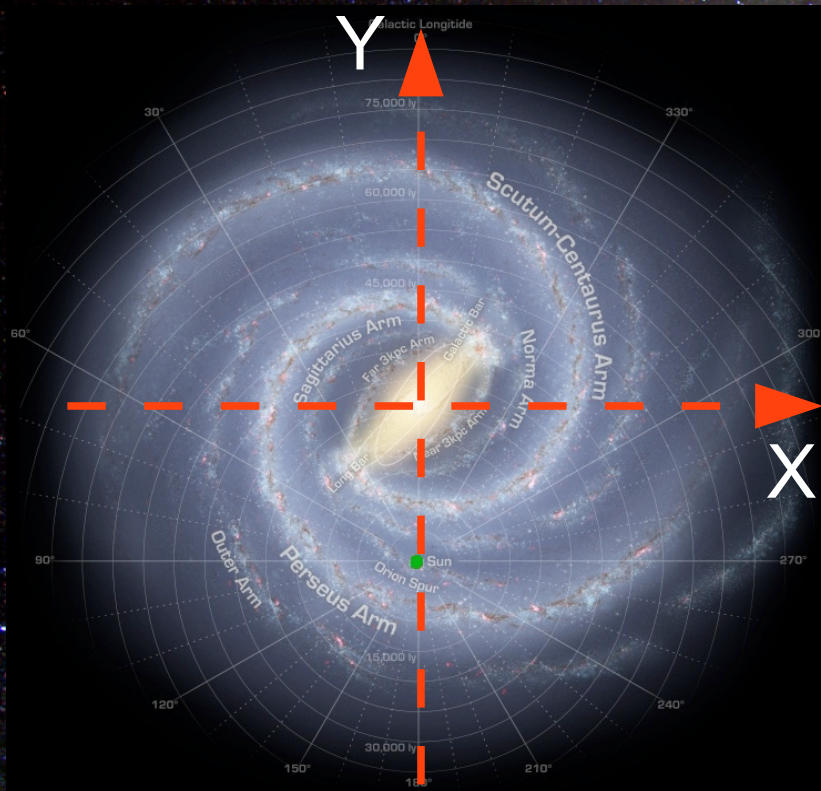


**Mieux connaître notre Galaxie :  
1ère cartographie "en 6D"**



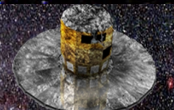


# 3D des positions: 3 coordonnées X, Y, Z + 3D des vitesses: 3 coordonnées $V_x, V_y, V_z$



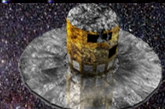
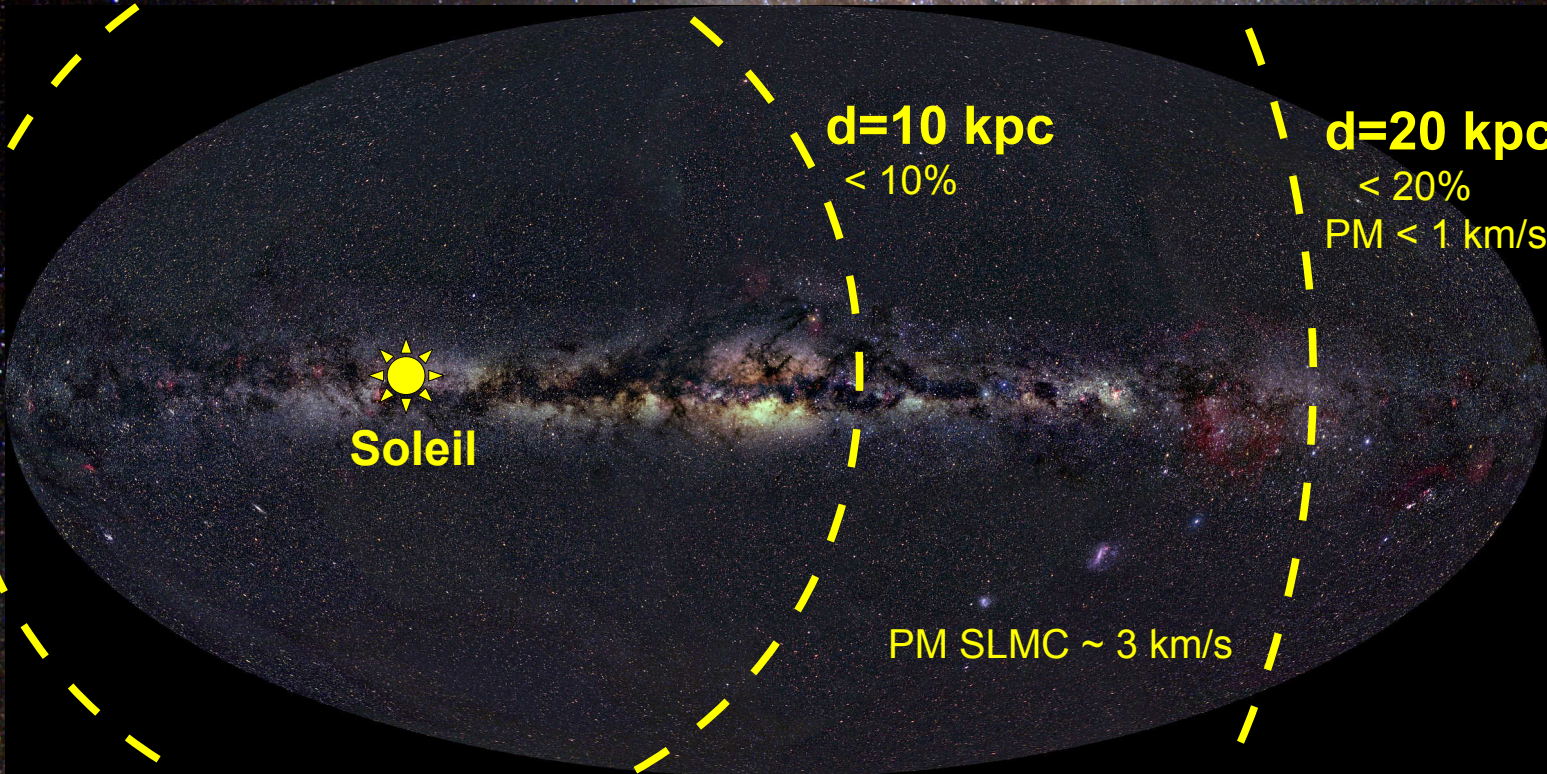
Position: ascension droite, déclinaison et parallaxe (ASTRO)

Vitesse: Mouvements propres (ASTRO) et des vitesses radiales (RVS)





# Quelles précisions pour Gaia ?

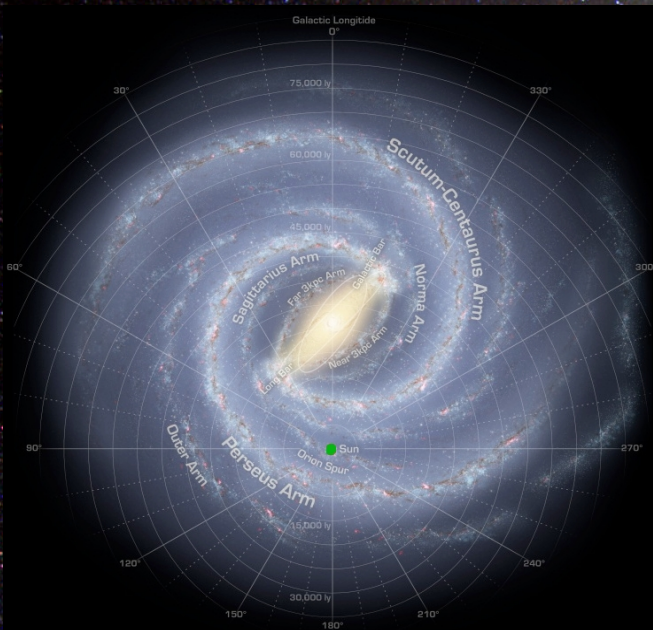




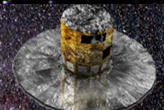


# Structure

- Morphologie du disque Galactique
- Nombre de bras spiraux
- Taille du disque et du halo stellaires



- Position du Soleil
- Forme du bulbe
- Longueur de la barre
- Forme du disque externe

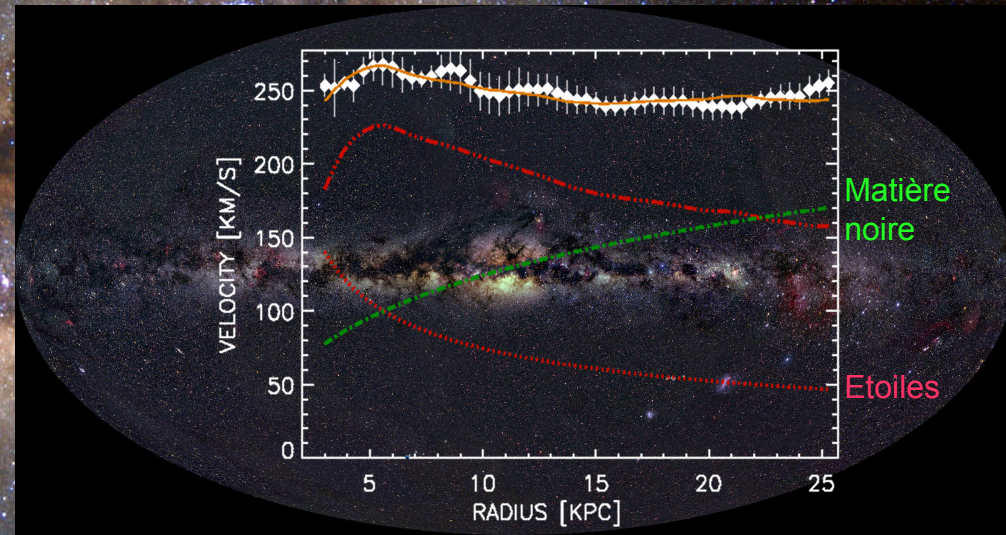
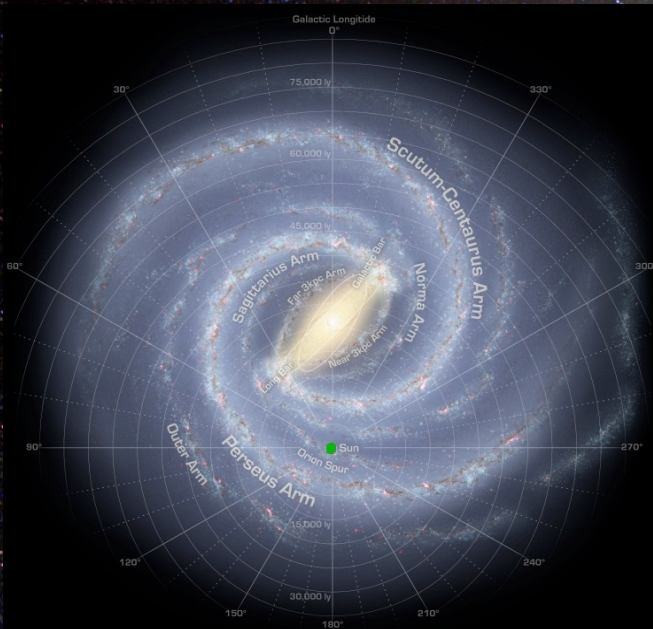




# Structure - Dynamique

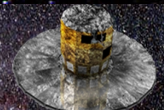
- Morphologie du disque Galactique
- Nombre de bras spiraux
- Taille du disque et du halo stellaires

- Vitesses (azimutales)
- Masse totale gravitante
- Masses stellaire (disque, bulbe, halo)



- Position du Soleil
- Forme du bulbe
- Longueur de la barre
- Forme du disque externe

- Propriétés du halo de matière noire





# D'autres objectifs

(liste non exhaustive)



- Recensement de ~ 300 000 petits corps (planétésimaux, comètes, astéroïdes...)
- Recherche de nouveaux objets (géocroiseurs, etc...)





# D'autres objectifs

(liste non exhaustive)



- Recensement de ~ 300 000 petits corps (planétésimaux, comètes, astéroïdes...)
- Recherche de nouveaux objets (géocroiseurs, etc...)

... aux galaxies proches

- ~ 10 000 000 galaxies





# D'autres objectifs

(liste non exhaustive)

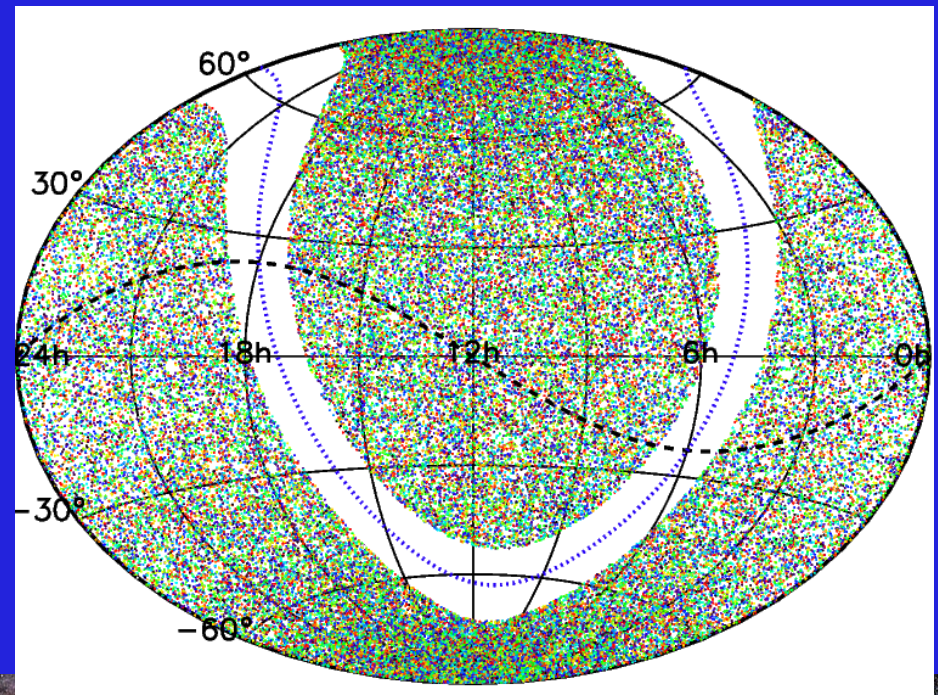


- Recensement de ~ 300 000 petits corps (planétésimaux, comètes, astéroïdes...)
- Recherche de nouveaux objets (géocroiseurs, etc...)

De la banlieue proche...

... aux galaxies lointaines

- ~ 100 000 quasars





# D'autres objectifs

(liste non exhaustive)



- Recensement de ~ 300 000 petits corps (planétésimaux, comètes, astéroïdes...)
- Recherche de nouveaux objets (géocroiseurs, etc...)

De la banlieue proche...

... aux galaxies lointaines

- ~ 100 000 quasars

... en passant par les étoiles,

- Paramètres fondamentaux des étoiles (L, âge, R, m)
- Détection ~ 10 000 exoplanètes
- Caractérisation des systèmes exoplanétaires
- Dénombrement des systèmes d'étoiles binaires



Laurent Chemin





# D'autres objectifs

(liste non exhaustive)



- Recensement de ~ 300 000 petits corps (planétésimaux, comètes, astéroïdes...)
- Recherche de nouveaux objets (géocroiseurs, etc...)

De la banlieue proche...

... aux galaxies lointaines

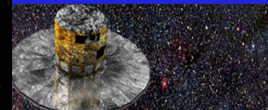
- ~ 100 000 quasars

... à l'Unives très lointain,

- Estimation de l'âge de l'Univers

... en passant par les étoiles,

- Paramètres fondamentaux des étoiles (L, âge, R, m)
- Détection ~ 10 000 exoplanètes
- Caractérisation des systèmes exoplanétaires
- Dénombrement des systèmes d'étoiles binaires





# D'autres objectifs

(liste non exhaustive)



- Recensement de ~ 300 000 petits corps (planétésimaux, comètes, astéroïdes...)
- Recherche de nouveaux objets (géocroiseurs, etc...)

De la banlieue proche...

... aux galaxies lointaines

- ~ 100 000 quasars

... à l'Unives très lointain,

- Estimation de l'âge de l'Univers

... en passant par les étoiles,

- Paramètres fondamentaux des étoiles (L, âge, R, m)
- Détection ~ 10 000 exoplanètes
- Caractérisation des systèmes exoplanétaires
- Dénombrement des systèmes d'étoiles binaires

et la Physique fondamentale

- Test de la Relativité Générale

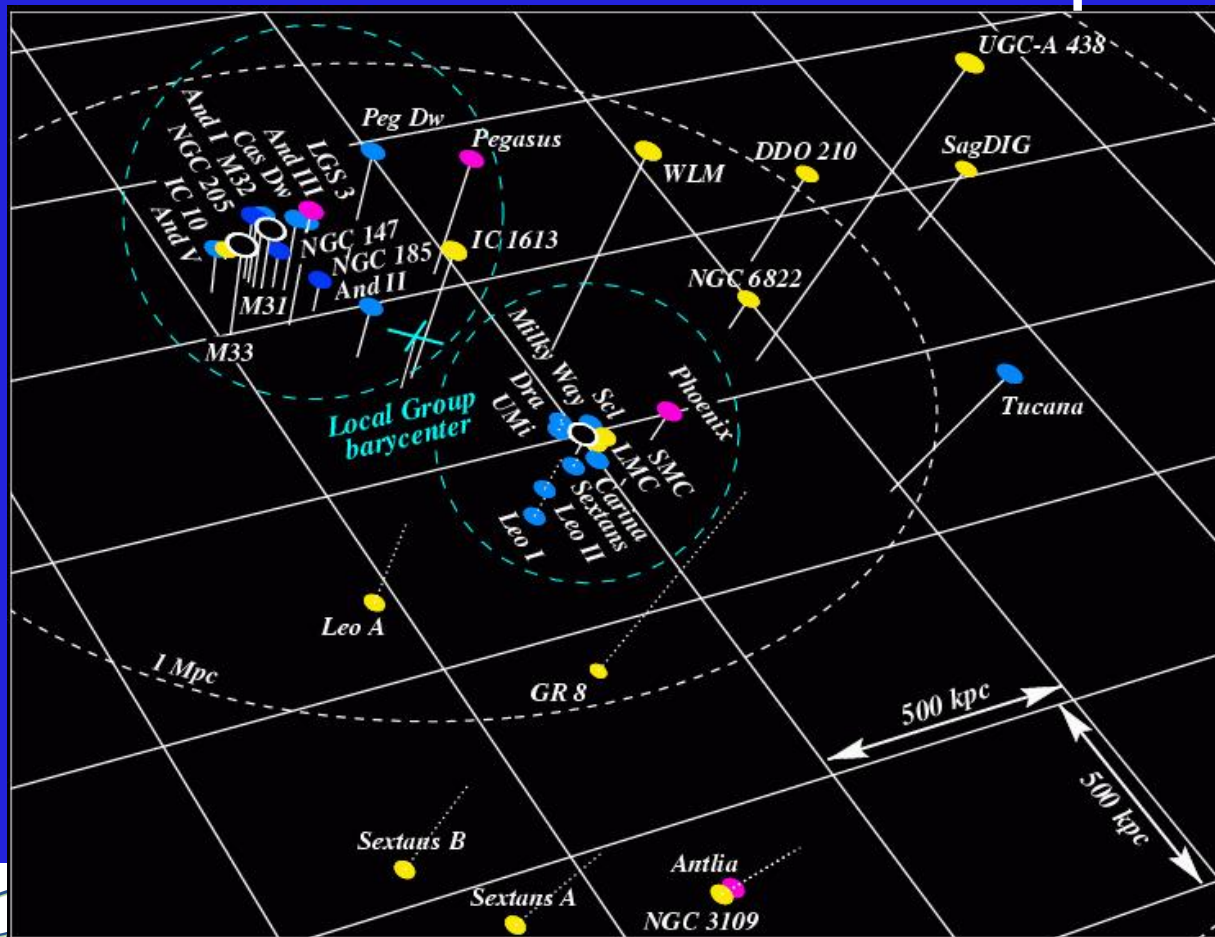






# Evolution de la Voie Lactée et du Groupe Local

## Notre Galaxie n'est pas isolée



Groupe Local  
~40 galaxies:

- Voie Lactée
- Galaxie d'Andromède
- Galaxie du Triangle

Le reste:  
galaxies naines  
(sphéroidales  
elliptiques, irrégulières,  
spiraes)

Taille ~ 4,5 millions a.-l.

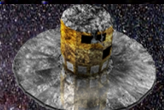




# Archéologie Galactique: Historique de formation de la Voie Lactée

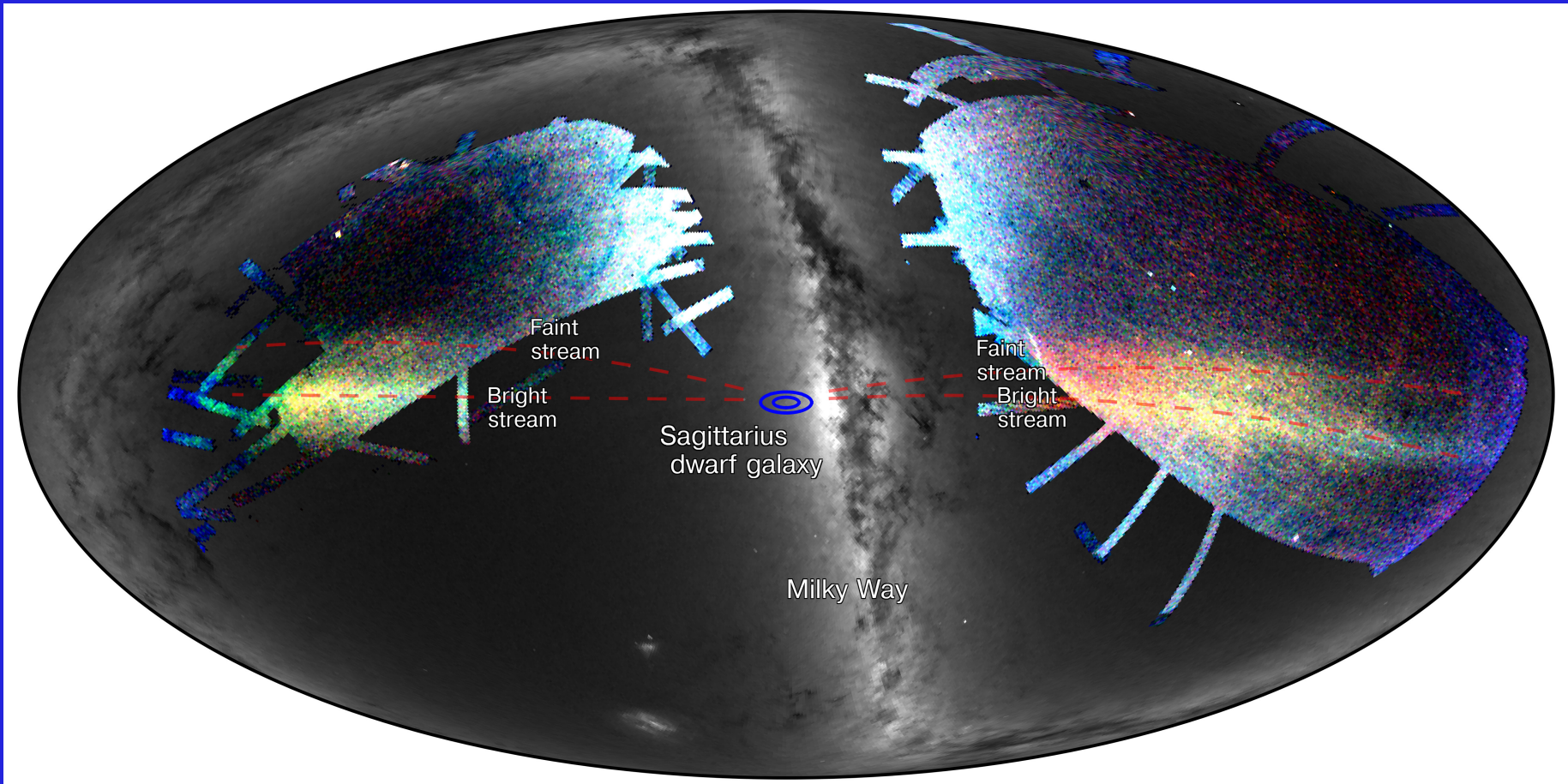
(Be kind, rewind)

- Depuis ~1995: découvertes des petits satellites et des courants d'étoiles dans son halo
- Courants du Sagittaire, Orphan, Styx, Palomar 5, etc
- Détectés par relevés profonds de comptage et d'analyse chimico-cinématique des étoiles





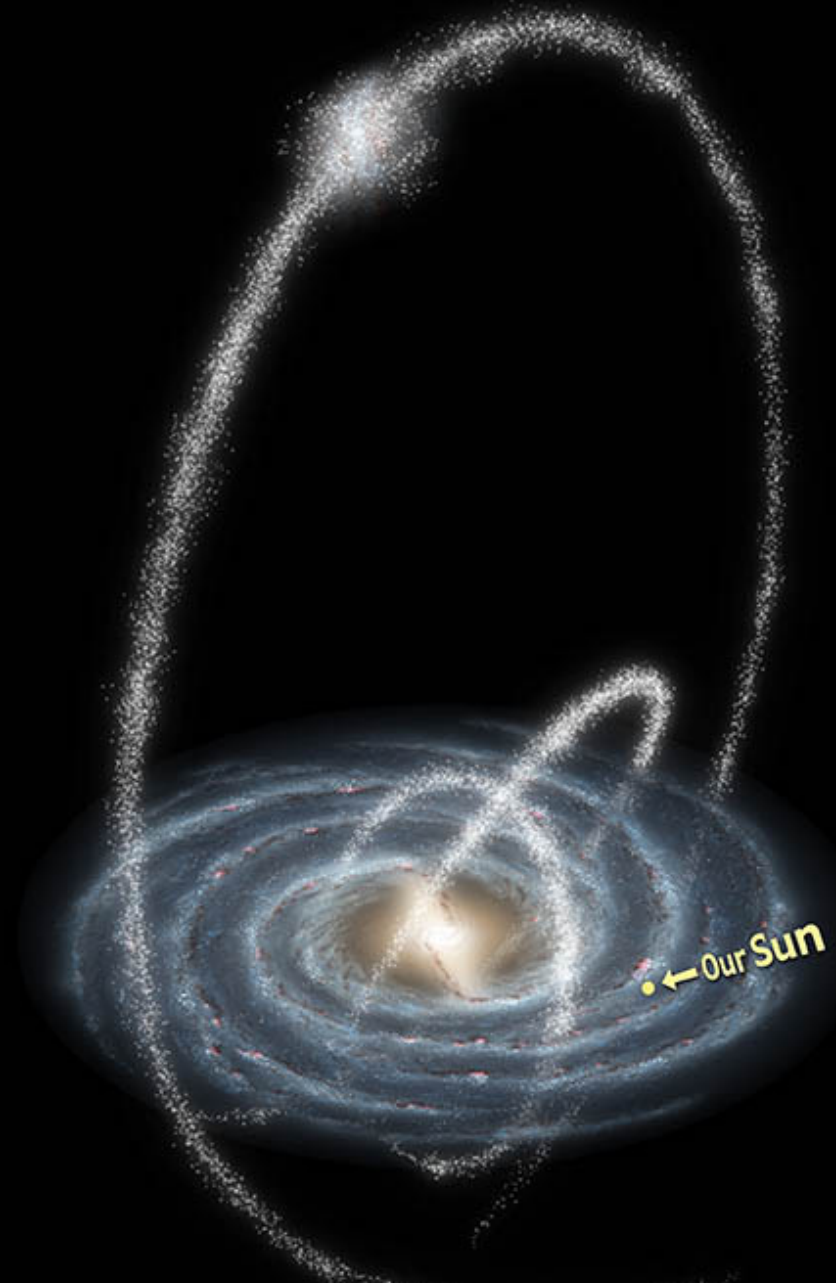
# Courant du Sagittaire





- Courants stellaires = résidus des interactions gravitationnelles avec des galaxies naines

- Disque Galactique a grossi par accrétions des courants ET des galaxies naines





# Hypothèses confirmées par des simulations numériques

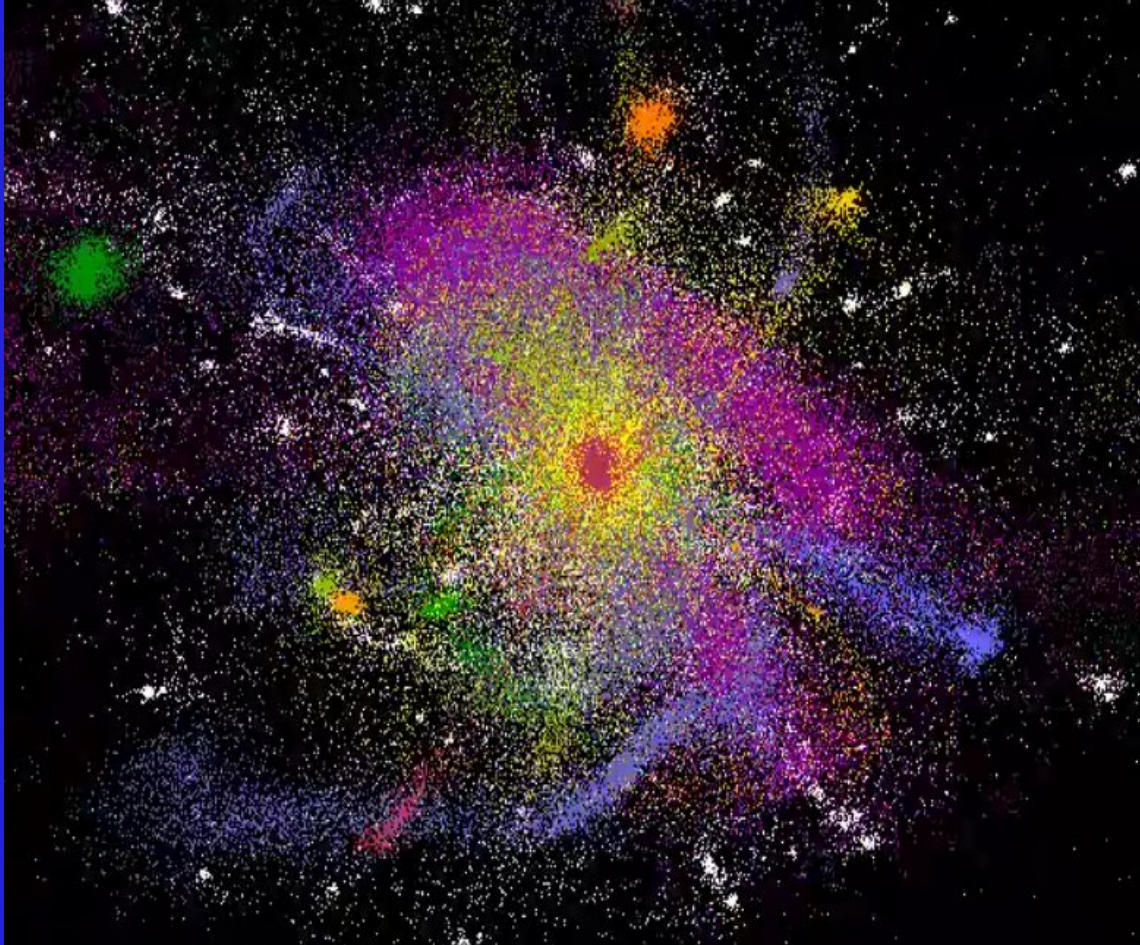


Laurent Chemin





- Pas de fusion avec une galaxie spirale massive au cours des ~8-10 milliards d'années
- Halo serait rempli de courants de marée peu massifs très diffus et de galaxies naines progénitrices (→ où sont-ils ?)



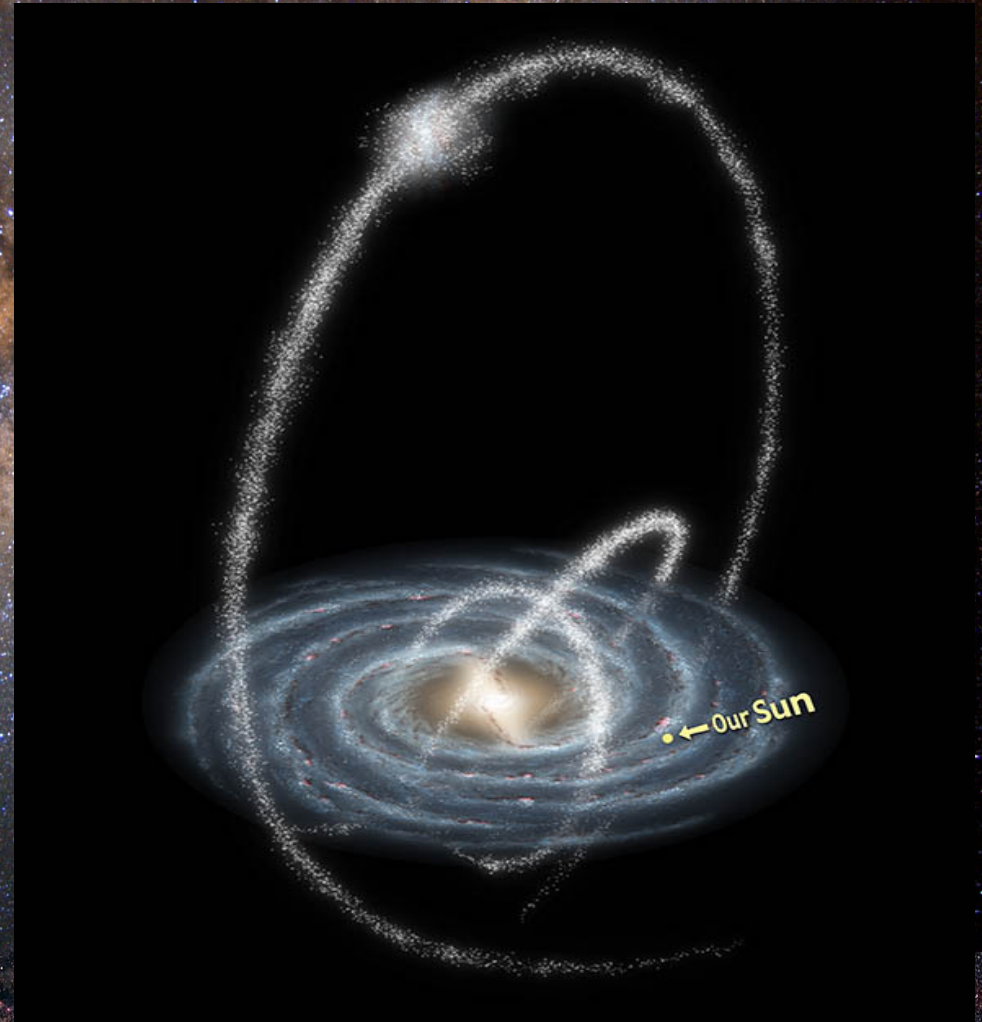


# Archéologie Galactique: Formation et évolution de la Voie Lactée

(Be kind, rewind)

- Gaia:

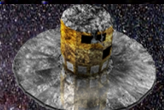
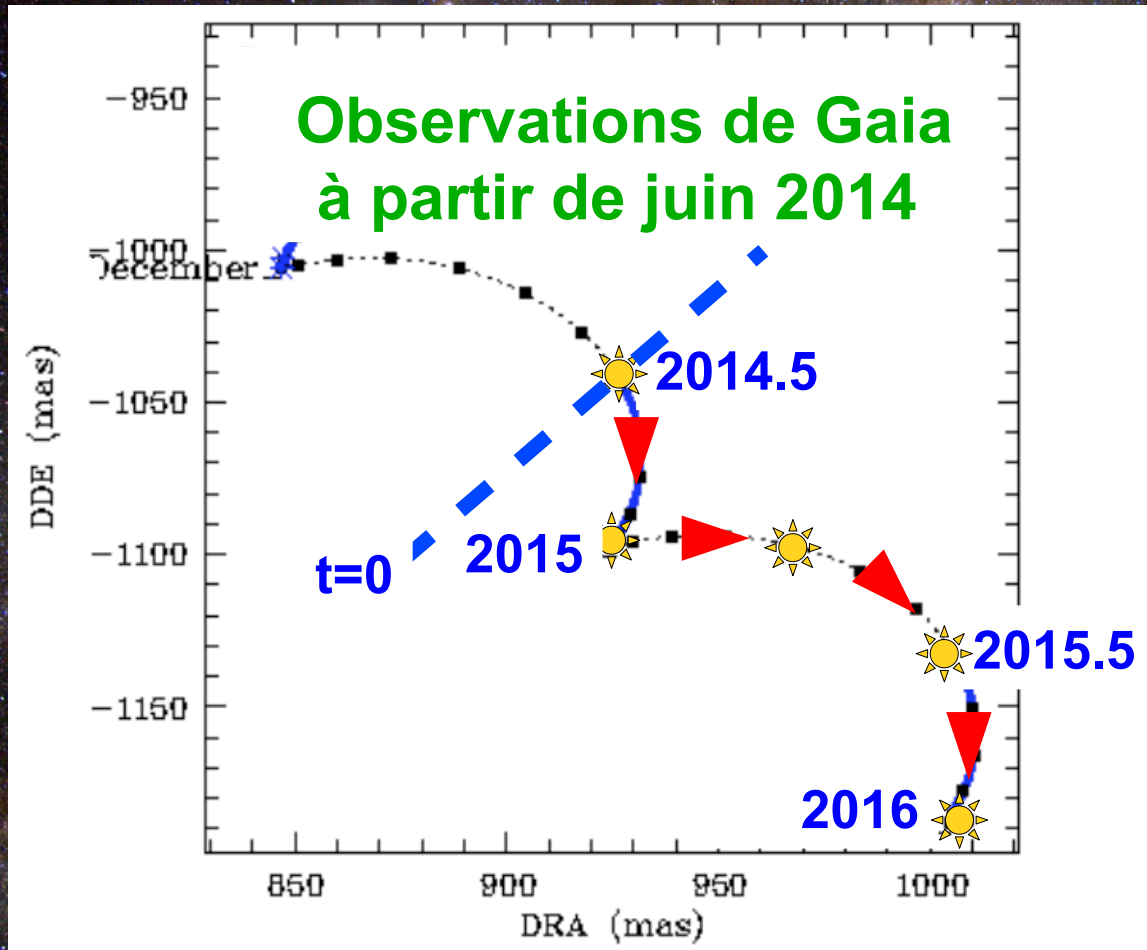
- Détecter, dénombrer les courants de marée dans et hors du plan Galactique
- Forme, étendue, vitesses, composition chimique





# Archéologie Galactique: Historique de formation de la Voie Lactée

(Be kind, rewind)

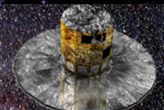
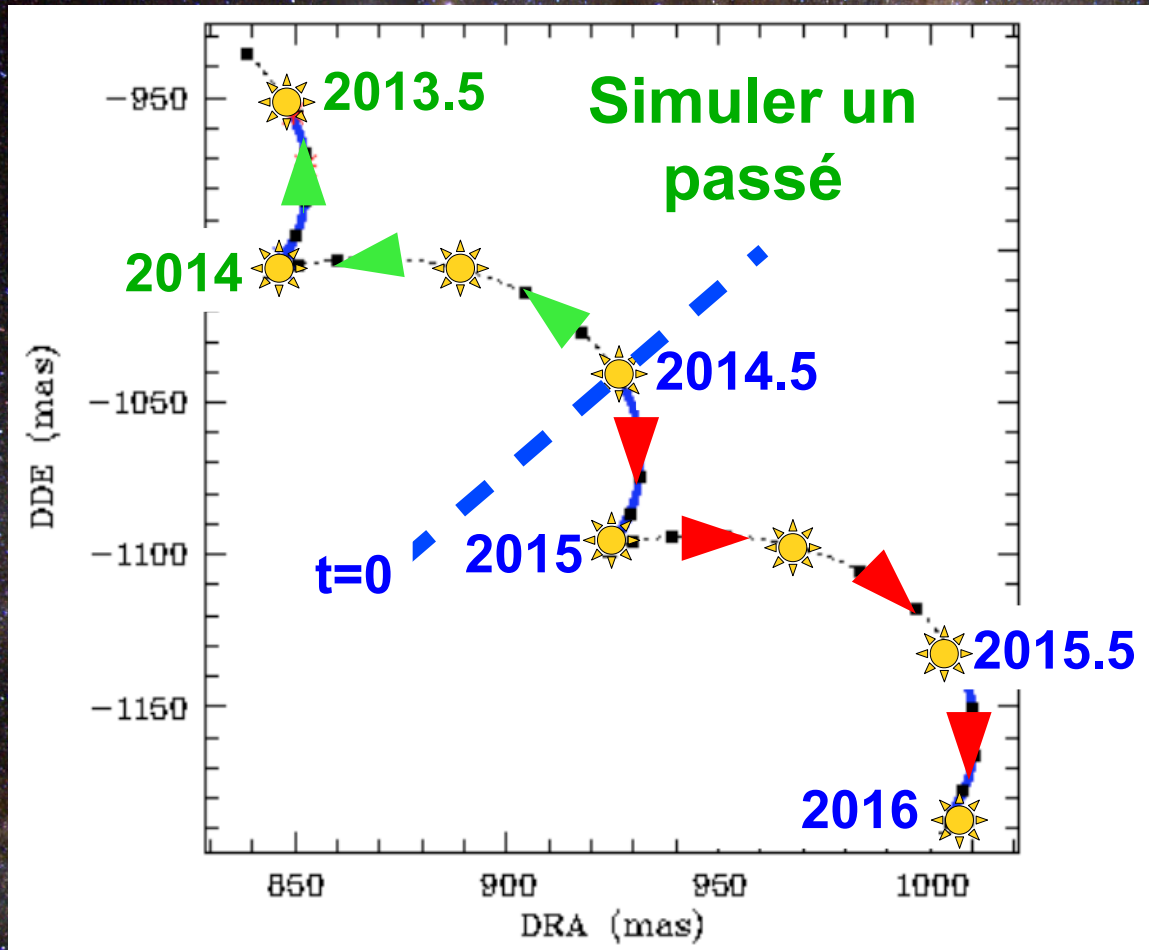






# Archéologie Galactique: Historique de formation de la Voie Lactée

(Be kind, rewind)

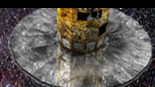
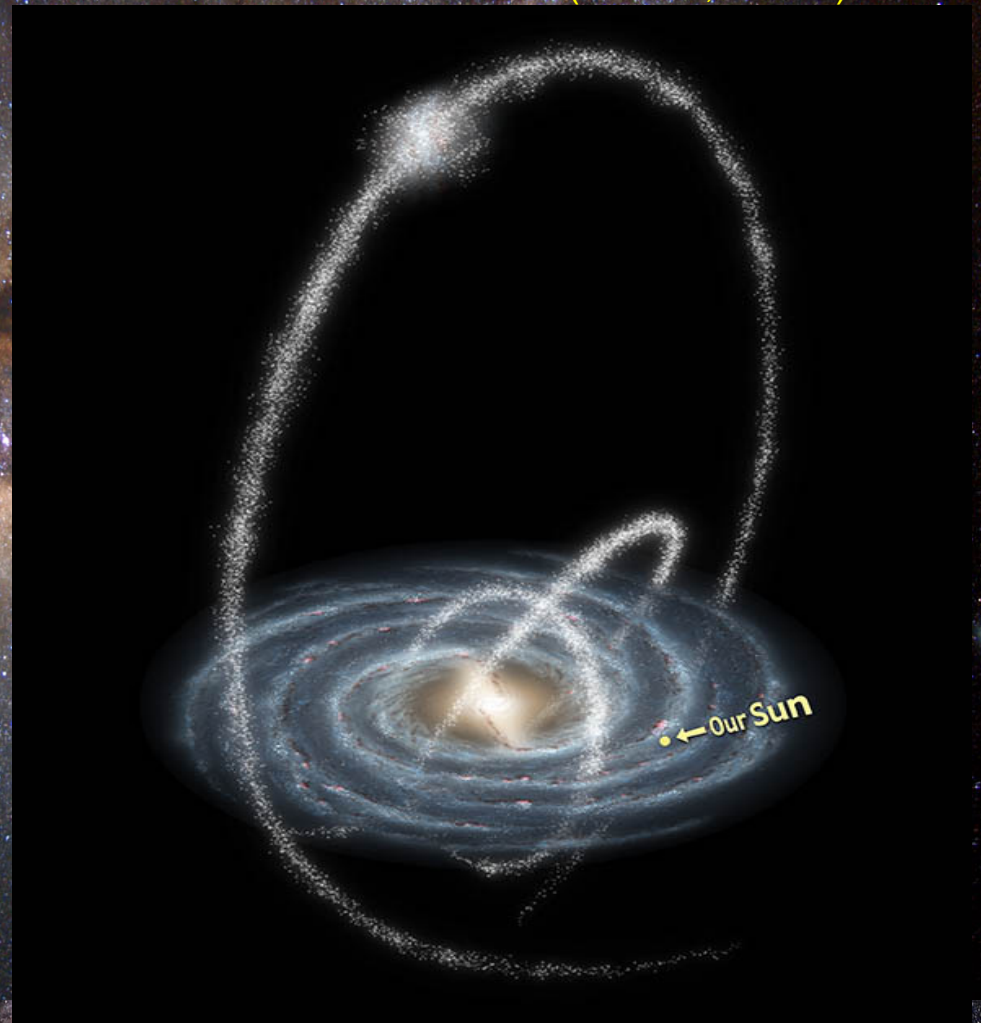




# Archéologie Galactique: Formation et évolution de la Voie Lactée

(Be kind, rewind)

- Remonter le temps  
(modélisation numérique)
- Identifier les interactions gravitationnelles du passé
- Identifier les progéniteurs





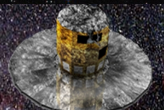
# Evolution future de la Voie Lactée et du Groupe Local

(Be kind, forward)

La galaxie d'Andromède (M31)



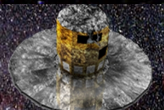
Laurent Chemin





- M31 et M33 s'approchent de la Voie Lactée
- M31: 100 km/s  
~400 000 km/h

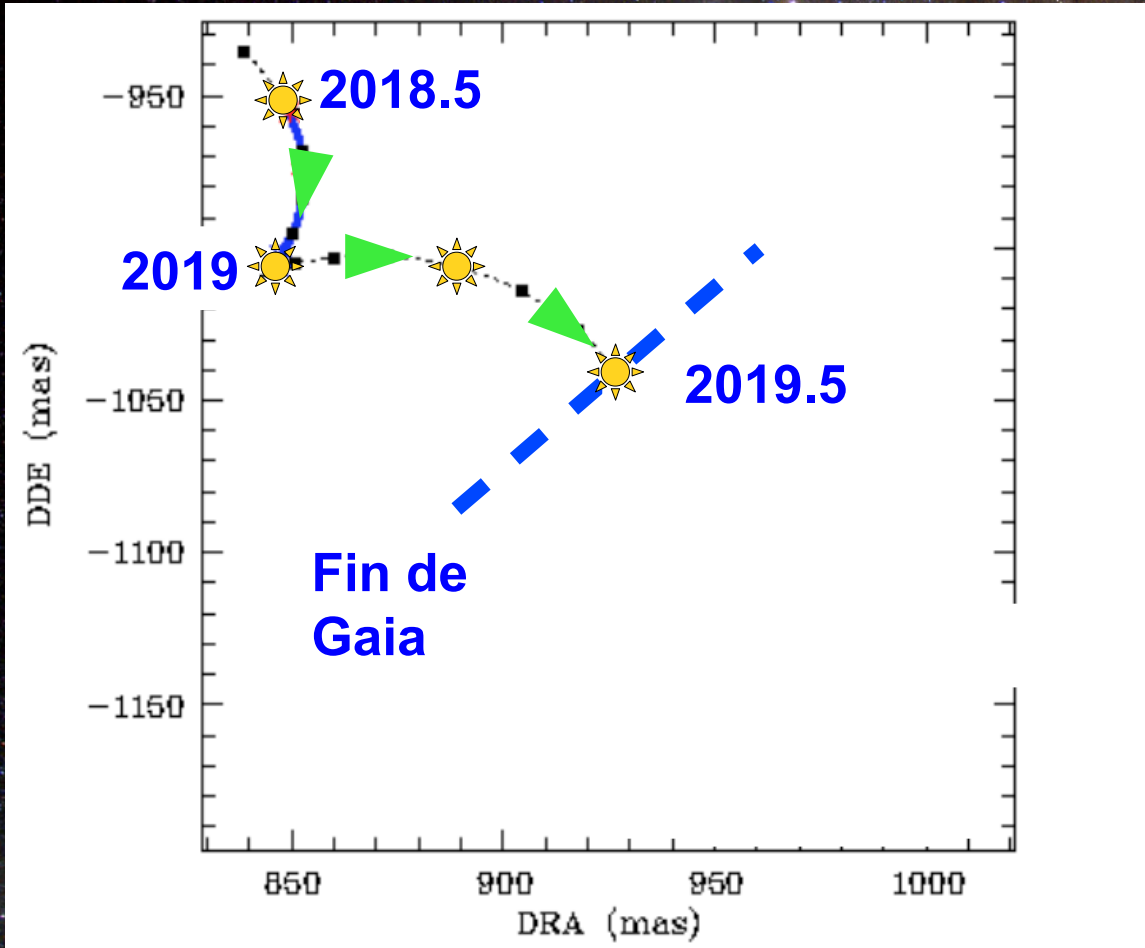
## La galaxie du Triangle (M33)



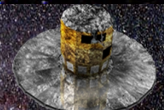


# Archéologie Galactique: Historique de formation de la Voie Lactée

(Be kind, forward)



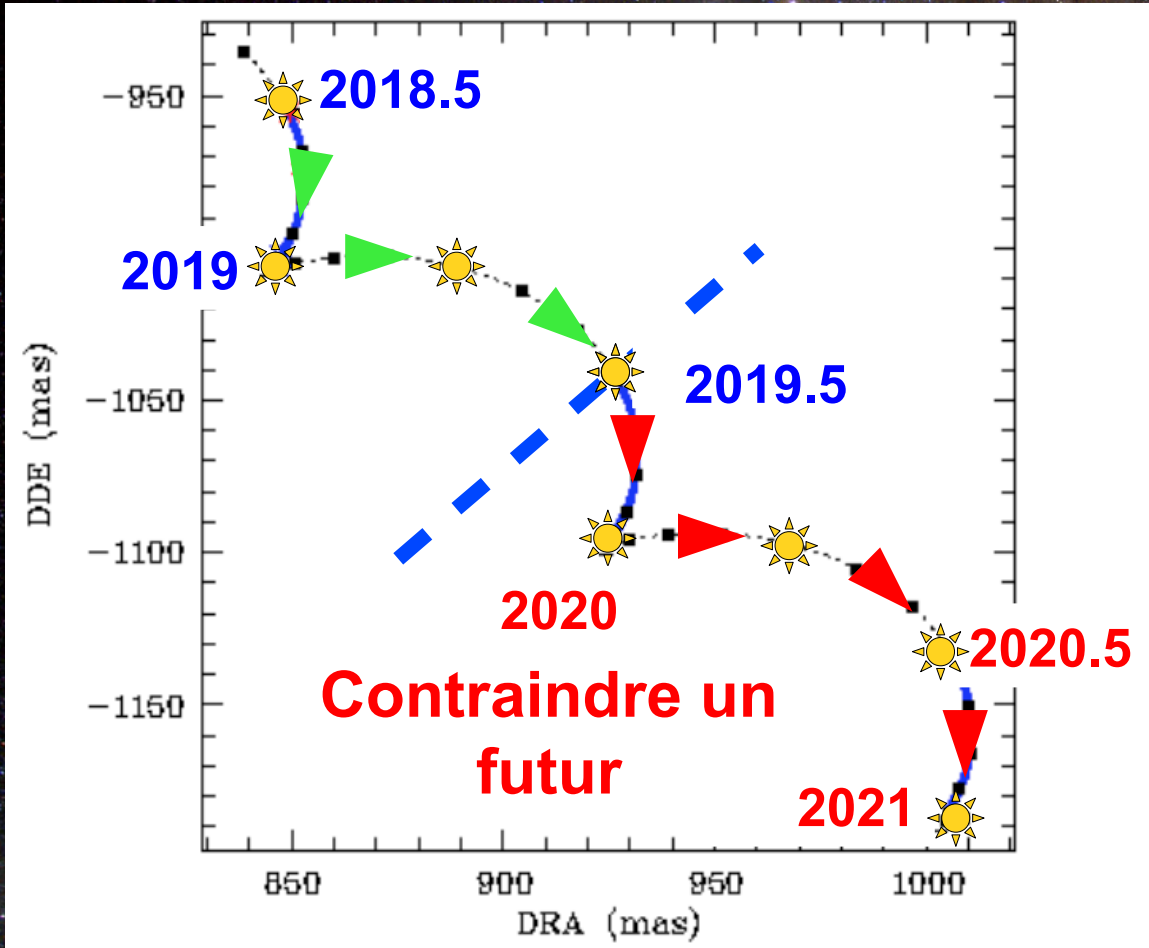
- Gaia: contraindre les orbites et mesurer les vitesses d'approche



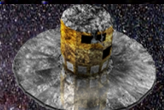


# Archéologie Galactique: Historique de formation de la Voie Lactée

(Be kind, forward)



- Modélisation numérique
  - Collision ?
  - Fusion ?
  - Quand ?
  - Destin du Système Solaire ?





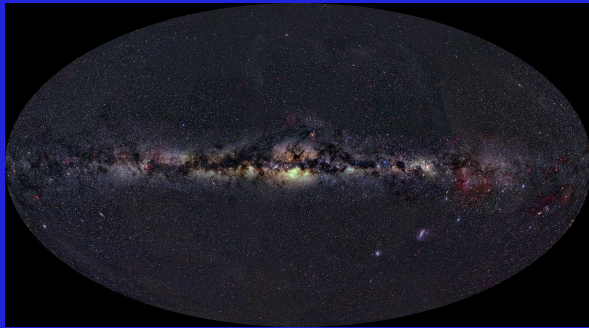
# Modélisation numérique de l'interaction entre la Galaxie et la galaxie d'Andromède





# Evolution future de la Voie Lactée et du Groupe Local

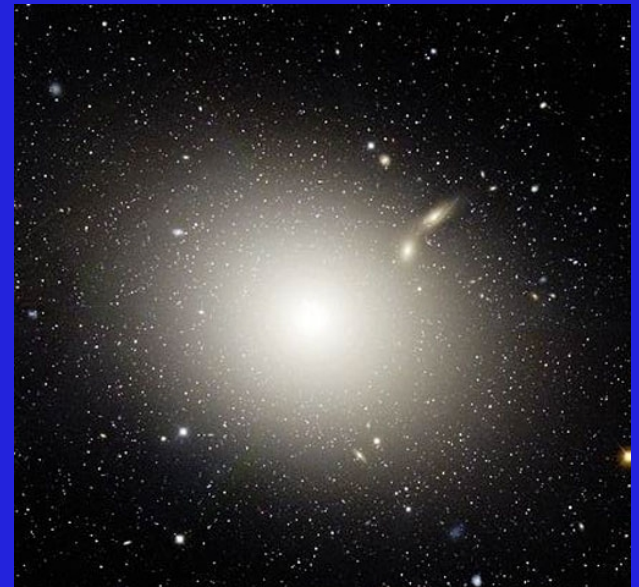
(Be kind, forward)



+



=







# Evolution future de la Voie Lactée et du Groupe Local

(Be kind, forward)

## Destin de la galaxie du Triangle

Il y a :

- 9% de probabilité que M33 fusionne avec M31 avant que M31 ne fusionne avec la Voie Lactée
- 7% de probabilité que M33 soit éjectée du Groupe Local





# Evolution future de la Voie Lactée et du Groupe Local

(Be kind, forward)

## Destin de la galaxie du Triangle

Il y a :

- 9% de probabilité que M33 fusionne avec M31 avant que M31 ne fusionne avec la Voie Lactée
- 7% de probabilité que M33 soit éjectée du Groupe Local

## Et du destin du Système Solaire

Il y a :

- 85% de probabilité que le Soleil termine à plus grande distance du centre Galactique que sa position actuelle (25000 a.-l.)
- 10% de probabilité que le Soleil termine à plus de 175 000 a.-l.
- 20% de probabilité que le Soleil traverse M33 dans les 10 prochaines milliards années !!





# Evolution future de la Voie Lactée et du Groupe Local



(Be kind, forward)



Laurent Chemin





# Evolution future de la Voie Lactée et du Groupe Local

(Be kind, forward)

Réponses dans ~10-20 ans...



Laurent Chemin

