

**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**

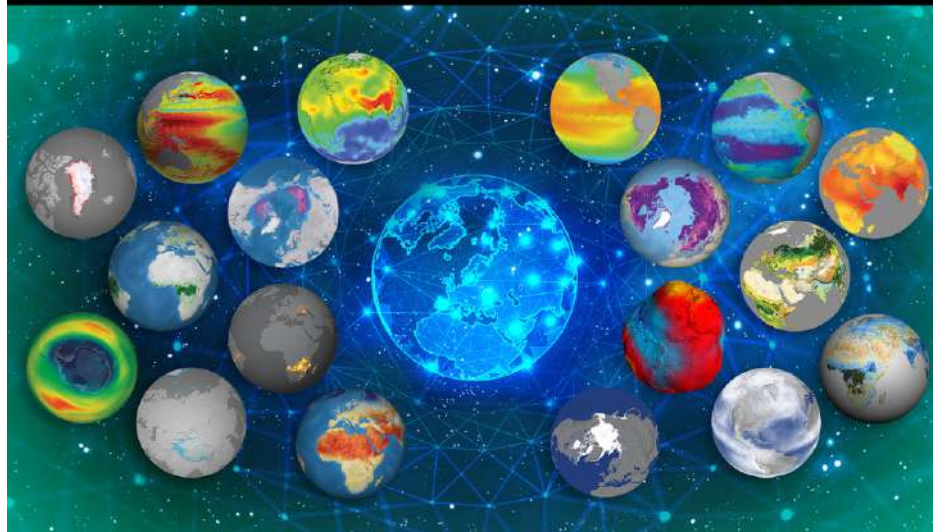


UNIVERSITÉ
DE GENÈVE

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

Archéologie galactique avec la mission Gaia

Laurent Eyer



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE

Les grandes missions spatiales pour l'Astrophysique

Mardi, 11 octobre 2022





Herculaneum (Italie)

La structure de l'exposé

Introduction

Rappel

avec quelques éléments nouveaux

La structure de notre Galaxie et sa formation,
le diagramme fondamental de Hertzsprung-Russell

Le grand nuage de Magellan

Comprendre l'évolution stellaire

Les amas avec une démonstration (amas des Pleiades)

Diagramme de Hertzsprung Russell et composition chimique du halo

Les étoiles RR Lyrae comme traceur du halo

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 millions 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

Gaia est un recensement des étoiles

Astrométrie

Positions

mouvements

parallaxes

Photométrie

Eclats / couleurs

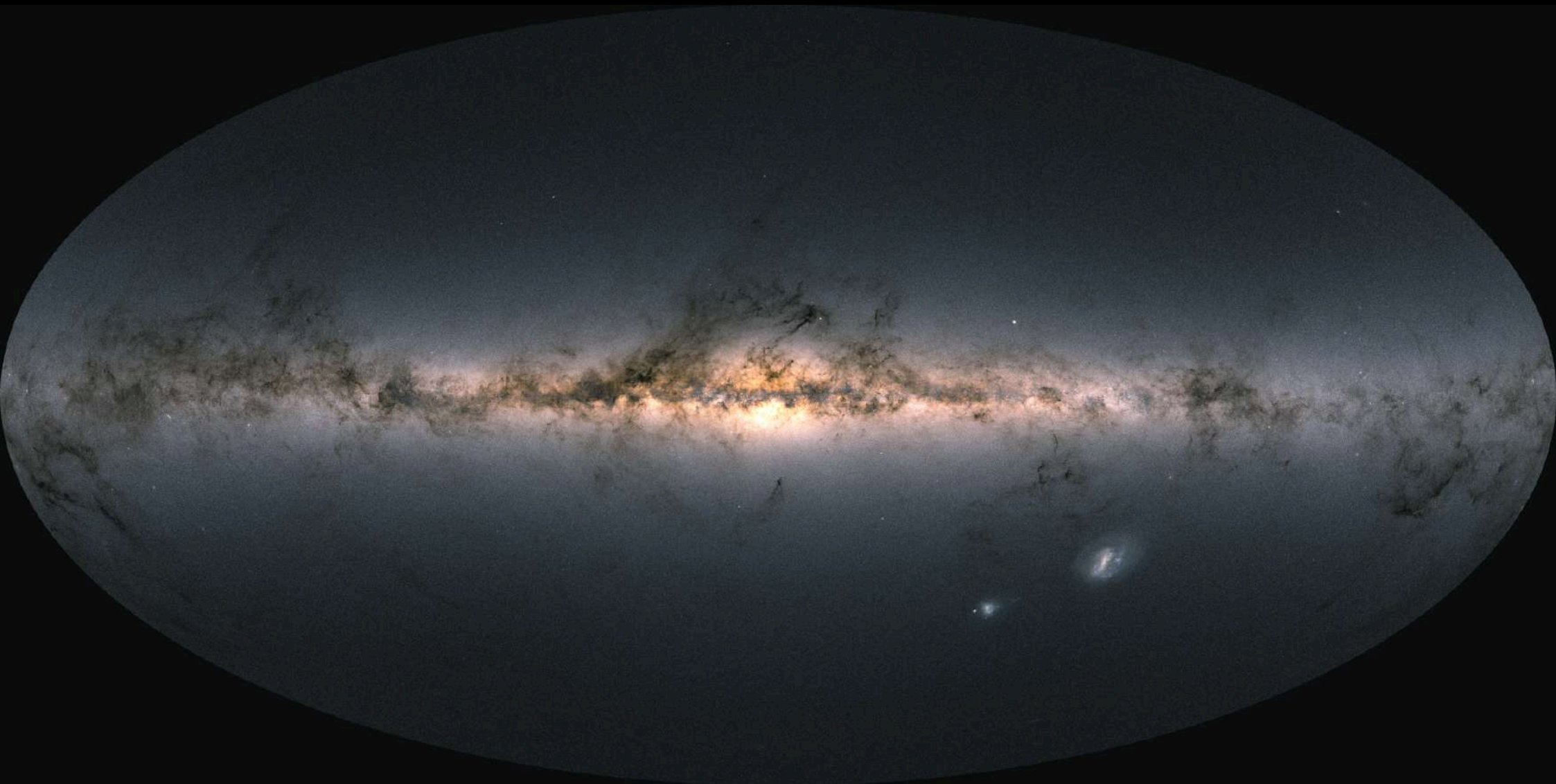
paramètres astrophysiques

Spectroscopie

Spectres / vitesse radiale

paramètres astrophysiques





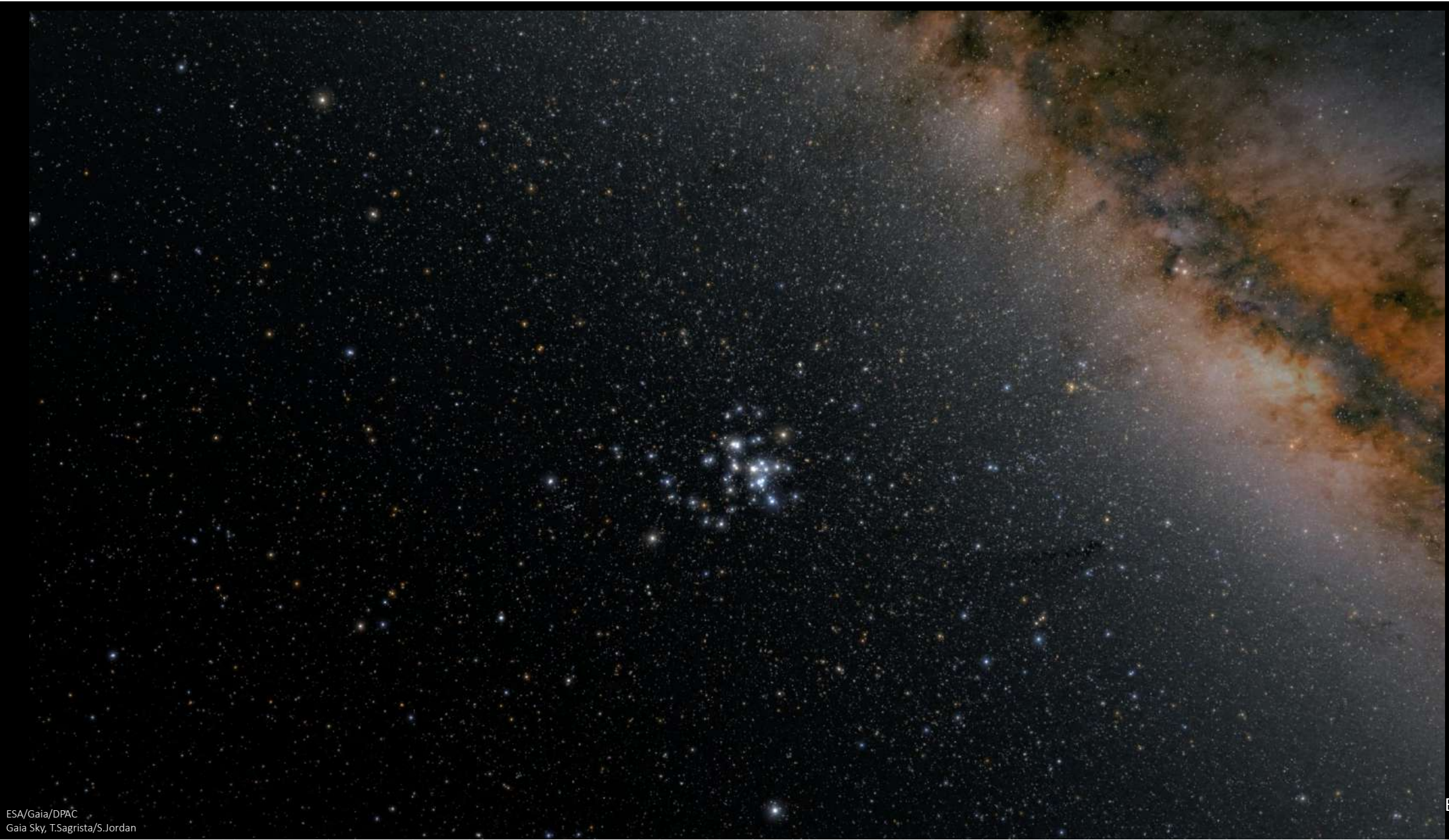


Image d'artiste de notre Galaxie, la Voie lactée, vue de face

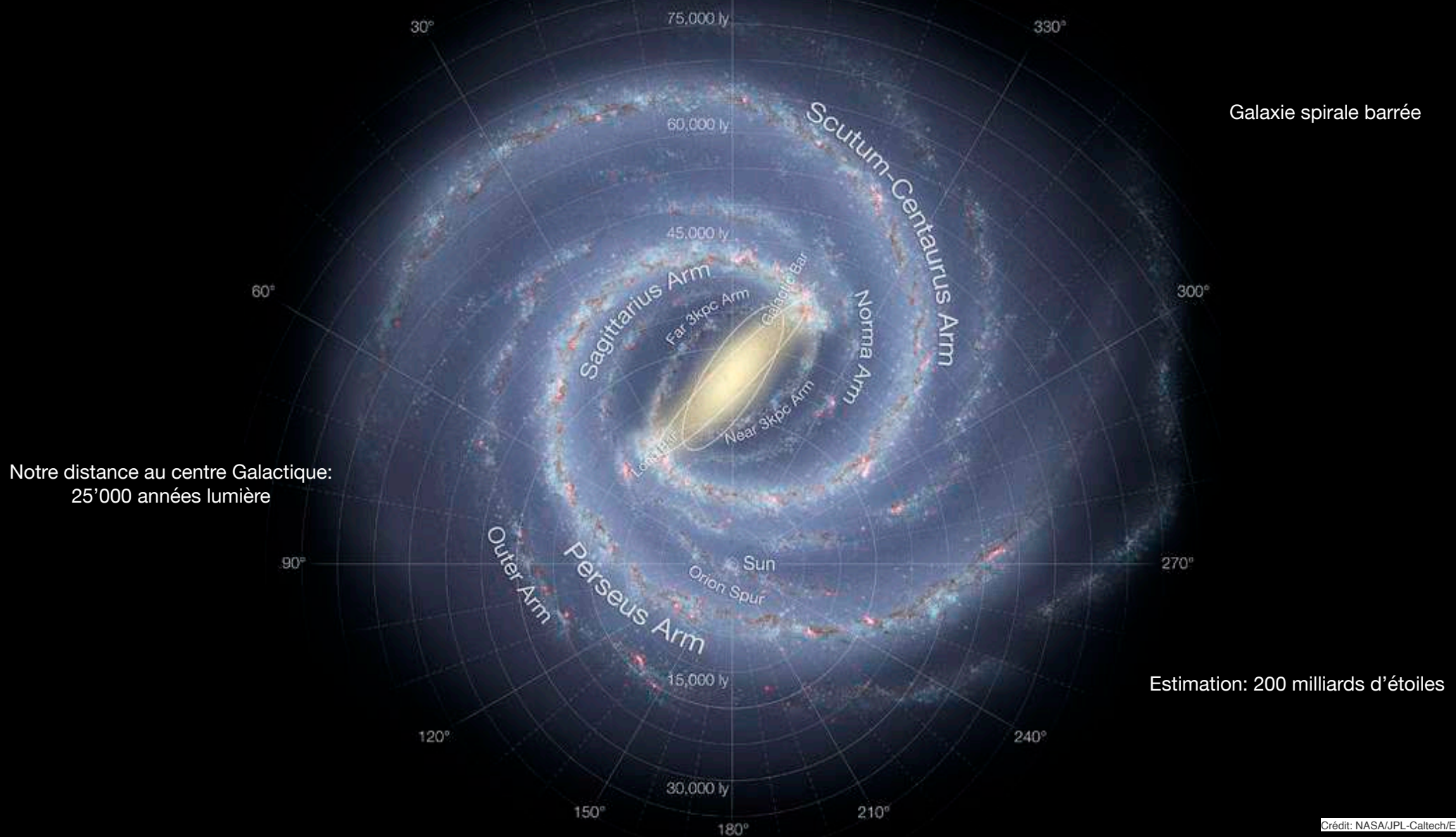
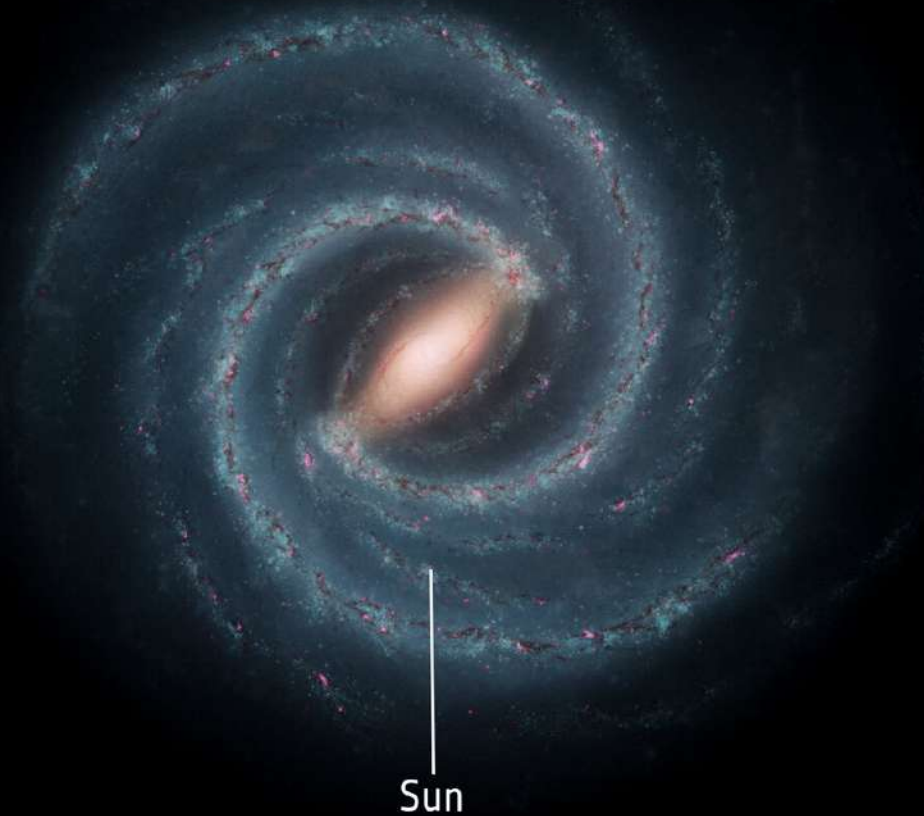
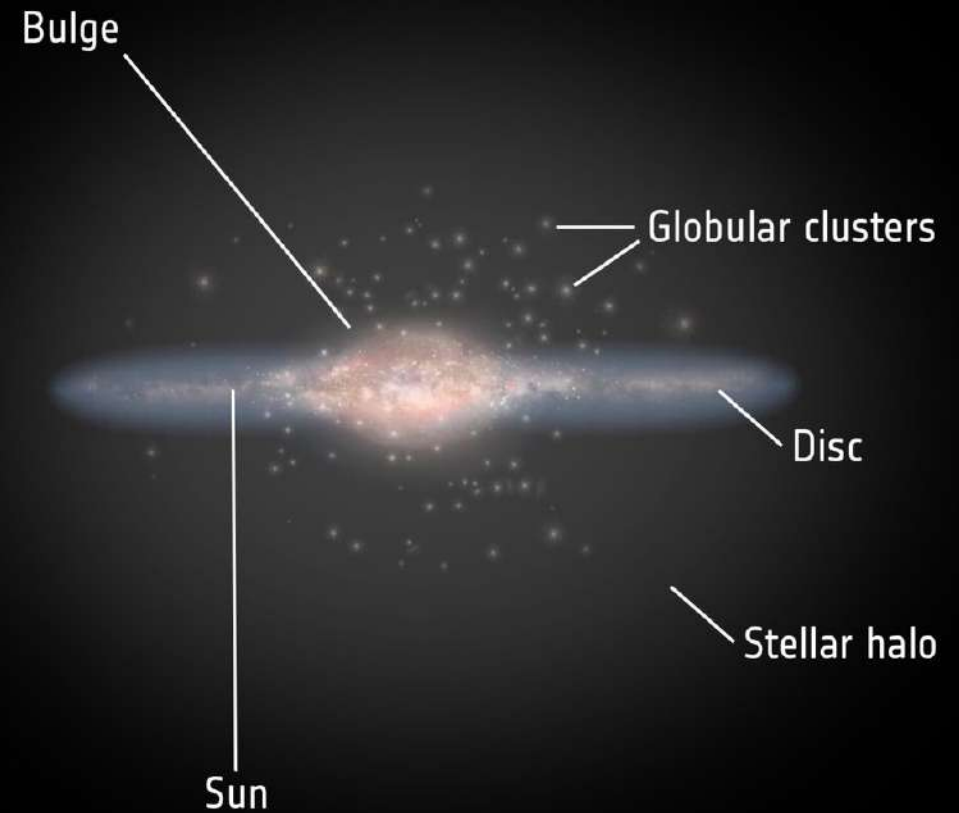


Image d'artiste de notre Galaxie, la Voie lactée, vue de face et de profil

→ ANATOMY OF THE MILKY WAY

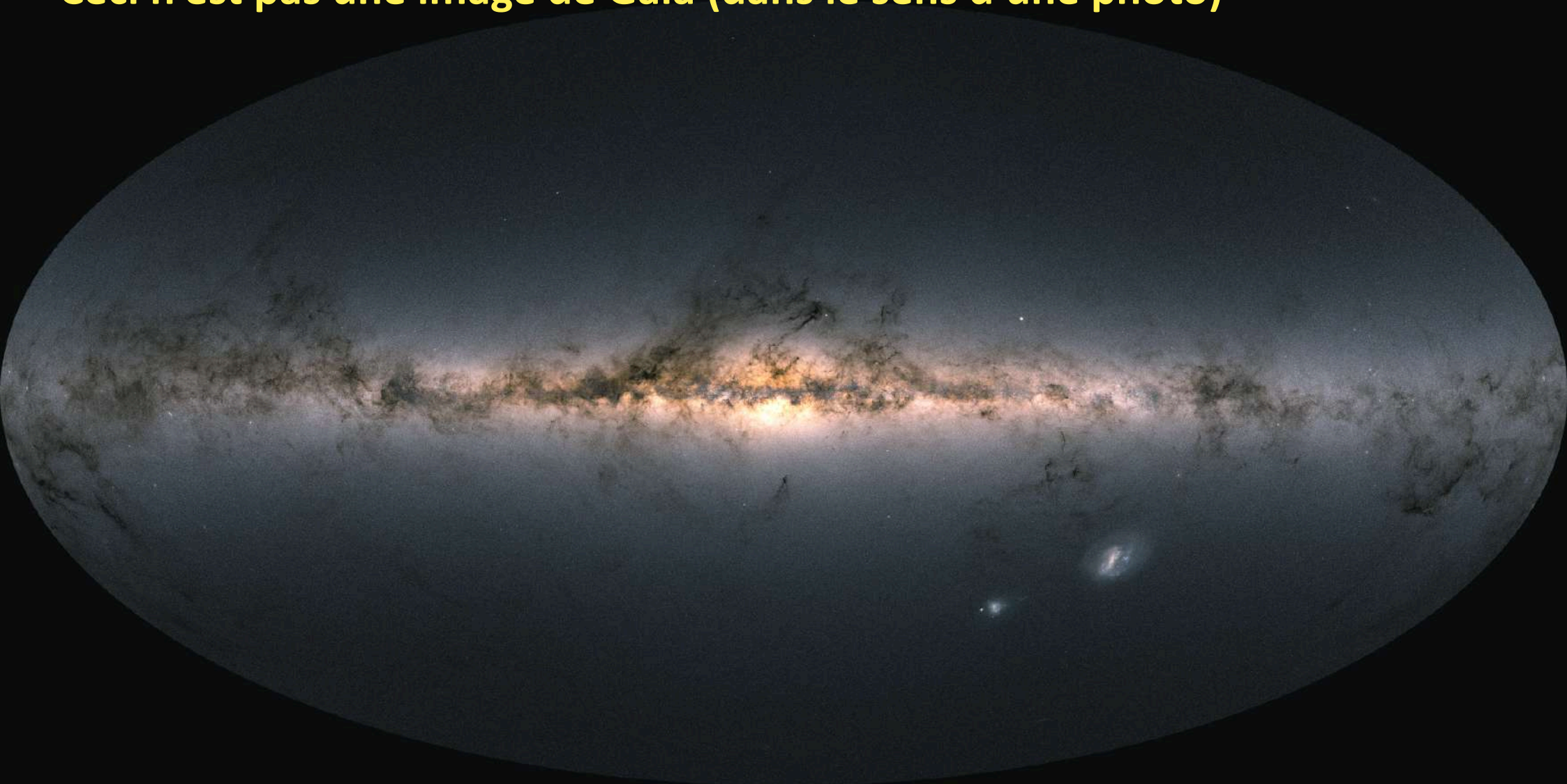


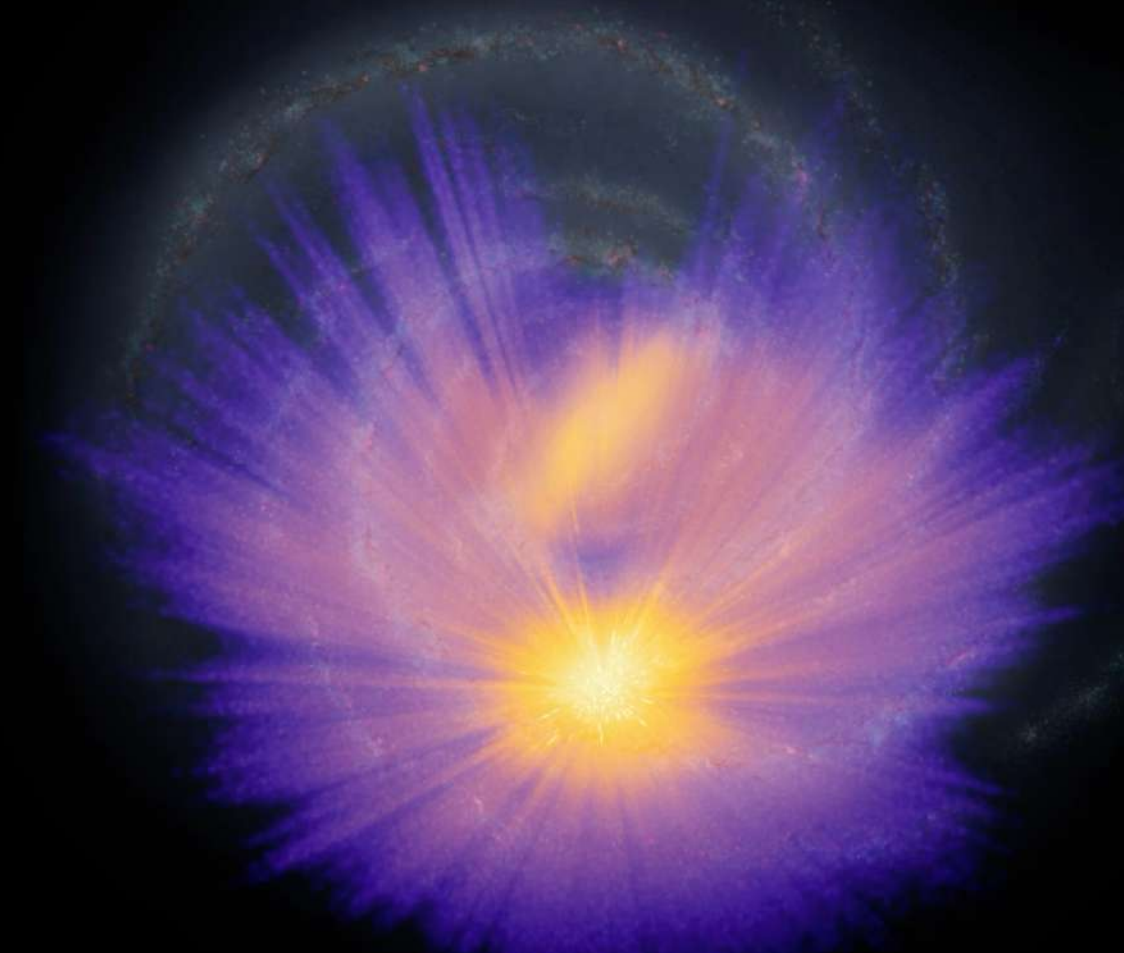
www.esa.int



European Space Agency

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



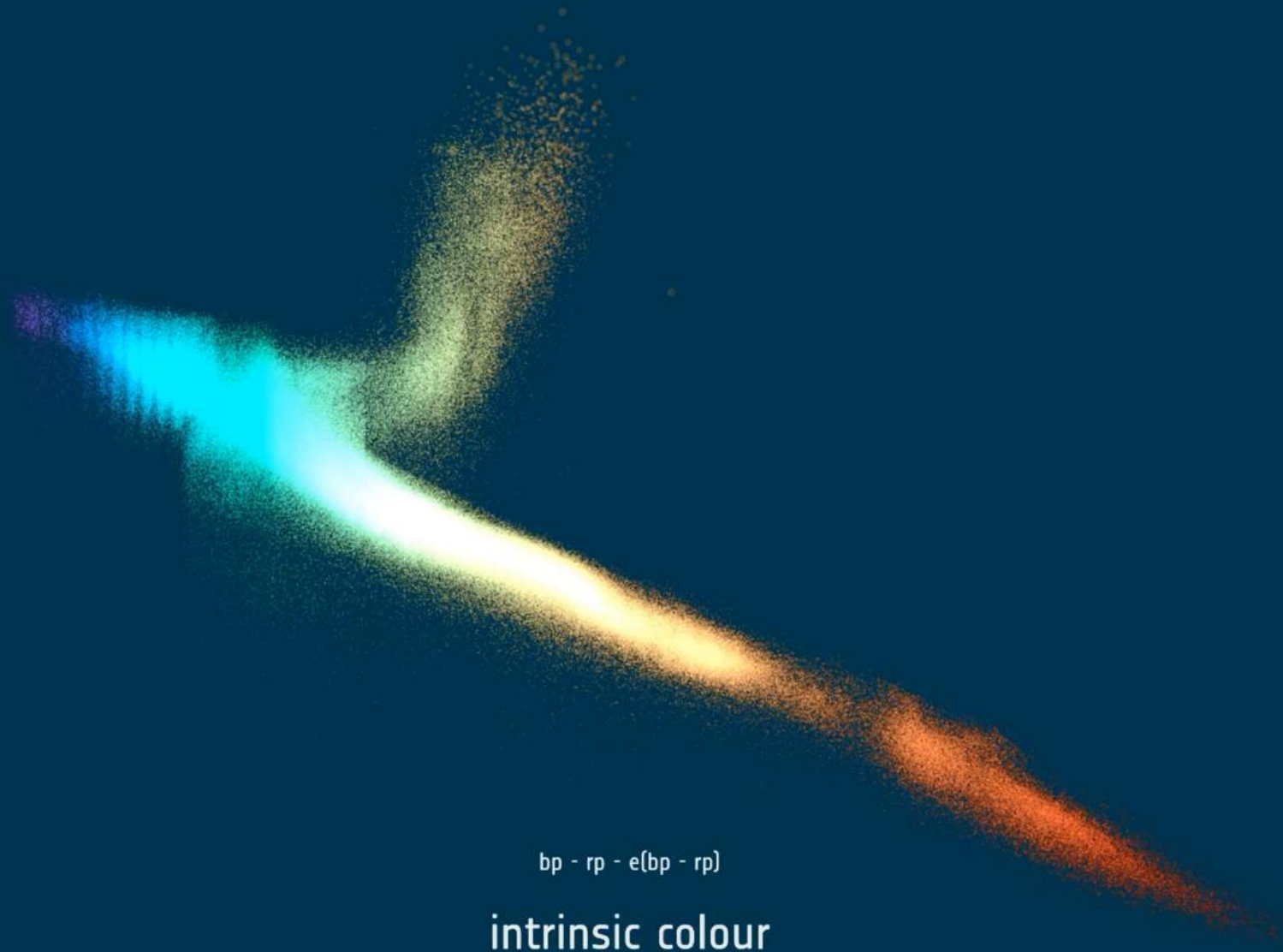


Leibniz Institute for
Astrophysics Potsdam

movie by A.Khalatyan(AIP,2019)

absolute magnitude

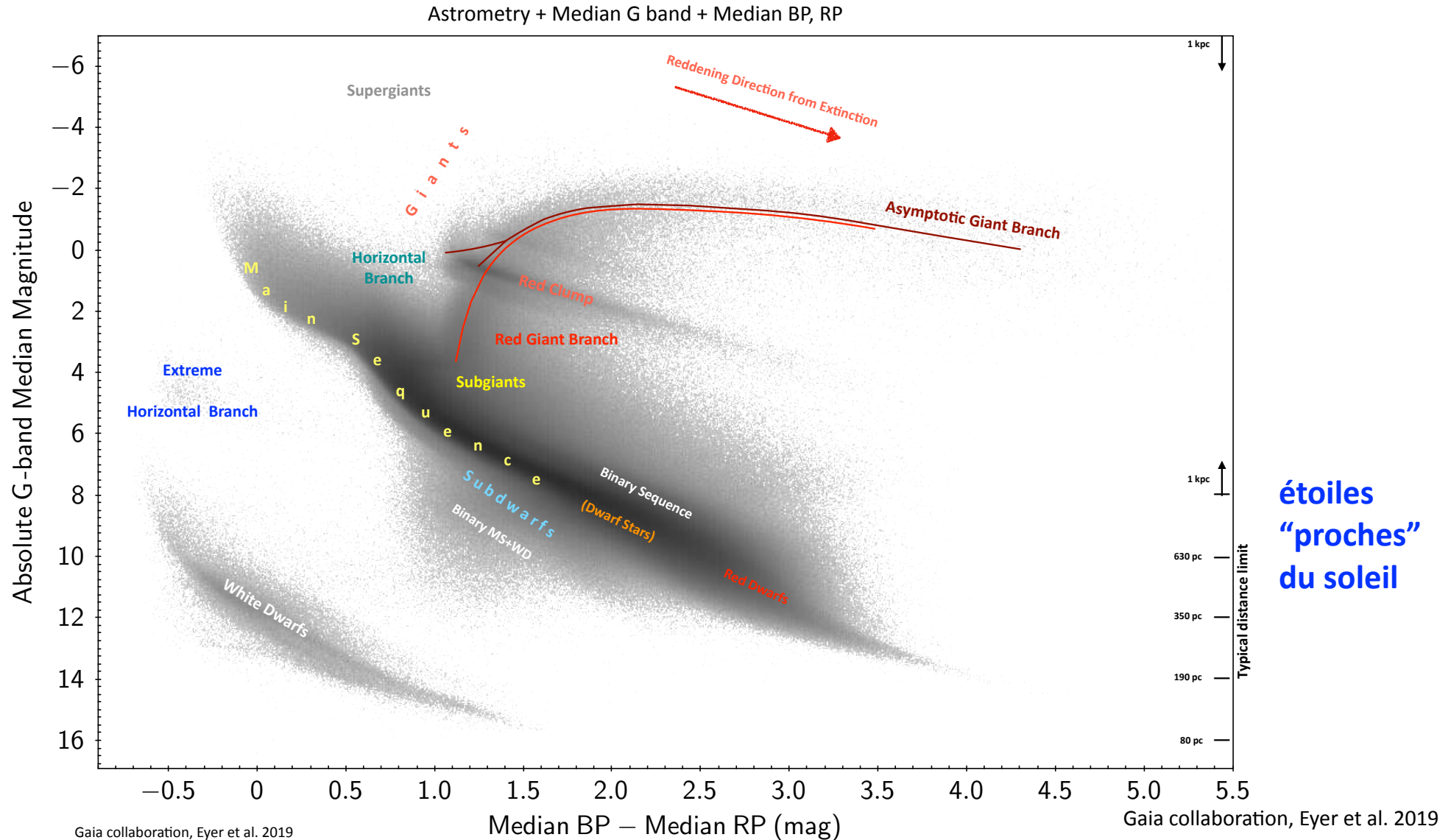
$\text{phot_g_mean_mag} + 5 \log_{10}(\text{parallax}/1000) + 5$



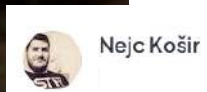
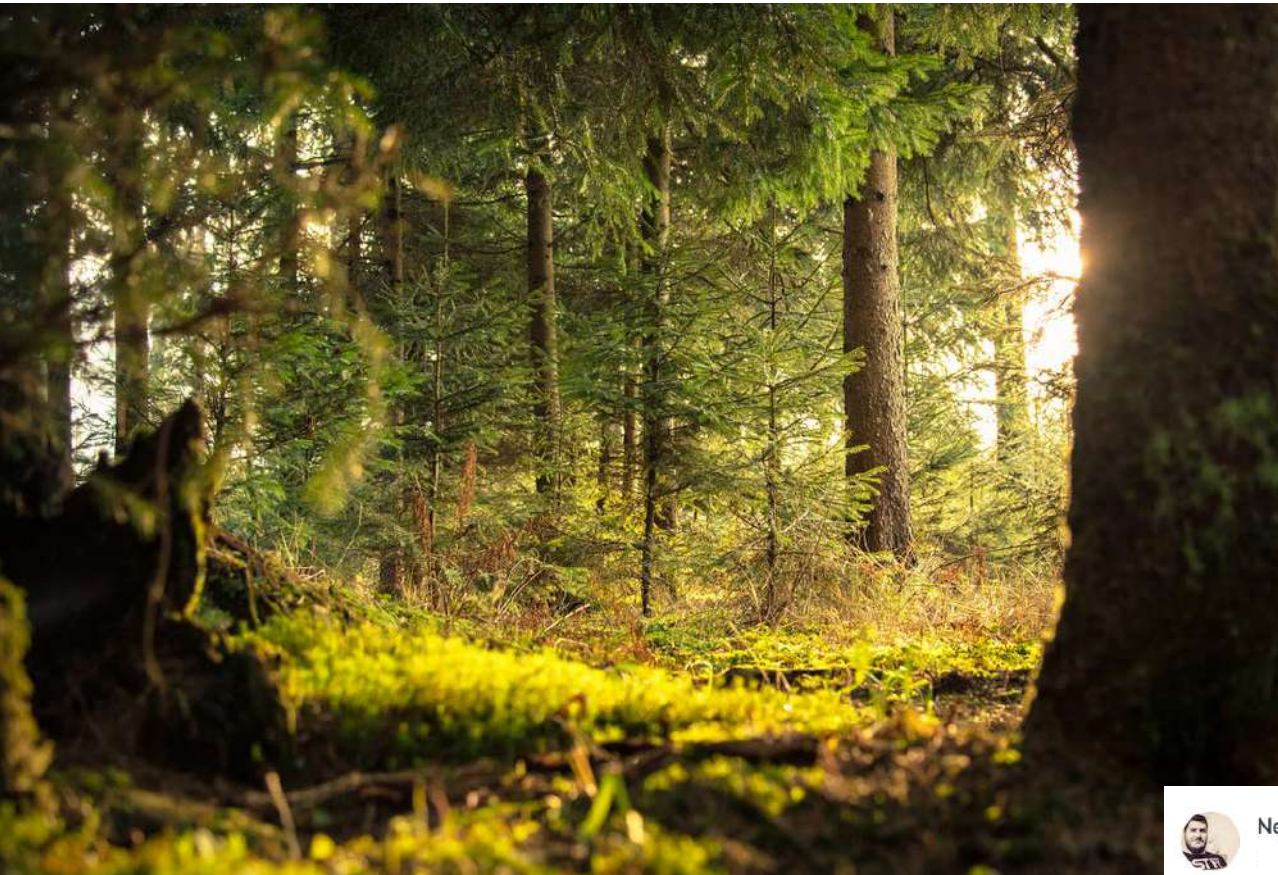
$bp - rp - e(bp - rp)$

intrinsic colour

Le diagramme fondamental pour les étoiles: Diagramme Couleur - magnitude / de Hertzsprung Russell

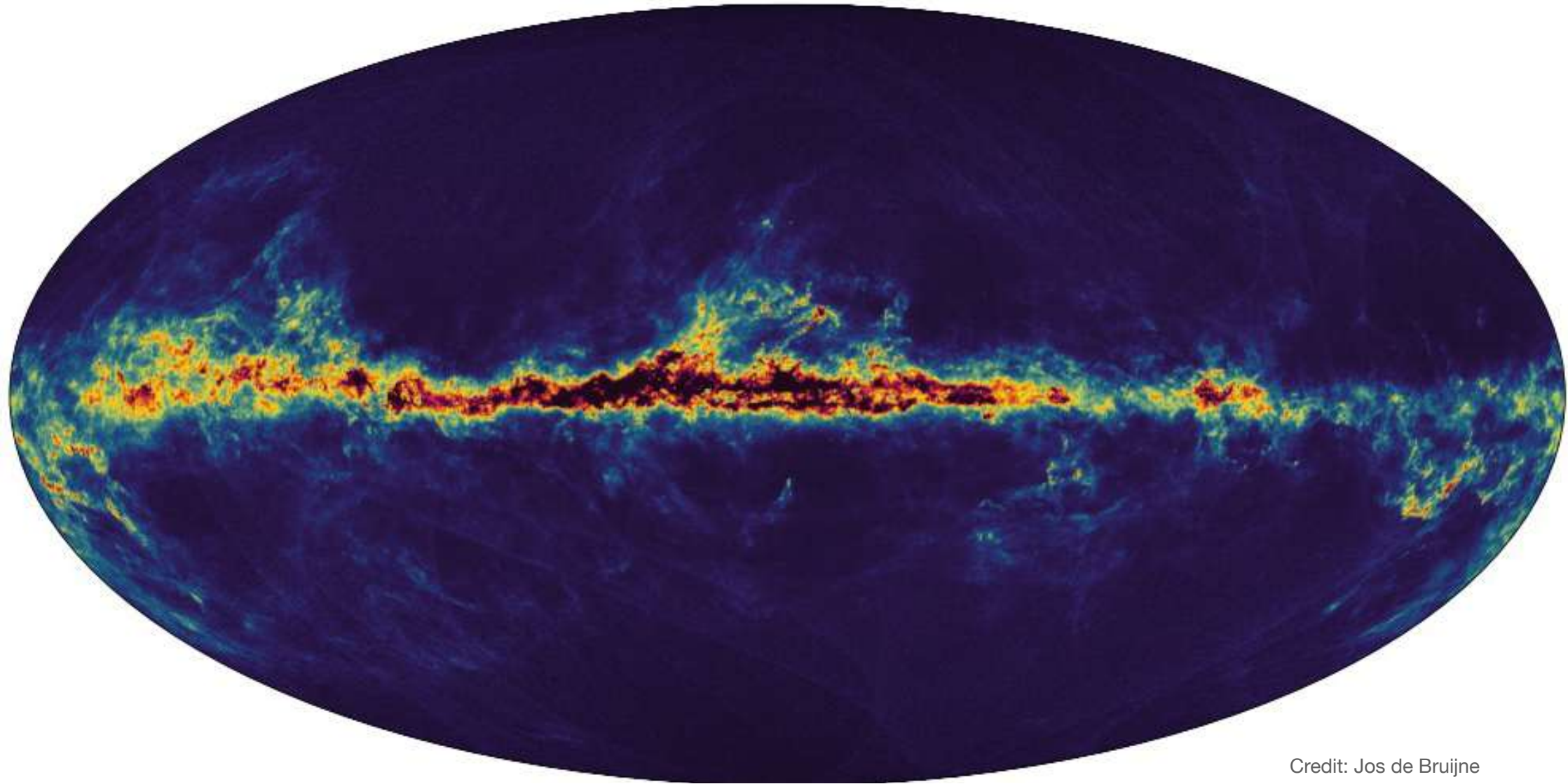


Parallèle avec la foret



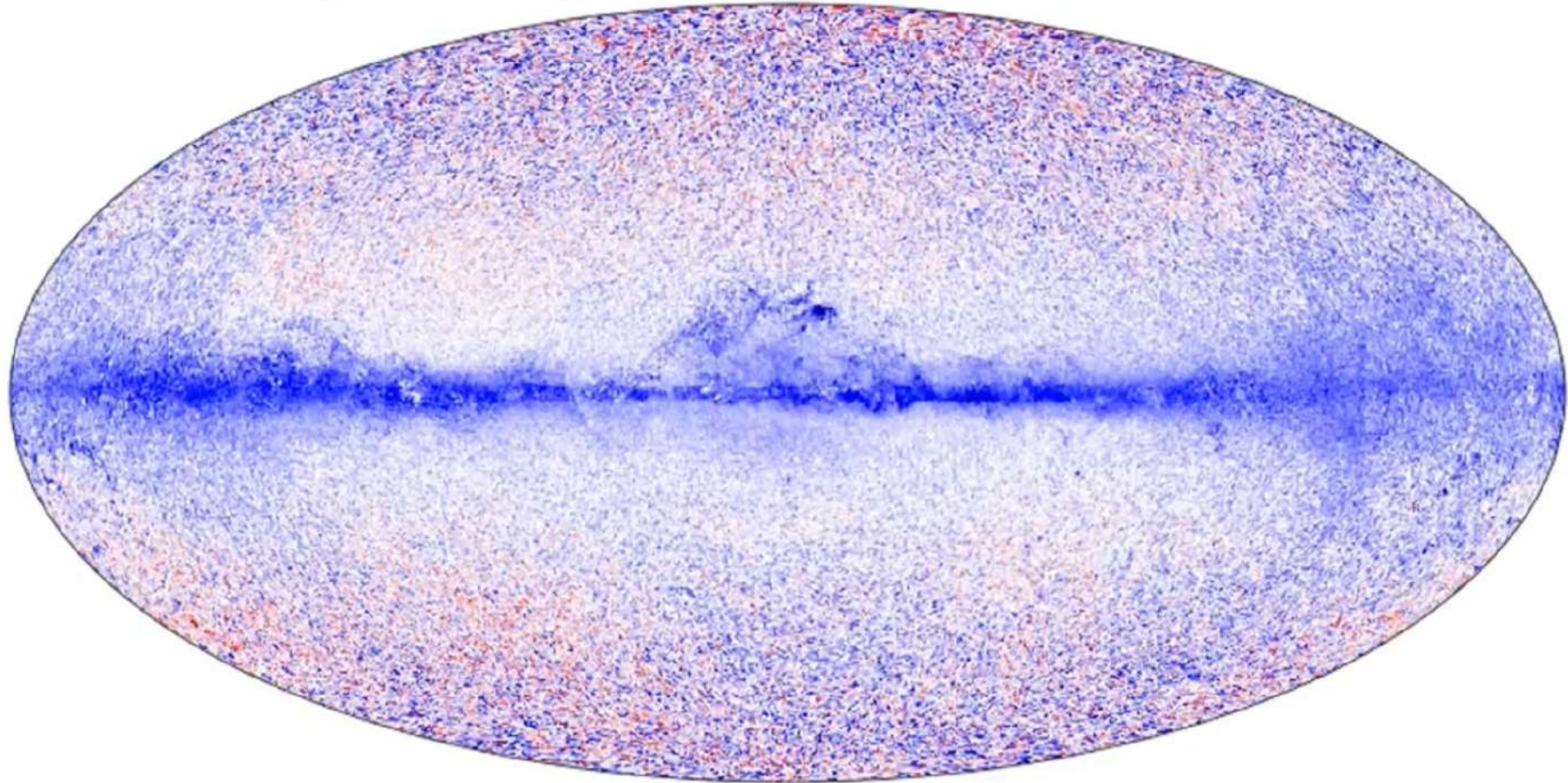
Forêt naturelle, renouvellement continu des arbres

Carte de l'extinction de la matière interstellaire



Credit: Jos de Bruijne

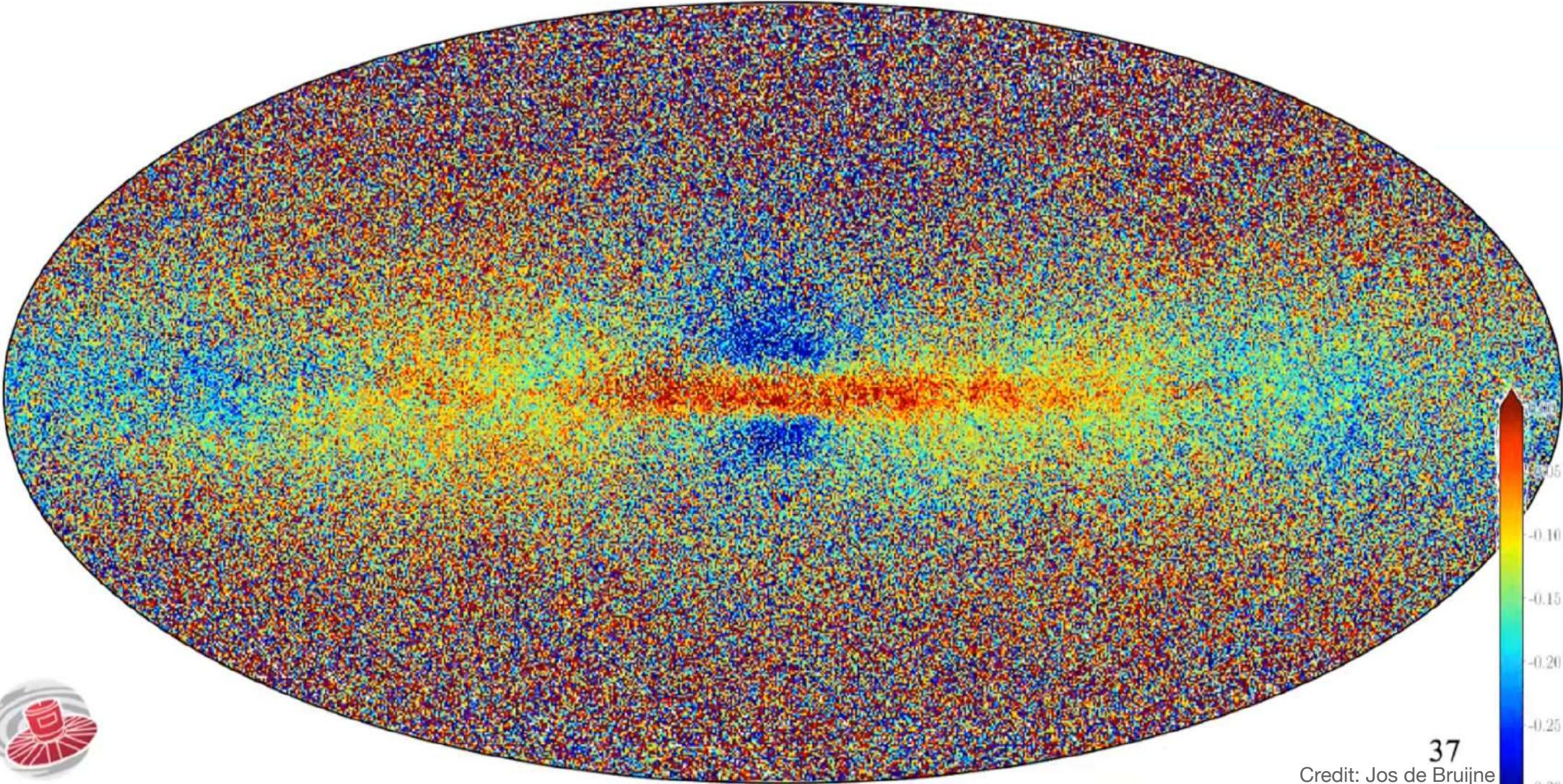
Carte de l'âge des étoiles



Credit: Jos de Bruijne



Carte de la métallicité des étoiles



Résumé

La matière (nuages, poussières) se trouve dans le disque

Les étoiles se forment à partir de ces nuages (les étoiles jeunes sont dans le disque)

Les étoiles rejettent de la matière dans le milieu interstellaire (vents / explosions - Supernovae)

Les étoiles riches en métaux sont dans le disque (plusieurs générations d'étoiles)

Les étoiles en dehors du disque sont vieilles et pauvres en métaux

On parle d'étoiles du "halo"

La structure de l'exposé

Introduction

Rappel

avec quelques éléments nouveaux

La structure de notre Galaxie et sa formation,
le diagramme fondamental de Hertzsprung-Russell

Le grand nuage de Magellan

Comprendre l'évolution stellaire

Les amas avec une démonstration (amas des Pleiades)

Diagramme de Hertzsprung Russell et composition chimique du halo

Les étoiles RR Lyrae comme traceur du halo

Digression sur le Grand Nuage de Magellan



Le Grand Nuage de Magellan

Distance: 160'000 années lumières (50 kpc)

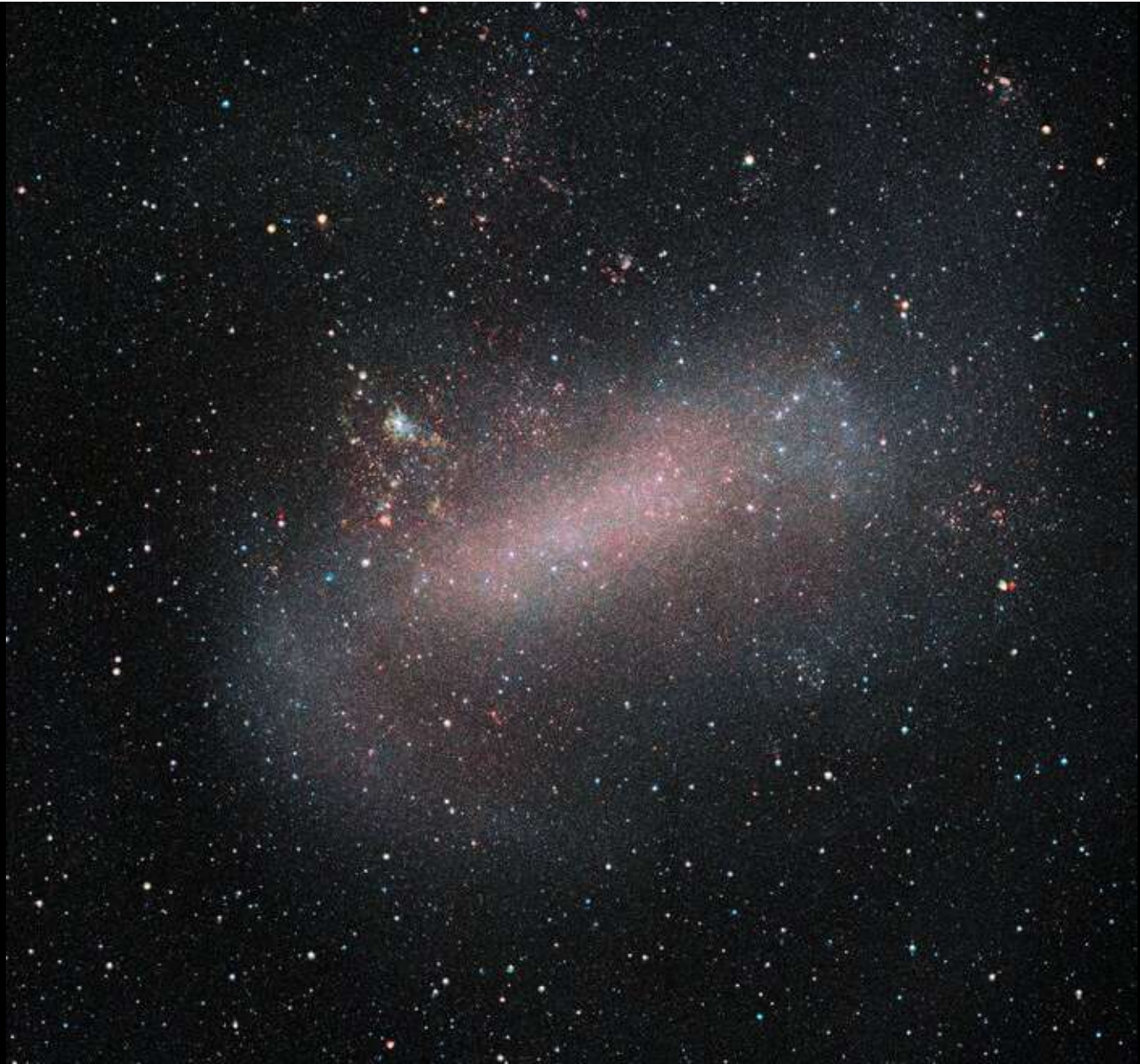
Nombre d'étoiles: 30 milliards

Une galaxie barrée

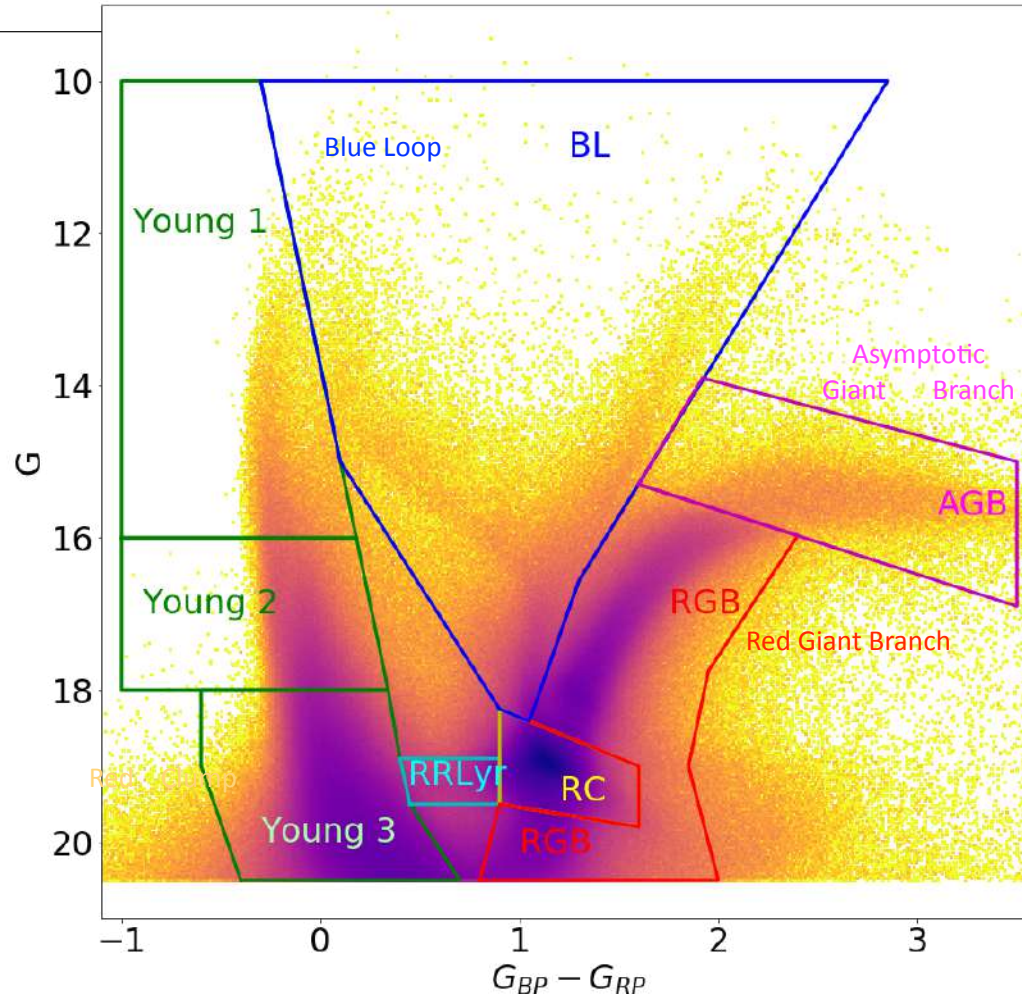
Le reflexe...

Faire un diagramme couleur magnitude

Credit:
ESO/VMC Survey

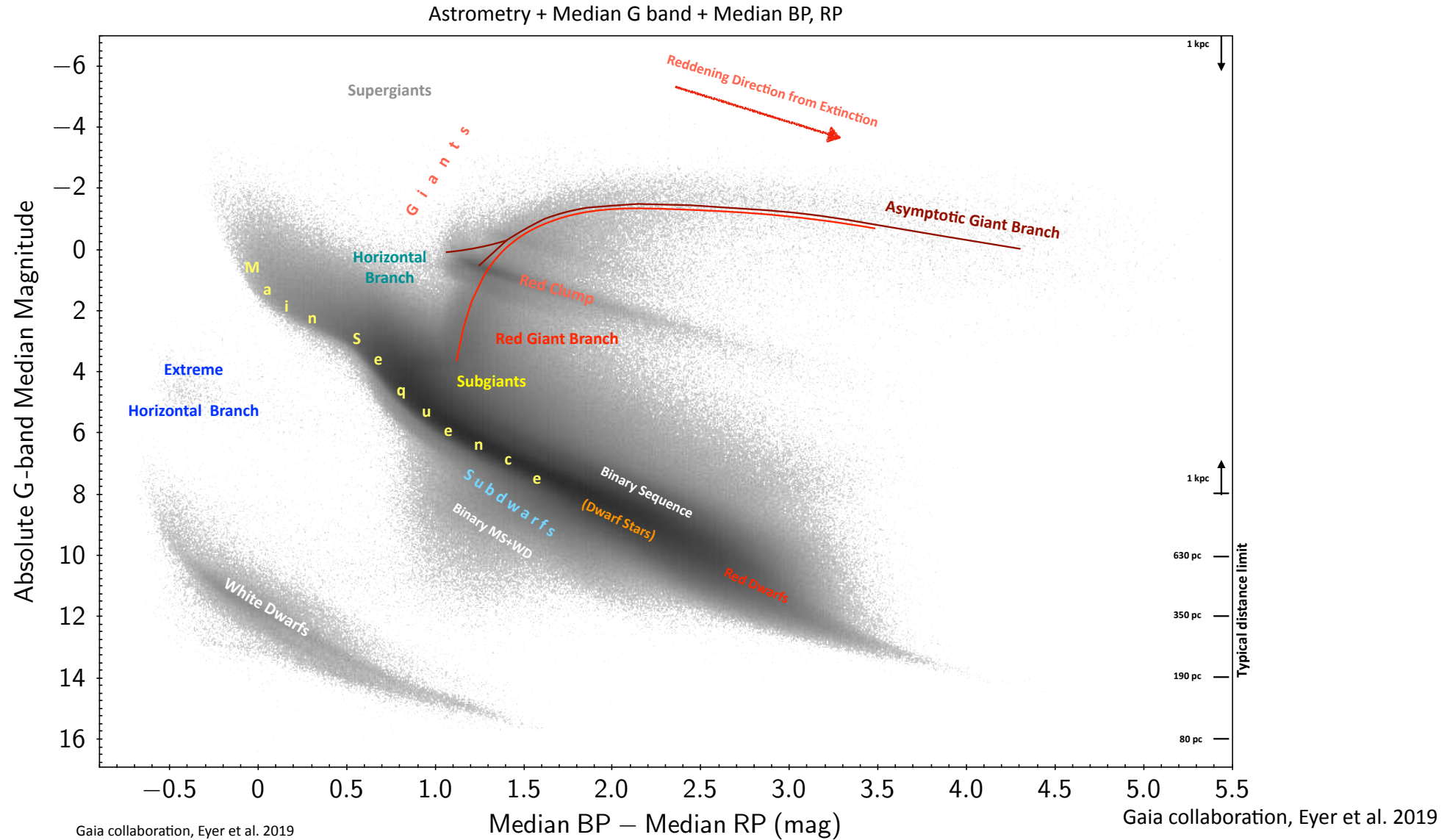


Le diagramme Couleur - Magnitude du Grand Nuage de Magellan

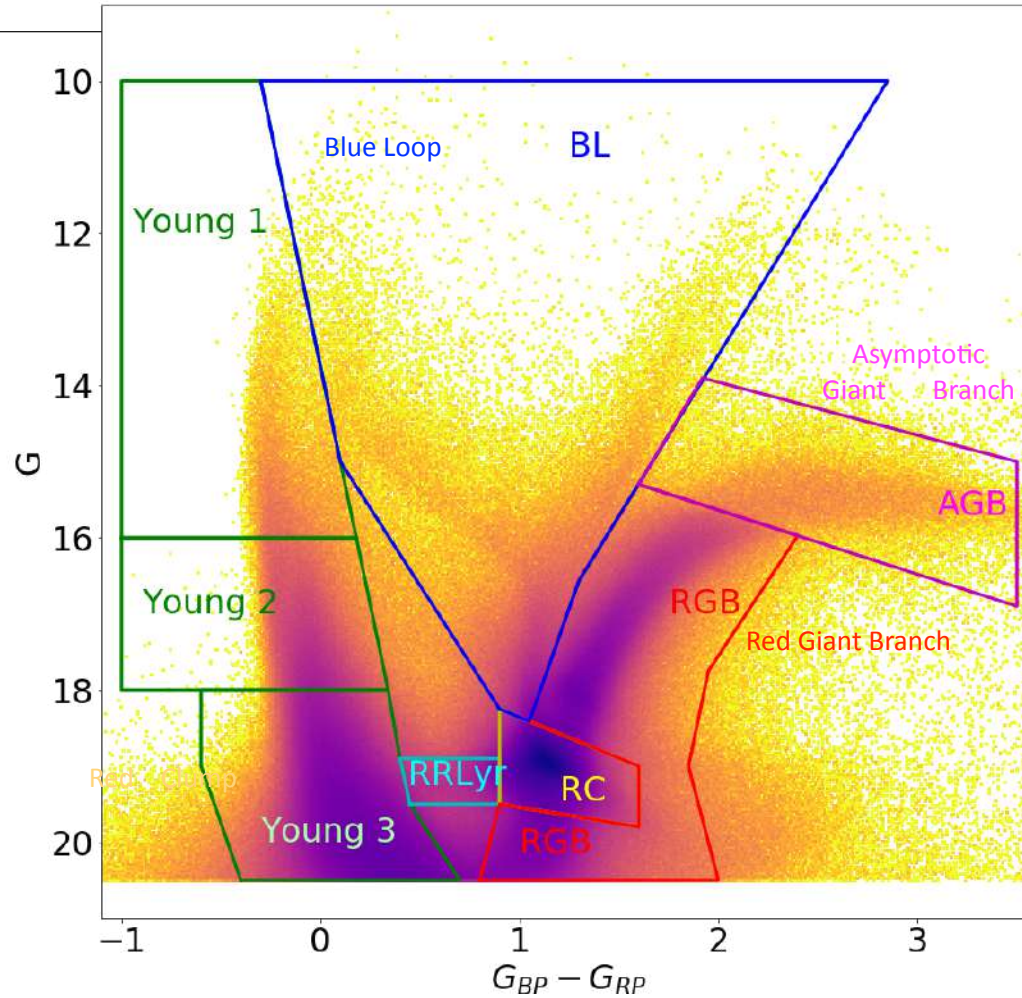


Courtesy of X. Luri

Diagramme Couleur - magnitude (les étoiles “proches” du soleil)

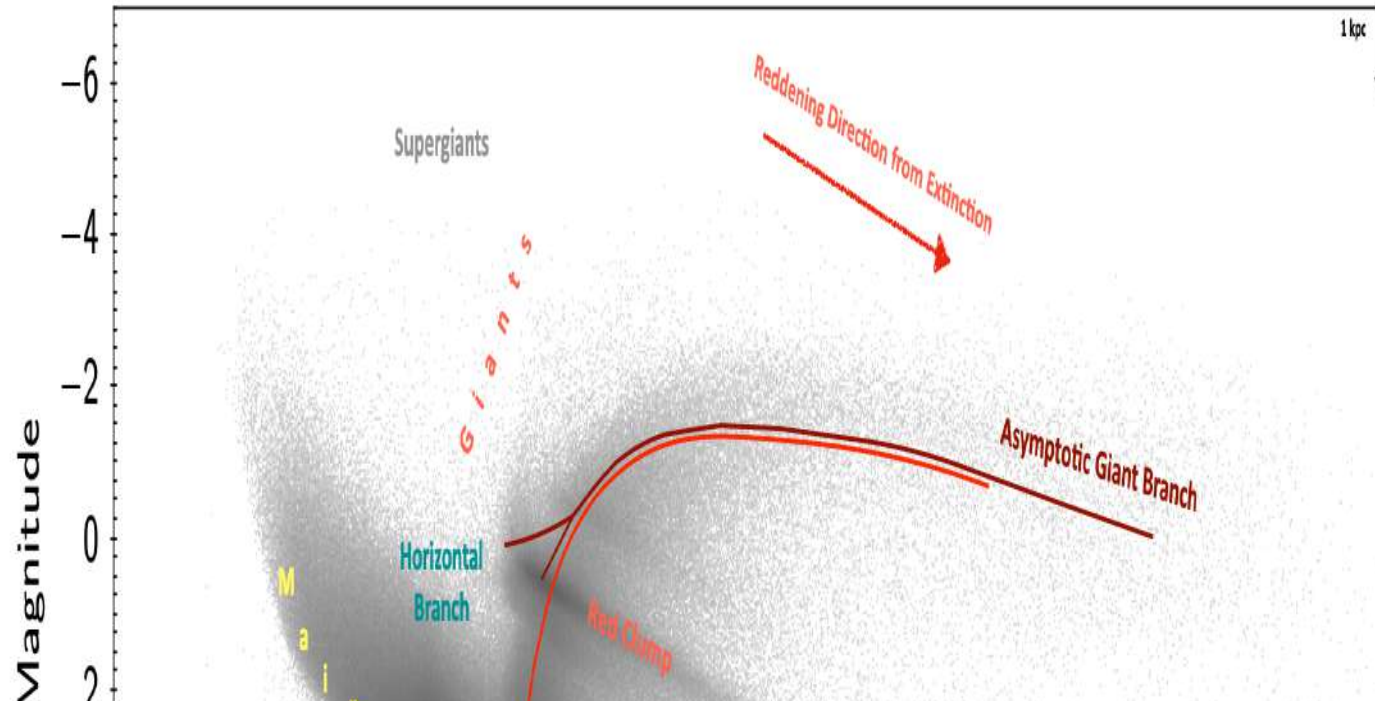


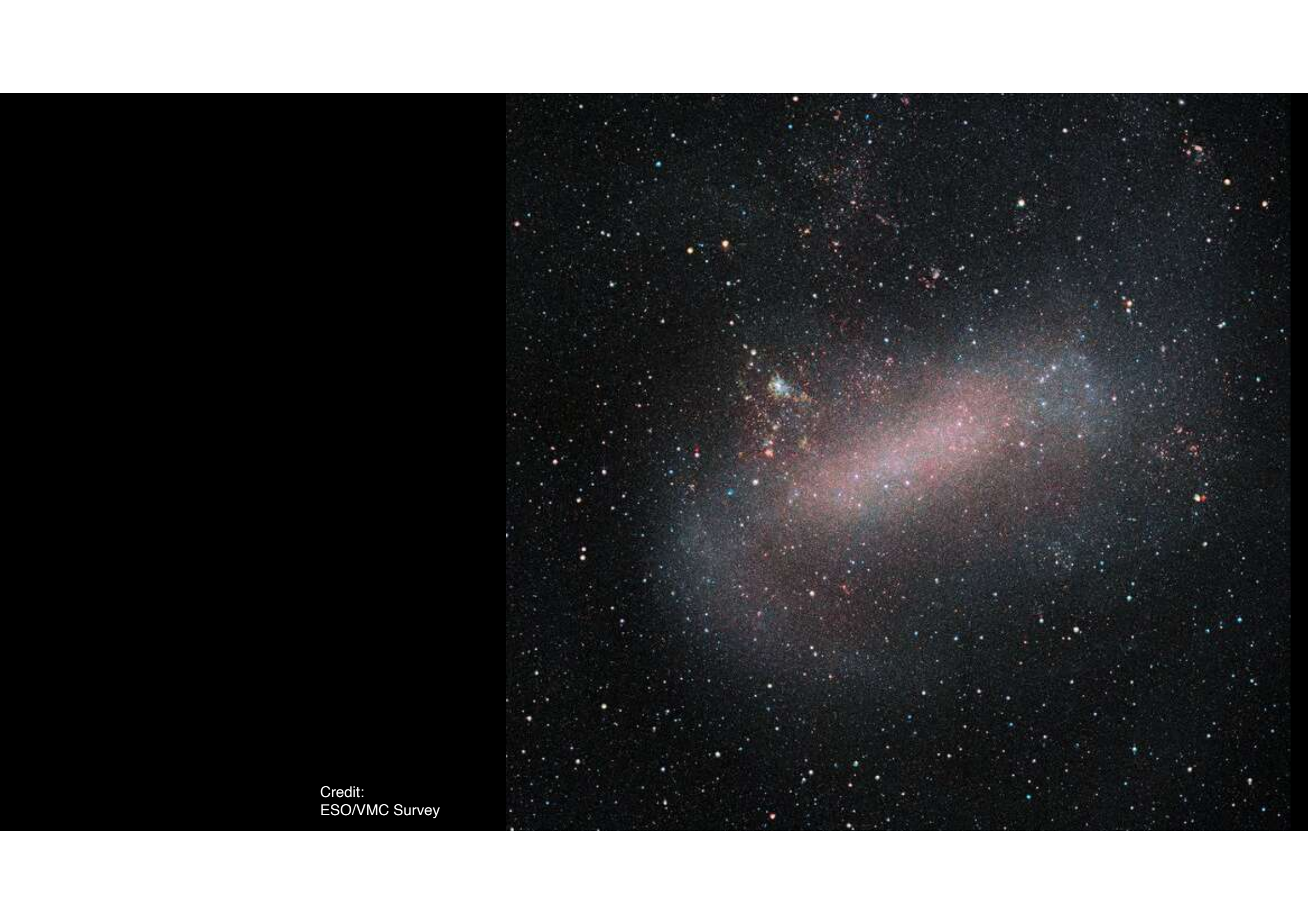
Le diagramme Couleur - Magnitude du Grand Nuage de Magellan



Courtesy of X. Luri

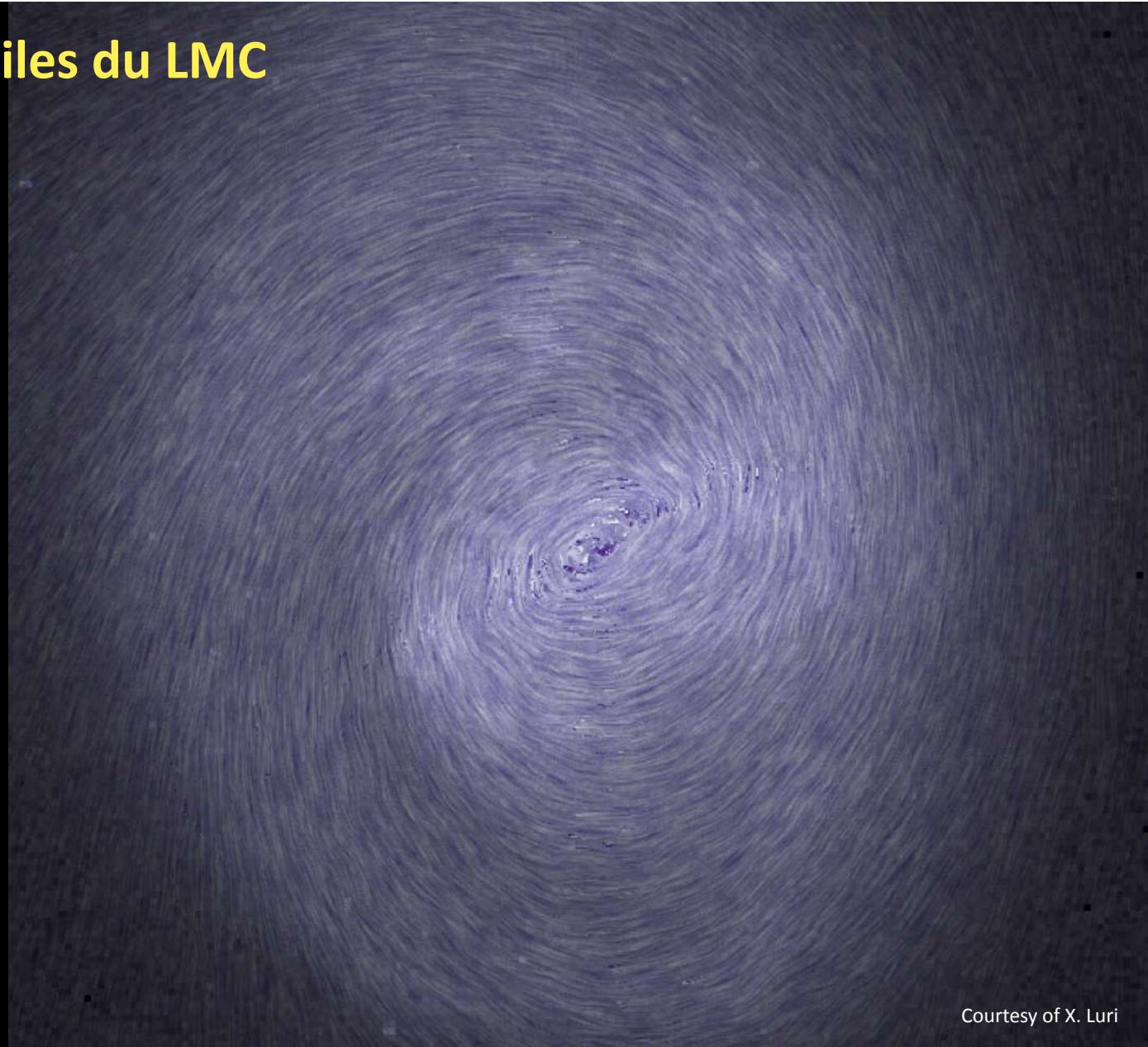
Diagramme Couleur - magnitude (les étoiles "proches" du soleil)





Credit:
ESO/VMC Survey

Mouvement propres des étoiles du LMC



Courtesy of X. Luri

La structure de l'exposé

Introduction

Rappel

avec quelques éléments nouveaux

La structure de notre Galaxie et sa formation,
le diagramme fondamental de Hertzsprung-Russell

Le grand nuage de Magellan

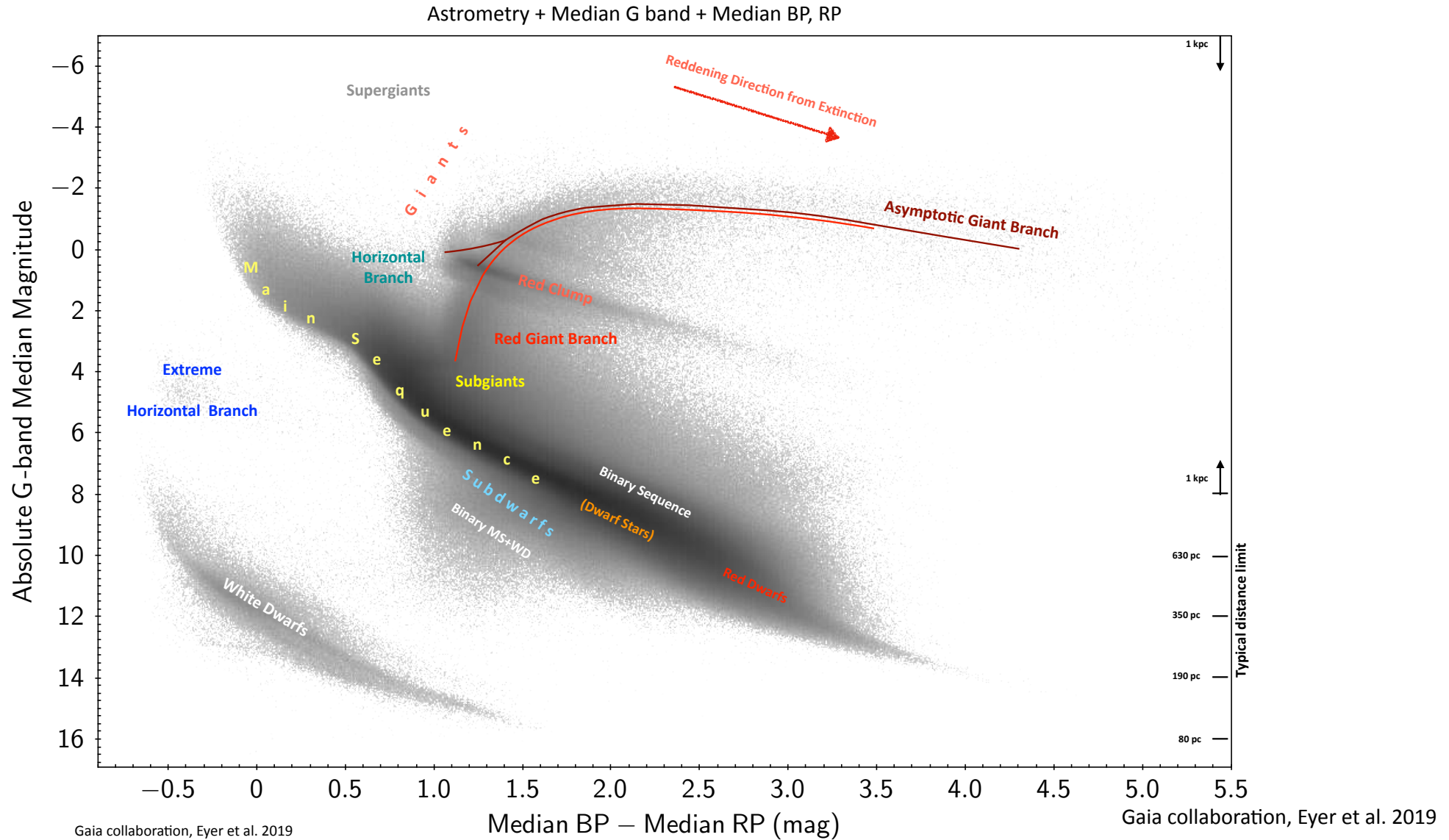
Comprendre l'évolution stellaire

Les amas avec une démonstration (amas des Pleiades)

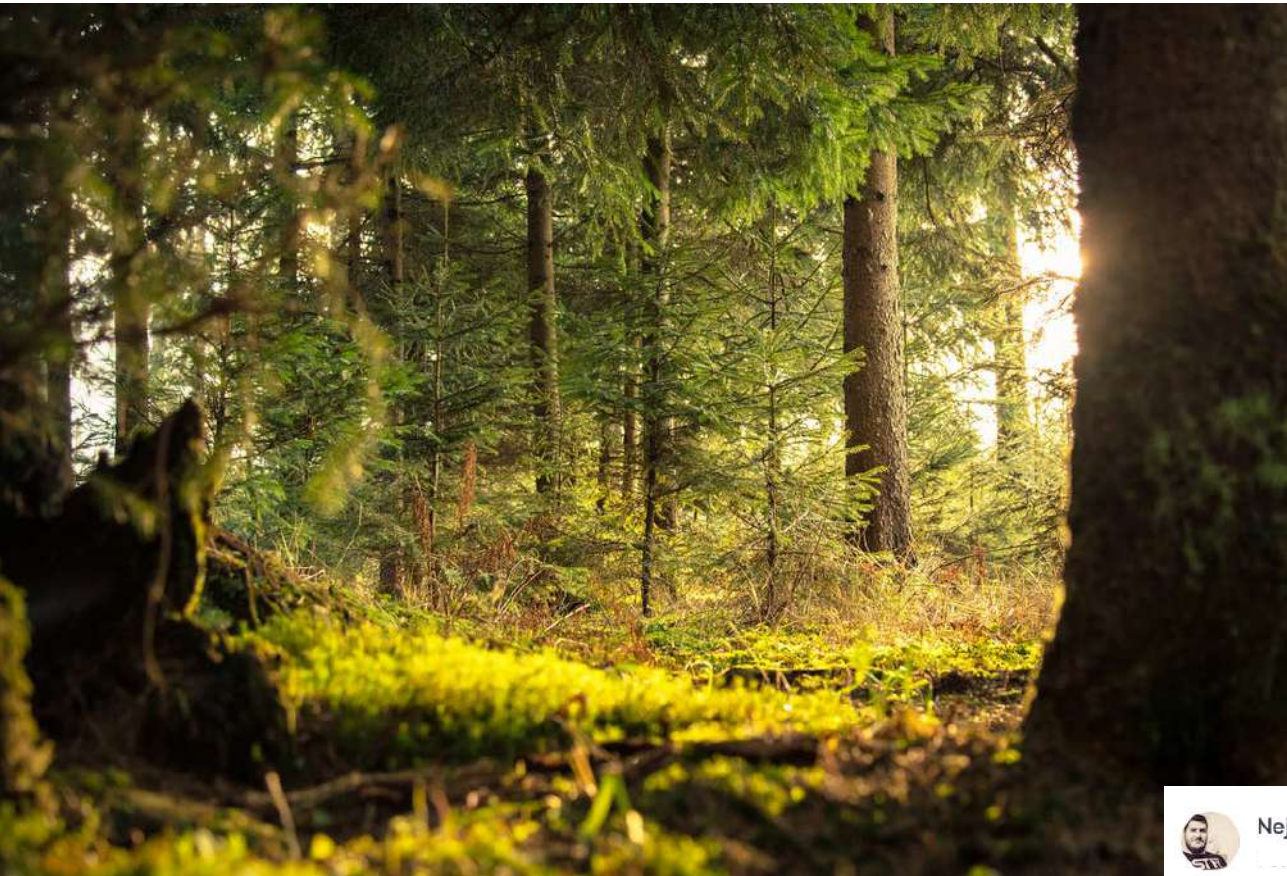
Diagramme de Hertzsprung Russell et composition chimique du halo

Les étoiles RR Lyrae comme traceur du halo

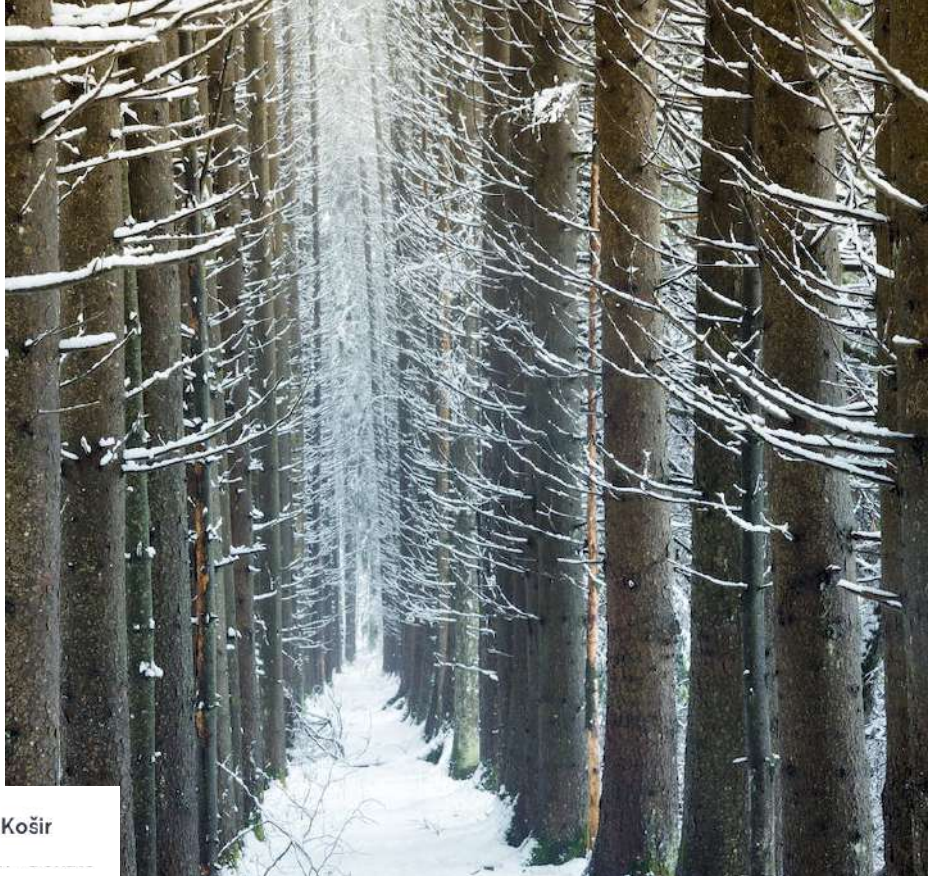
Diagramme Couleur - magnitude (les étoiles “proches” du soleil)



Parallèle avec la foret



Forêt naturelle, renouvellement continu des arbres



 Nejc Košir

Forêt de culture, tous les arbres ont le même âge

Amas d'étoiles

Dans notre Galaxie, des étoiles forment des groupes (même âge et même composition)

Amas ouverts

- se trouvent dans le disque de notre Galaxie
- étoiles jeunes et riches en métaux (il y a des étoiles massives)
- jusqu'à quelques milliers d'étoiles
- groupement est pas très dense
- plusieurs milliers connus dans notre Galaxie

Amas globulaires

- se trouvent dans le halo
- étoiles vieilles et pauvres en métaux
- Ces amas contiennent beaucoup d'étoiles (des milliers à des millions)
- Ces amas sont généralement sphériques
- ~150 dans le halo de notre Galaxies



Démonstration en ligne

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



The screenshot shows the Gaia Archive website interface. At the top, there is a navigation bar with the text "EUROPEAN SPACE AGENCY" and "ABOUT ESAC" on the left, and "SIGN IN" on the right. The main header features the "gaia archive" logo in white on a dark red background, with the ESA logo to its right. Below the header is a navigation menu with the items "HOME", "SEARCH", "VISUALISATION", and "HELP". A red arrow points to the "SEARCH" menu item. The main content area has a heading "Welcome to the Gaia Archive at ESA" and a paragraph of introductory text. To the right of the text is a circular icon depicting a satellite dish. Below this is a section titled "Top Features" with four icons and labels: "Citation" (document icon), "Search" (magnifying glass icon), "Download" (download icon), and "Help" (lifebuoy icon). Each icon is accompanied by a brief description of the feature.

EUROPEAN SPACE AGENCY ABOUT ESAC SIGN IN

gaia archive

esa

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
- Search**
Search for Gaia sources using
- Download**
Direct download of Gaia data
- Help**
Data release documentation.

Démonstration d'utilisation de Gaia: les Pleiades

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



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
-  Search
Search for Gaia sources using
-  Download
Direct download of Gaia data
-  Help
Data release documentation.

Démonstration d'utilisation de Gaia: les Pleiades

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

The screenshot shows the Gaia archive search interface. At the top, there is a navigation bar with 'HOME', 'SEARCH', 'VISUALISATION', and 'HELP'. Below this, there are tabs for 'Basic', 'Advanced (ADQL)', and 'Query Results'. The main search area is divided into sections: 'Position' and 'File'. The 'Position' section has radio buttons for 'Name' (selected) and 'Equatorial'. A search box contains 'Pleiades', and a 'Radius' field is set to '2' with a unit dropdown set to 'deg'. Below the search box, it says 'Pleiades resolved by Sesame Strasbourg (Simbad-NED-VizieR)'. The 'Search In:' dropdown is set to 'gaiadr3.gai_source'. There are expandable sections for 'Extra conditions' and 'Display columns'. At the bottom, there are three buttons: 'Reset Form', 'Show Query', and 'Submit Query'. A note at the bottom states 'Output is limited to 2,000 sources'. Three red arrows point to the search box, the radius field, and the 'Submit Query' button.

EUROPEAN SPACE AGENCY ABOUT ESAC

gaia archive

HOME SEARCH VISUALISATION HELP

Basic Advanced (ADQL) Query Results

Position File

Name Equatorial

Target Circle Box

Name Radius

Pleiades resolved by Sesame Strasbourg (Simbad-NED-VizieR)

Search In:

▶ Extra conditions

▶ Display columns

Output is limited to 2,000 sources

Démonstration d'utilisation de Gaia: les Pleiades

EUROPEAN SPACE AGENCY ABOUT ESAC

gaia archive

HOME SEARCH VISUALISATION HELP

Basic Advanced (ADQL) Query Results

No job id No job id No job id X

source_id	ra deg	dec deg	parallax mas	pmra mas.yr ⁻¹	pmdec mas.yr ⁻¹	ruwe	phot_g_mean_mag mag	bp_rp mag	radial_velocity km.s ⁻¹
64161038966959744	57.58351516512873	22.94404512965766	-0.04585150710419994	5.350916503760347	-6.3095651835708555	0.932142	19.007599	0.93745613	
64161043264453120	57.59223377294258	22.93942074454825	0.3672437151636917	-0.041845942566694245	-1.325775408370594	1.0190867	19.583479	0.9730511	
66521037596608928	57.09245691761289	23.953634649044403	0.1694152819723524	0.8671090811190504	-0.344516872576624	1.0907019	19.956541	1.1225967	
66521041893494016	57.105145357971764	23.949851625340713					21.004105	2.238866	
65588548657585280	58.259923657908224	22.81958651557483	1.8189781698113072	3.1776147591259734	-8.762022231382327	1.0549724	20.647768	1.2002525	
65589171428240768	58.22653052951197	22.806610474158184					21.089537	1.6819801	
65589201492609920	58.24679243419319	22.808764963336877	0.4303547101790659	0.9301401178035137	-3.115534706032918	0.96025586	17.963911	1.1703053	
65589201492612736	58.24116132131642	22.81598304010699	5.115250830934909	15.223716951539071	20.66927480978972	1.0451349	18.894358	3.1499786	
65589205787857152	58.23838798327387	22.81332485406351	0.16296083711078738	3.741740289269308	-23.478207146179916	0.88234365	20.822533	1.6632867	
65589205789961344	58.23392527243231	22.80537706729604	0.8143405418668985	3.794417418294194	-1.2991548441791148	1.0373127	16.385725	1.2486143	
65589240147595254	58.21174798137593	22.814853575638335					20.873507	1.1118374	
65589240149699594	58.22577420074471	22.812091477389355	1.4292901798181883	10.023269874741608	-9.946353102823258	0.99512607	16.599989	1.7682144	
65589270212090624	58.221006146131596	22.81935020300793	2.140695759006646	-0.13214170144199844	-5.642886136673528	1.0975009	19.879059	2.3476944	
65589274509436800	58.22644208806569	22.82702973334477	0.4615557411727608	4.565089714622203	-4.979378409575983	1.0002841	17.594866	1.2700138	
65589308869174784	58.24199577680002	22.822477335736	2.2338530124796083	3.8092412359896715	-23.715198628920994	1.2232392	15.986102	1.9208994	
65589343228910720	58.26252110311128	22.832104949320644	0.7896057549775067	2.8041408869282294	-6.564180037467299	0.9545063	15.541884	1.0822725	
65589411948422400	58.248370545711204	22.85044167854417	1.2399203614150065	0.3369008804837169	-2.2303584545767525	0.97932684	20.62223	1.1799755	
65589411948606912	58.2521811887303	22.839910907130925					20.770584	1.6053347	
65589446308161024	58.19709284319661	22.81712797551826					20.838762	1.1820374	
65589476370521856	58.21662684541208	22.821600000000002	0.16734791054868986	-0.07651739364096445	0.873660602423063	1.0237802	17.717386	1.0100613	

1-20 of 2,000

Gaia DR3 Data Model Show query in ADQL form VOTable Download results

Démonstration d'utilisation de Gaia: les Pleiades

EUROPEAN SPACE AGENCY ABOUT ESAC SIGN IN

gaia archive

HOME SEARCH VISUALISATION HELP

Basic **Advanced (ADQL)** Query R...

gaia

Job name

```
1 SELECT
  gaia_source.source_id,gaia_source.ra,gaia_source.dec,gaia_source.parallax,gaia_source.pmra,gaia_source.pndec,gaia_source.ruwe,gaia_source.phot_g_mean_
  mag,gaia_source.bp_rp,gaia_source.radial_velocity,gaia_source.phot_variable_flag,gaia_source.non_single_star,gaia_source.has_xp_continuous,gaia_source
  .has_xp_sampled,gaia_source.has_rvs,gaia_source.has_epoch_photometry,gaia_source.has_epoch_rv,gaia_source.has_m_gspphot,gaia_source.has_mcmc_msc,ga
  ia_source.teff_gspphot,gaia_source.logg_gspphot,gaia_source.mh_gspphot,gaia_source.distance_gspphot,gaia_source.age_gspphot,gaia_source.ag_gspphot,g
  aia_source.ebpmnrp_gspphot
2 FROM gaiadr3.gaia_source
3 WHERE
```

Ctrl+Space for query autocompletion

Reset Form Submit Query

No results found

Status	Job	Creation date	Num. rows	Size
--------	-----	---------------	-----------	------

1-1 of 0

Download format: VOTable Apply jobs filter Filter this session Select all jobs Delete selected jobs

Démonstration d'utilisation de Gaia: les Pleiades

EUROPEAN SPACE AGENCY ABOUT ESAC SIGN IN

gaia archive

HOME SEARCH VISUALISATION HELP

Basic Advanced (ADQL) Query Results







gaia

Job name:

```
1 SELECT
  gaia_source.source_id, gaia_source.ra, gaia_source.dec, gaia_source.parallax, gaia_source.pmra, gaia_source.pmdc, gaia_source.ruwe, gaia_source.phot_g_mean_mag, gaia_source.bp_rp, gaia_source.radial_velocity, gaia_source.phot_variable_flag, gaia_source.non_single_star, gaia_source.has_xp_continuous, gaia_source.has_xp_sampled, gaia_source.has_rvs, gaia_source.has_epoch_photometry, gaia_source.has_epoch_rv, gaia_source.has_mcmc_gspphot, gaia_source.has_mcmc_msc, gaia_source.teff_gspphot, gaia_source.logg_gspphot, gaia_source.mh_gspphot, gaia_source.distance_gspphot, gaia_source.azero_gspphot, gaia_source.ag_gspphot
2 FROM gaiadr3.gaia_source
3 WHERE
4 CONTACTS/
```

Ctrl+Space for query auto completion

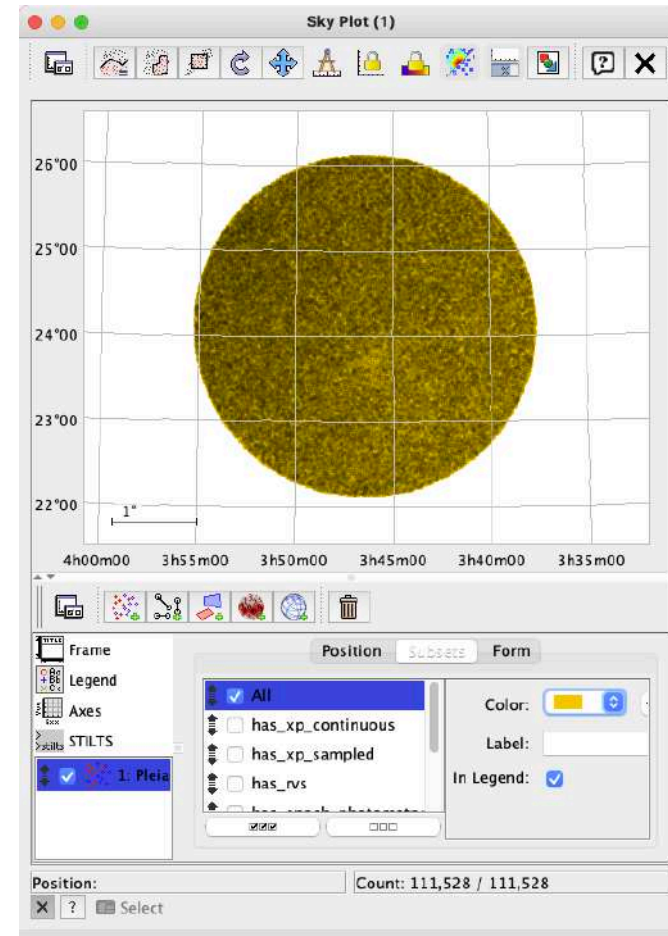
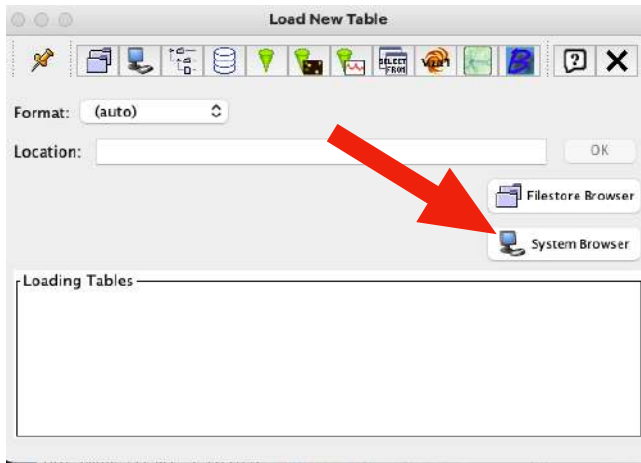
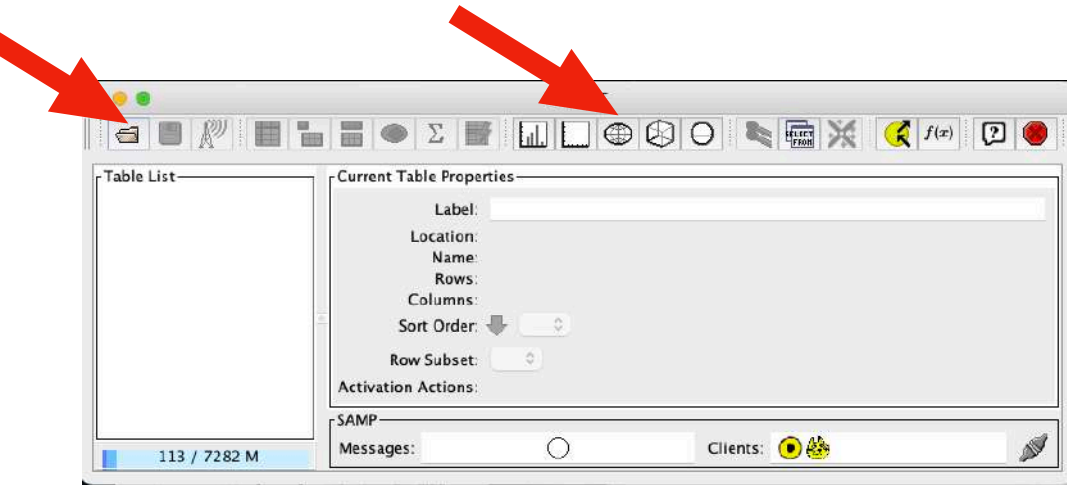
Reset Form Submit Query

Status	Job	Creation date	Num. rows	Size	
✓ <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Pleiades_2deg	11-Oct-2022, 13:08:47	111528	8 MB	     

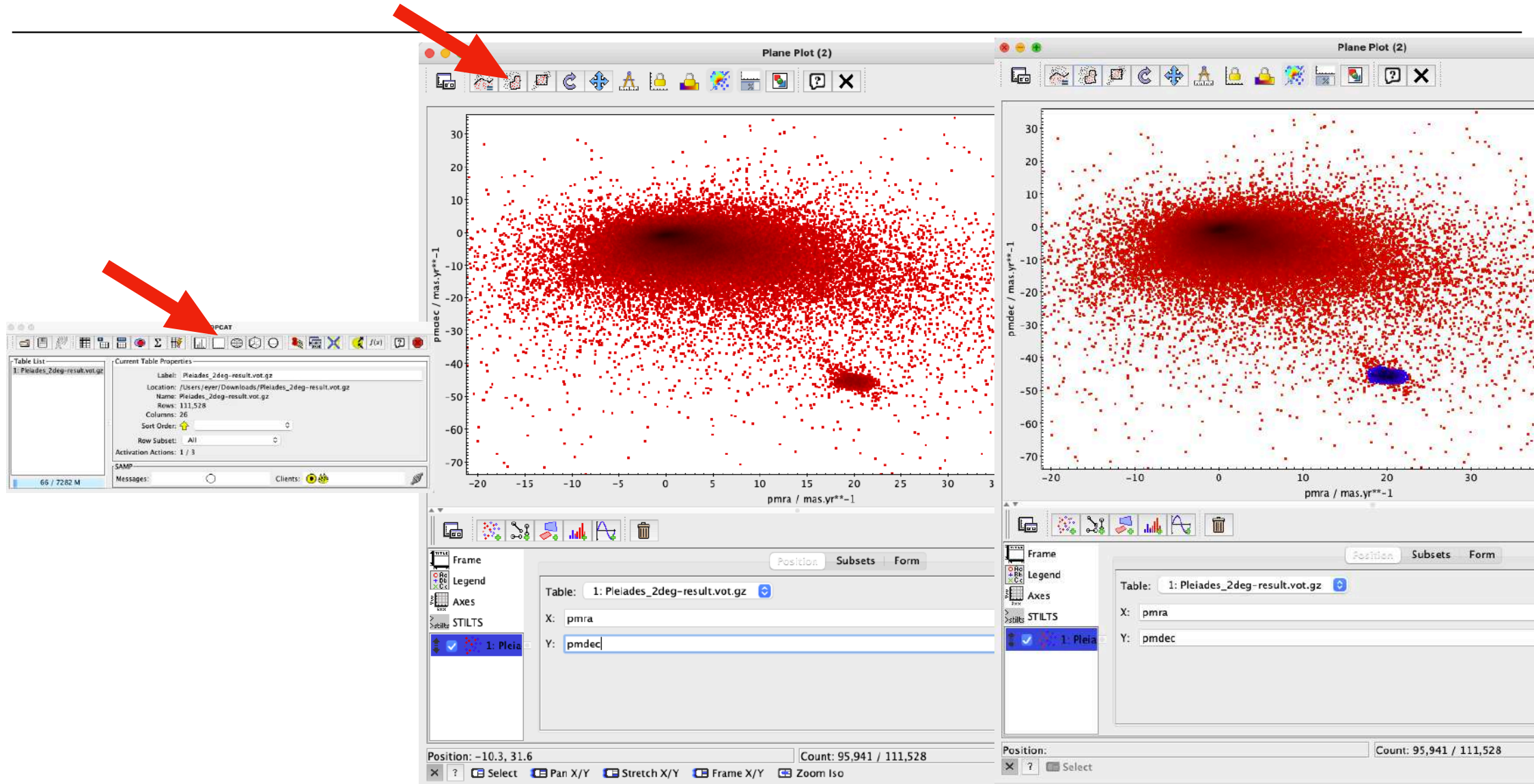
1-1 of 1

Download format: VOTable Apply jobs filter Filter this session Select all jobs Delete selected jobs

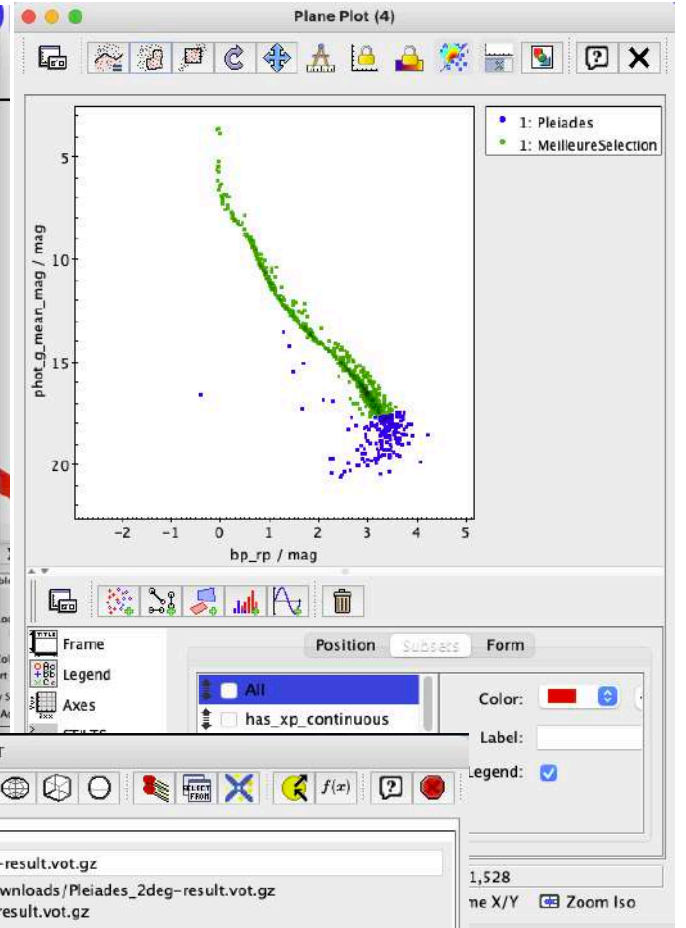
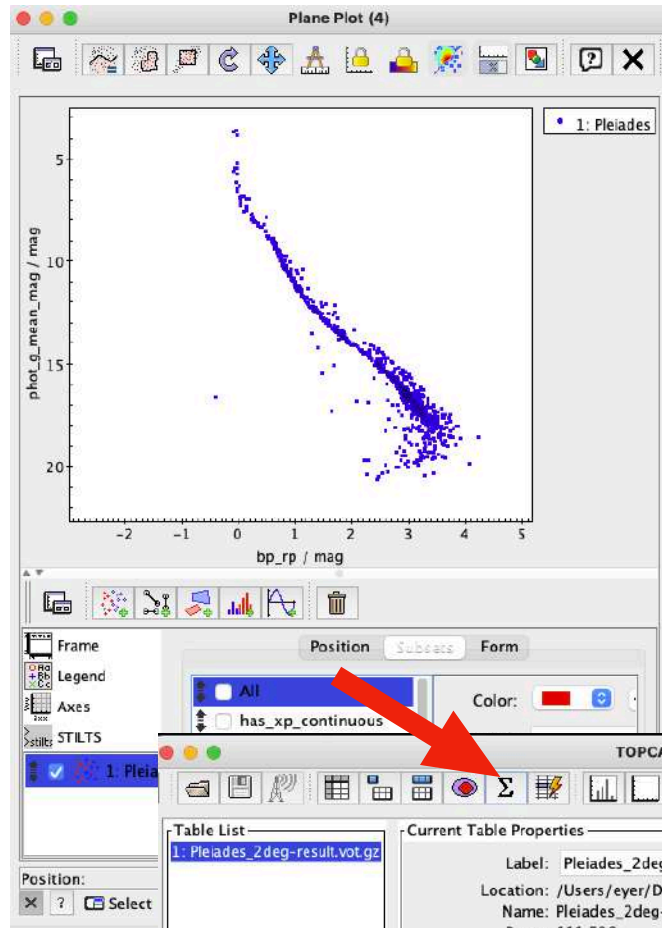
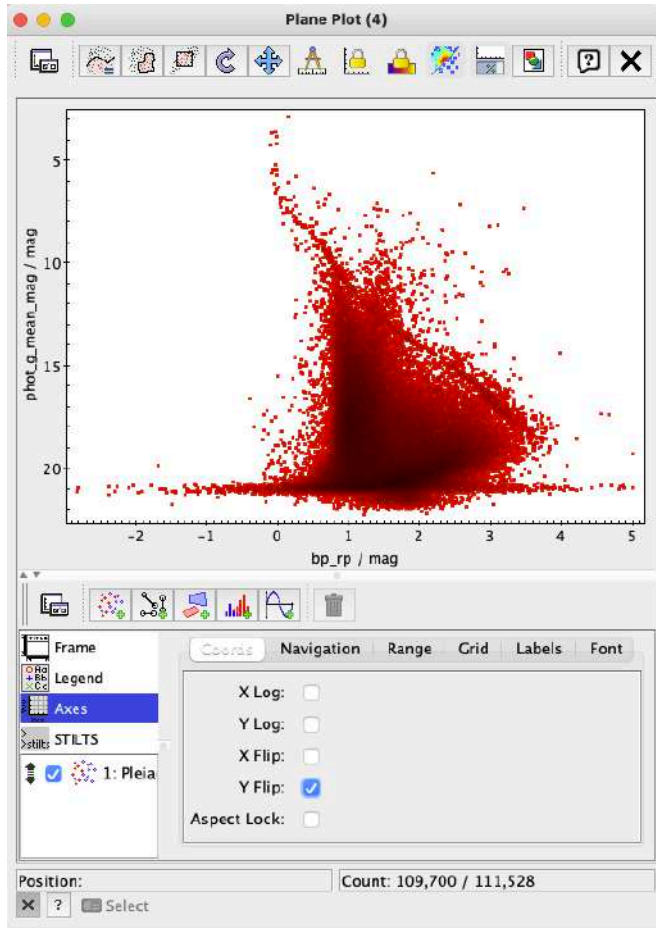
Démonstration d'utilisation de Gaia: les Pleiades



Démonstration d'utilisation de Gaia: les Pleiades



Démonstration d'utilisation de Gaia: les Pleiades



TOPCAT

Table List: 1: Pleiades_2deg-result.vot.gz

Current Table Properties:

- Label: Pleiades_2deg-result.vot.gz
- Location: /Users/eyer/Downloads/Pleiades_2deg-result.vot.gz
- Name: Pleiades_2deg-result.vot.gz
- Rows: 111,528
- Columns: 26
- Sort Order: ↑
- Row Subset: All
- Activation Actions: 1 / 3

SAMP

Démonstration d'utilisation de Gaia: les Pleiades

TOPCAT(1): Row Statistics

Row Statistics for 1: Pleiades_2deg-result.vot.gz

Name	Mean	SD	Minimum	Maximum	nGood	Median
source_id	6.65773E16	1.70780E15	63999999169130112	70132658415356672	718	66526127137440128
ra	56.6251	0.851434	54.51025	58.78746	718	56.6497
dec	24.1742	0.814802	22.24435	26.04307	718	24.1595
parallax	7.36516	0.23455	3.63761	8.34569	718	7.37273
pmra	19.9609	0.97312	17.83334	22.41075	718	19.9271
pmdec	-45.4862	1.05703	-48.02786	-42.78246	718	-45.4624
ruwe	1.39617	1.43112	0.789165	19.4527	718	1.05665
phot_g_mean_mag	14.3022	2.9574	3.61579	17.6652	718	15.4245
bp_rp	2.22811	0.968909	-0.087962	3.57987	718	2.6369
radial_velocity	5.97488	19.0816	-93.6464	198.13	339	5.47976
phot_variable_flag			NOT_AVAILABLE	VARIABLE	718	
non_single_star	0.04039	0.273807	0	3	718	0
has_xp_continuous	0.849582				718	
has_xp_sampled	0.381616				718	
has_rvs	0.169916				718	
has_epoch_photometry	0.108635				718	
has_epoch_rv	0.				718	
has_mcmc_gspphot	0.75766				718	
has_mcmc_msc	0.998607				718	
teff_gspphot	4267.99	1582.71 ...	3062.71	11637.	643	3469.2
logg_gspphot	4.62627	0.259286	3.4094	4.9826	643	4.6467
mh_gspphot	-0.198318	0.361126	-3.3946	0.7671	643	-0.0772
distance_gspphot	135.703	5.85662	111.615	214.48	643	135.191
azero_gspphot	0.815088	0.48564	0.0021	3.626	643	0.9199
ag_gspphot	0.53768	0.315388	0.0018	2.6947	643	0.5918
ebpminrp_gspphot	0.340775	0.201157	0.001	1.5192	643	0.383


Subset for calculations: MeilleureSelection

135 pc → 442 années lumières

Démonstration d'utilisation de Gaia: les Pleiades

Wikipedia...

Pleiades

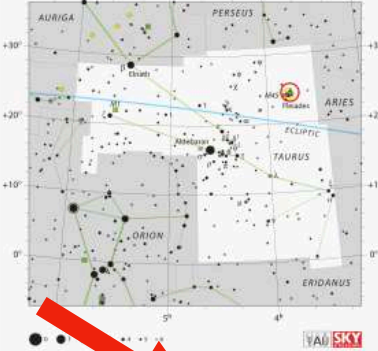


Les pléiades vues par l'observatoire du mont Palomar.

Données d'observation
(Époque J2000.0)

Constellation	Taureau
Ascension droite (α)	03 ^h 45 ^m 48 ^s
Déclinaison (δ)	+24° 22' 0"
Magnitude apparente (V)	1,6
Dimensions apparentes (V)	110' min d'arc

Localisation dans la constellation : Taureau



Proximité

Distance environ 136 pc (-444 a.l.)

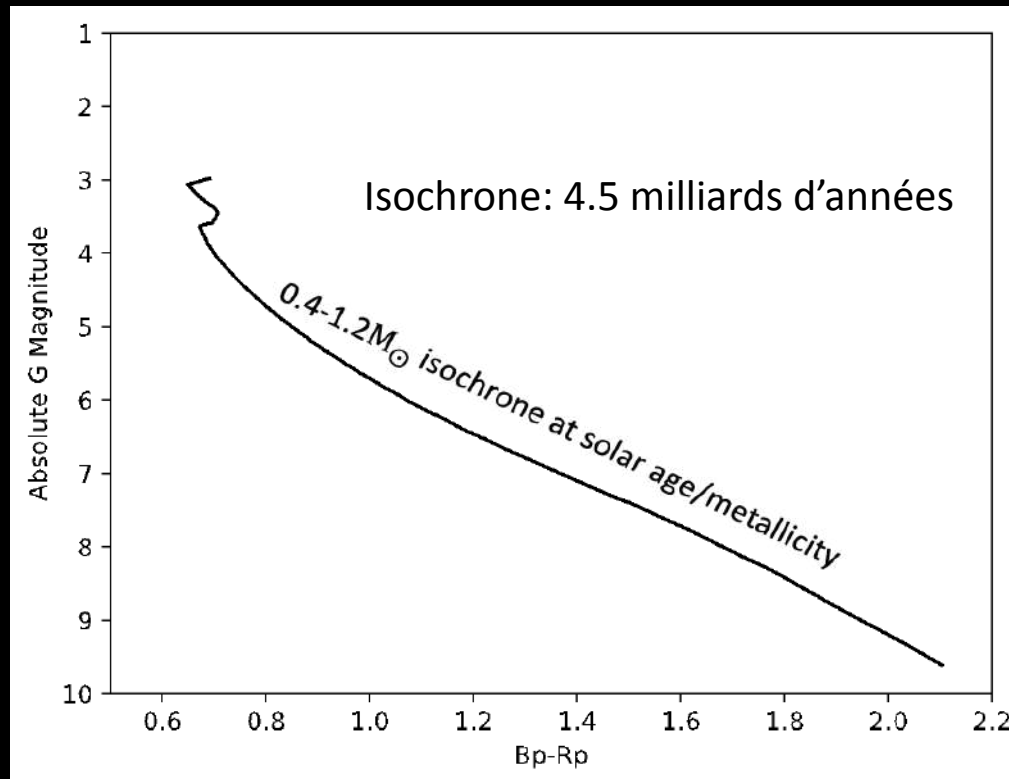
Caractéristiques physiques

Type d'objet Amas ouvert

Découverte

Propriétés dans le diagramme HR

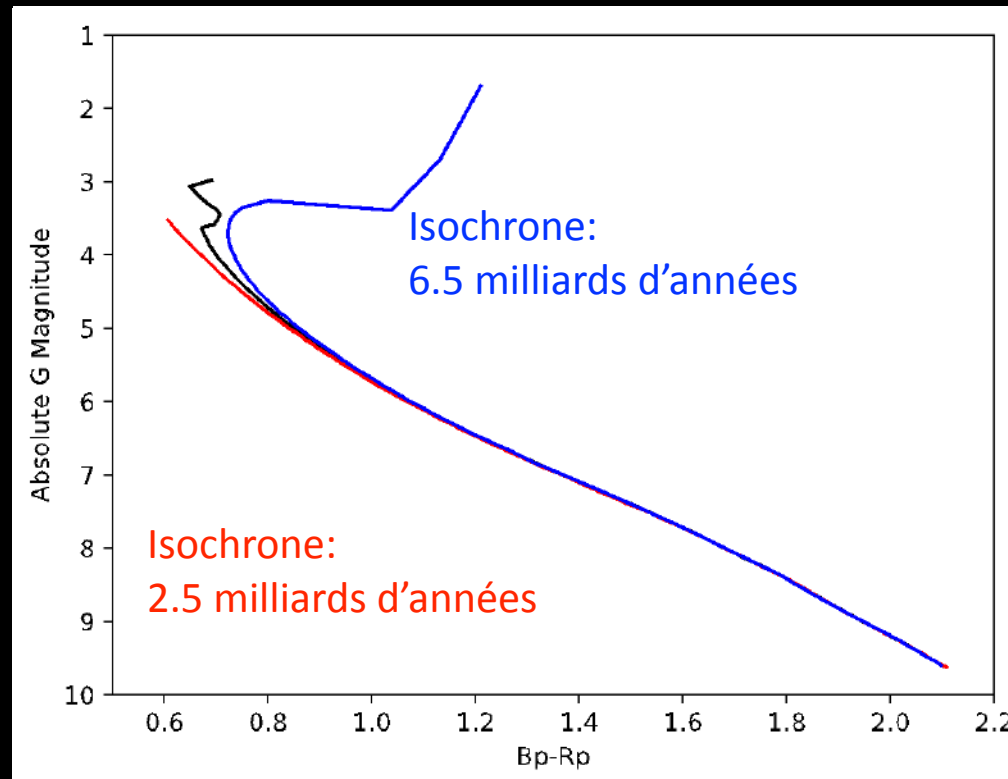
Masse



Crédit: Alex Wallace

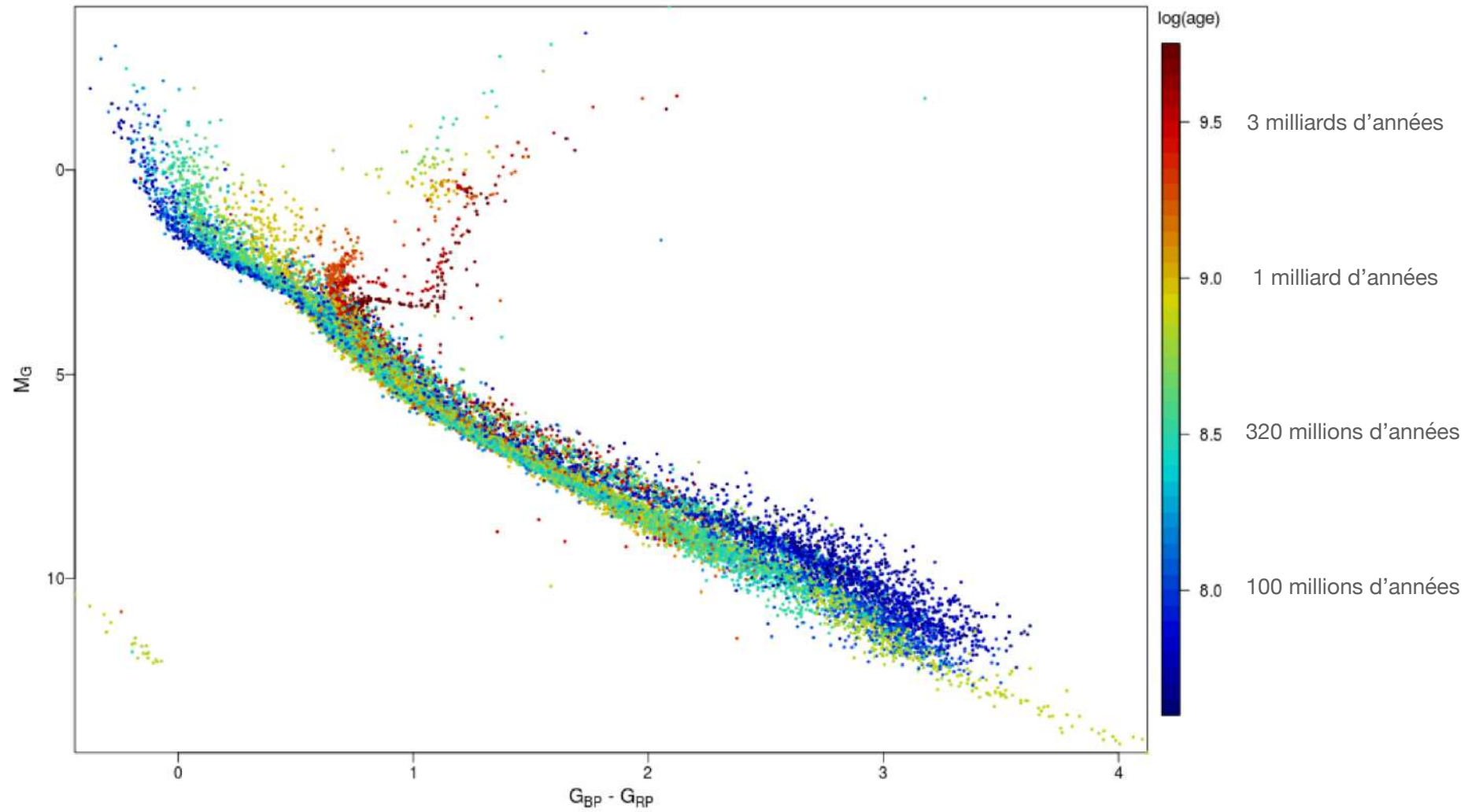
Propriétés dans le diagramme HR

Age

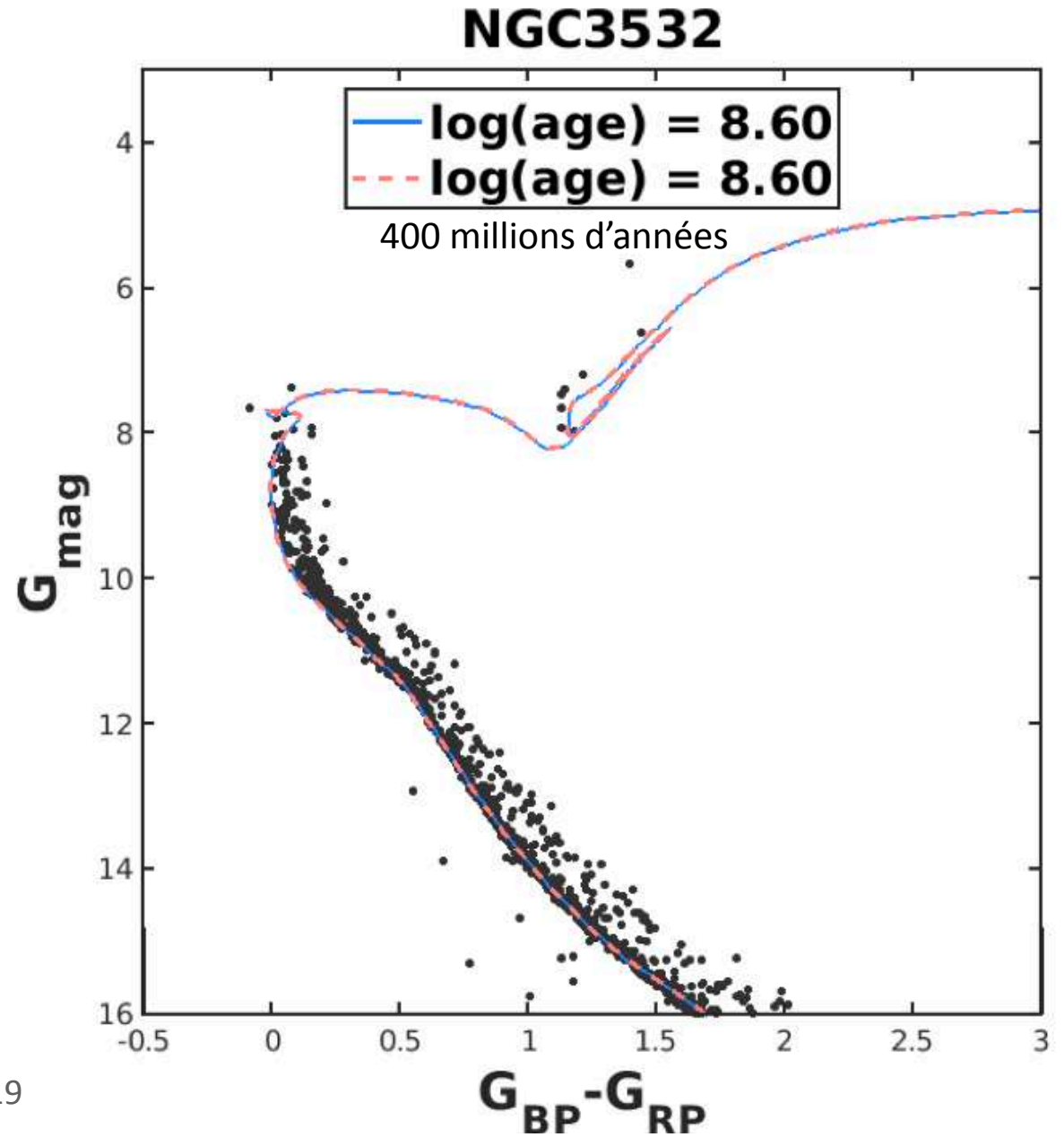


Crédit: Alex Wallace

Les étoiles de différents amas (même âge, même composition chimique)



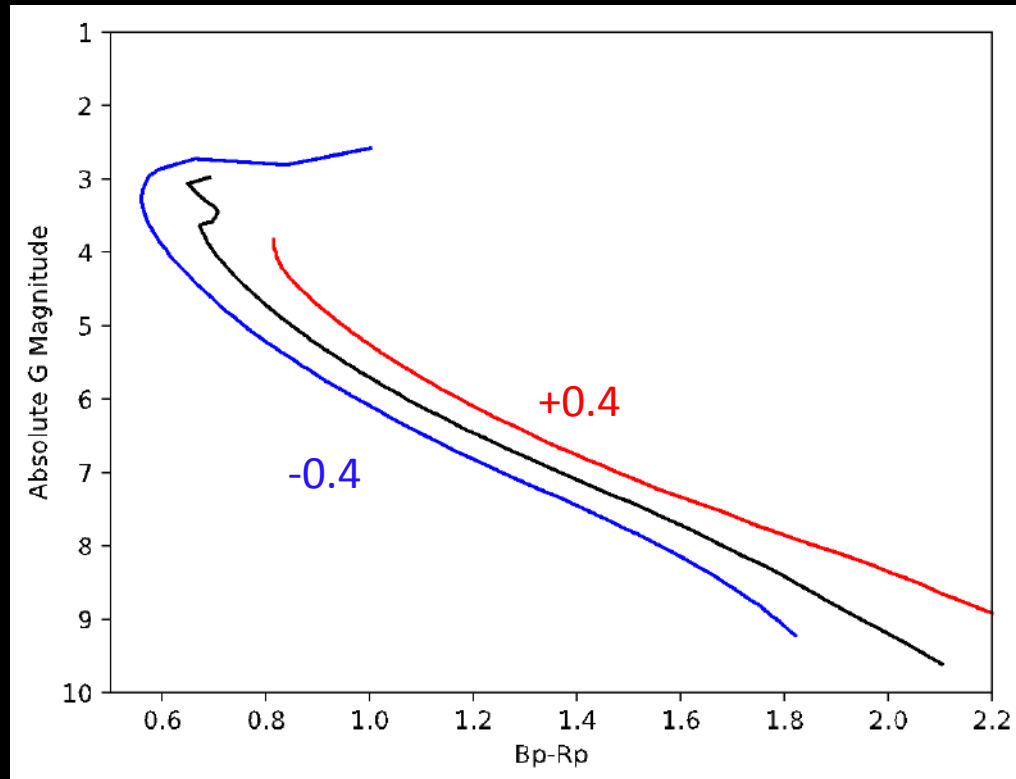
Amas globulaire



Bossini et al. 2019

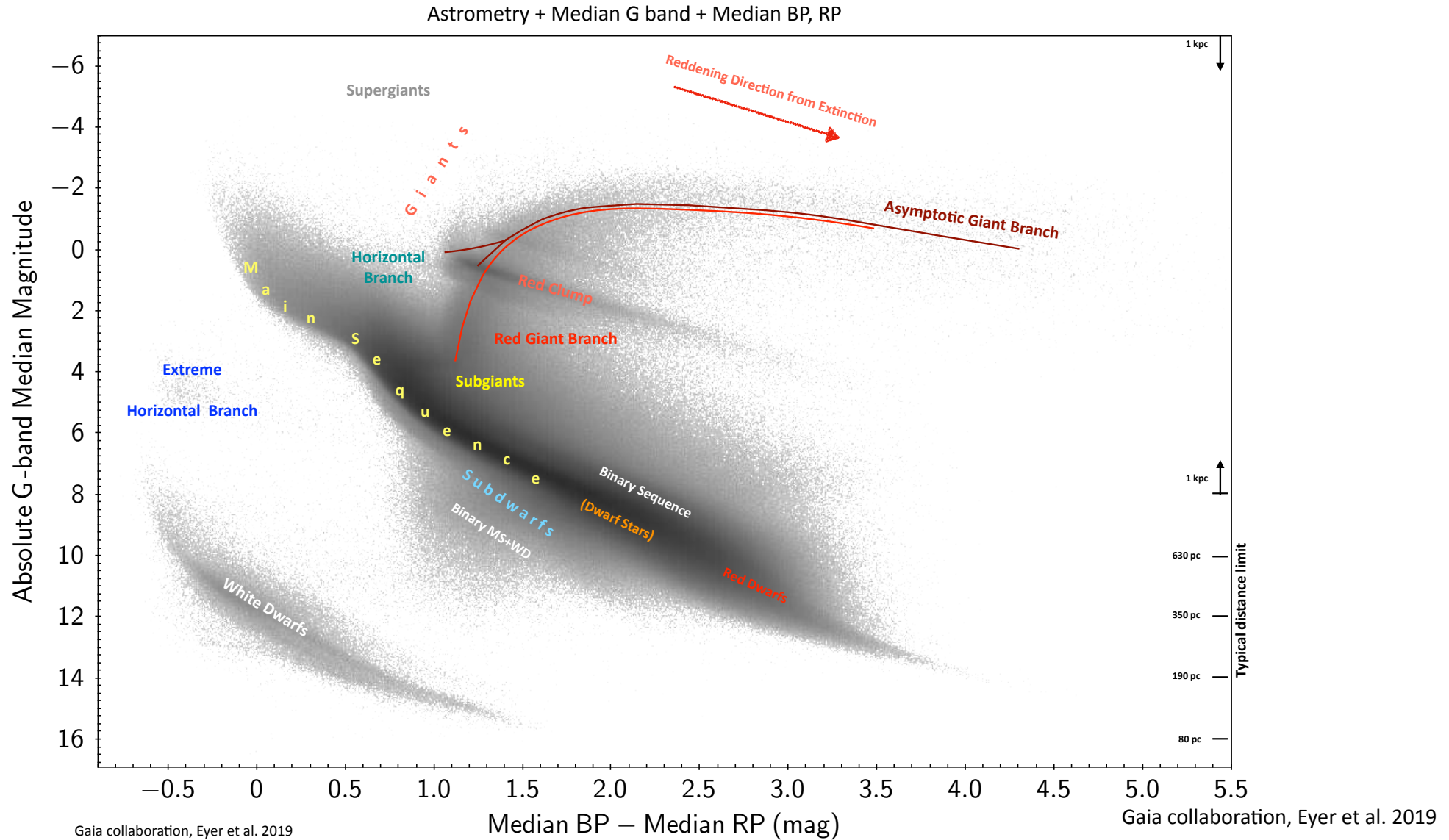
Propriétés dans le diagramme HR

Métallicité [Fe/H]



Crédit: Alex Wallace

Diagramme Couleur - magnitude (les étoiles “proches” du soleil)



Evolution stellaire

Séquence principale:

Hydrogène est brûlé et converti en Hélium (cendres de la combustion)

Le “tas rouge” / “grumeau rouge” (red clump), la branche horizontale:

Hélium est brûlé et converti en Carbone

On comprend que le soleil va devenir une géante rouge et va brûler la terre!

La structure de l'exposé

Introduction

Rappel

avec quelques éléments nouveaux

La structure de notre Galaxie et sa formation,
le diagramme fondamental de Hertzsprung-Russell

Le grand nuage de Magellan

Comprendre l'évolution stellaire

Les amas avec une démonstration (amas des Pleiades)

Diagramme de Hertzsprung Russell et composition chimique du halo

Les étoiles RR Lyrae comme traceur du halo

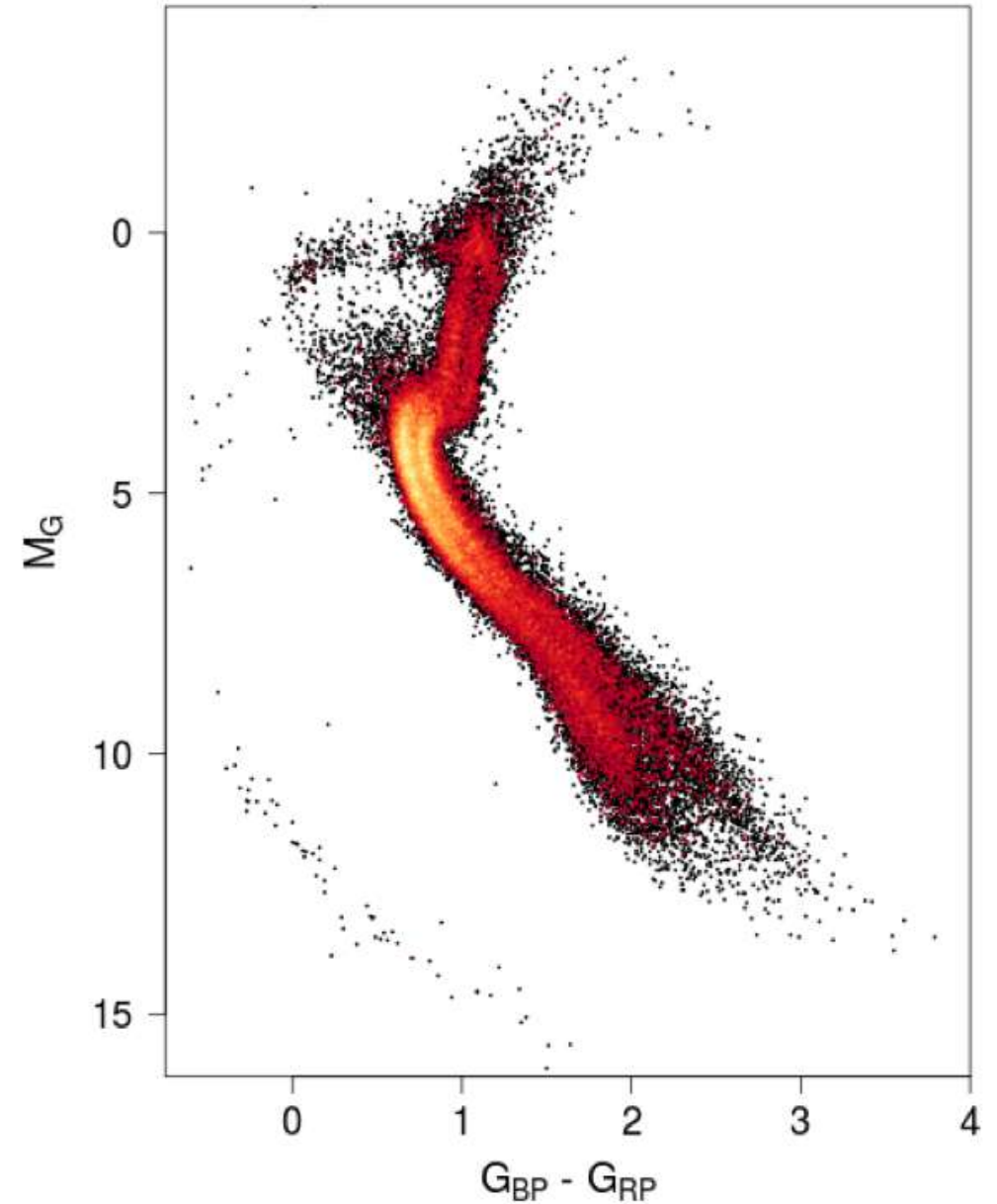
Selection des étoiles du halo

Selection en position et mouvement propre

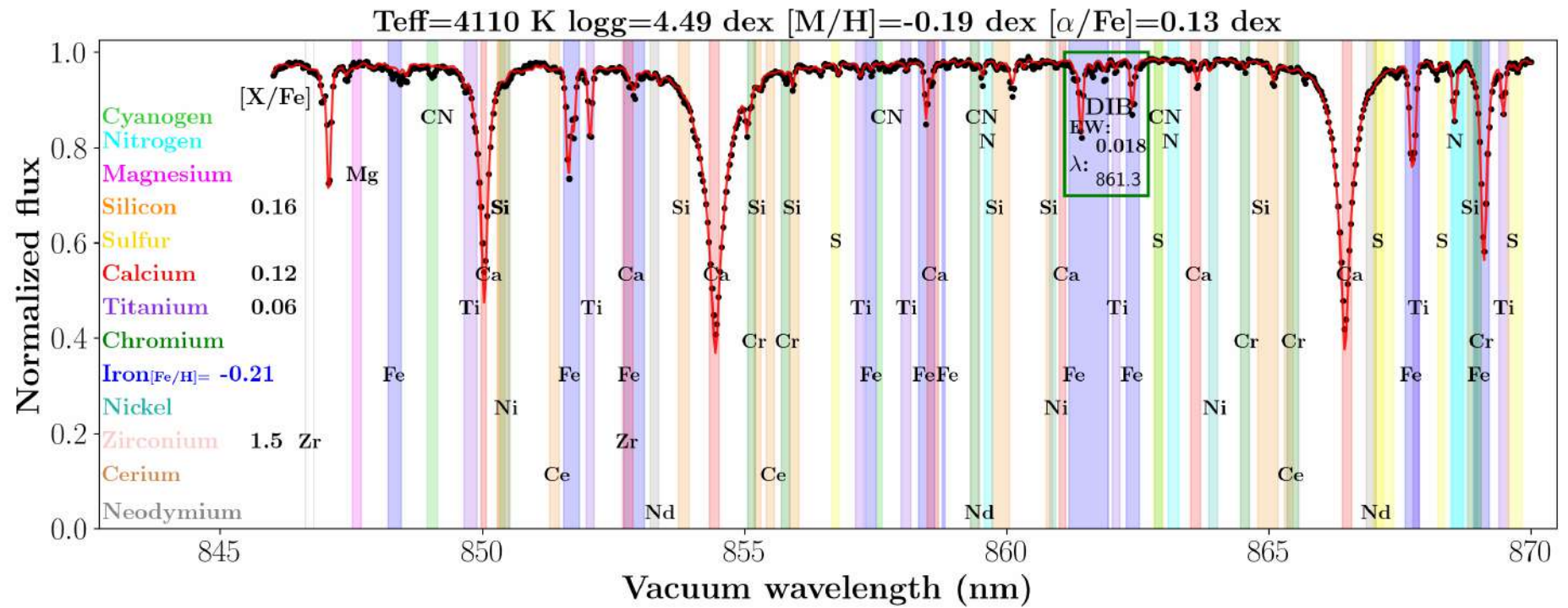
Le réflexe: faire un diagramme Couleur Magnitude...

Surprise: Il y a deux populations

Gaia peut nous faire découvrir encore plus le passé de notre Galaxie!



Les spectres de Gaia



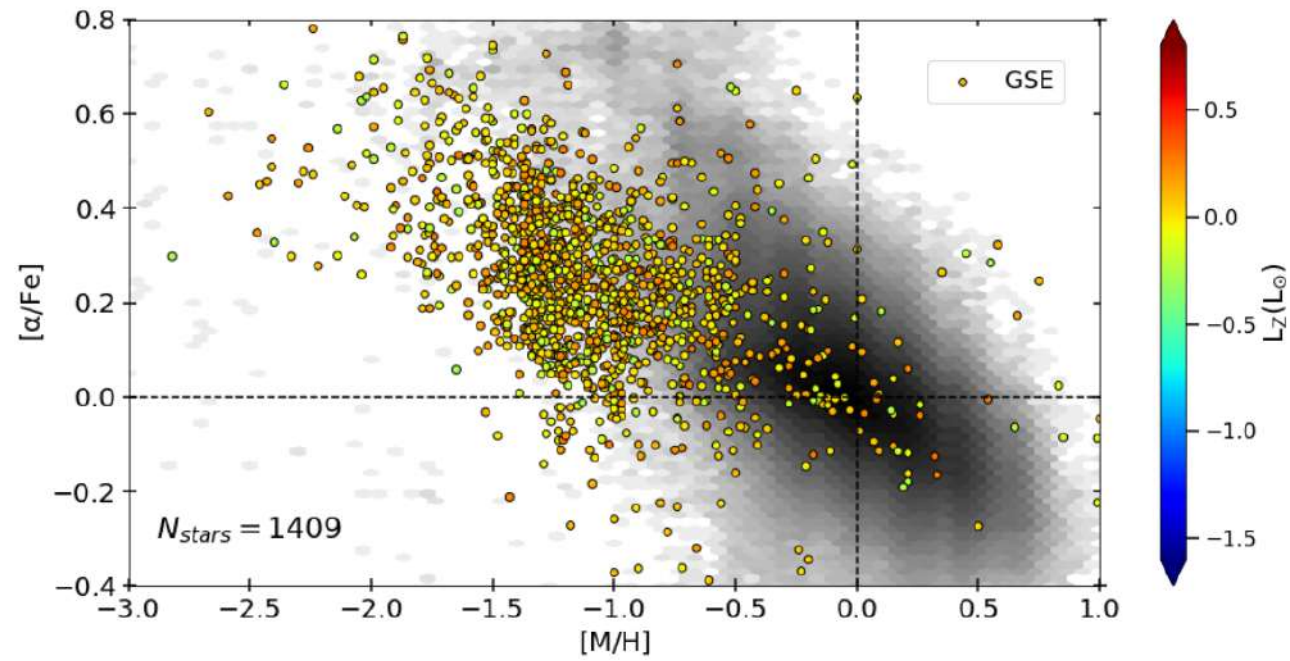
Rappel: L'origine des atomes

H 1		<table border="0"> <tr> <td> Big Bang fusion</td> <td> Dying low-mass stars</td> <td> Exploding massive stars</td> <td> Human synthesis No stable isotopes</td> </tr> <tr> <td> Cosmic ray fission</td> <td> Merging neutron stars</td> <td> Exploding white dwarfs</td> <td></td> </tr> </table>																		Big Bang fusion	Dying low-mass stars	Exploding massive stars	Human synthesis No stable isotopes	Cosmic ray fission	Merging neutron stars	Exploding white dwarfs		He 2	
Big Bang fusion	Dying low-mass stars	Exploding massive stars	Human synthesis No stable isotopes																										
Cosmic ray fission	Merging neutron stars	Exploding white dwarfs																											
Li 3	Be 4	B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10																						
Na 11	Mg 12	Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18																						
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36												
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54												
Cs 55	Ba 56	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86													
Fr 87	Ra 88	La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71													
		Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103													

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

La composition chimique

Les éléments alpha sont produits dans des étoiles massives, disséminés par l'explosion de ces étoiles c'est-à-dire des supernovae (dite de Type II)



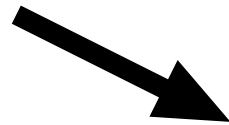
Gaia Sausage-Enceladus

La double structure dans le diagramme HR

La composition chimique

Les propriétés de positions et mouvements des étoiles (pas montré ici)

Aide de simulations



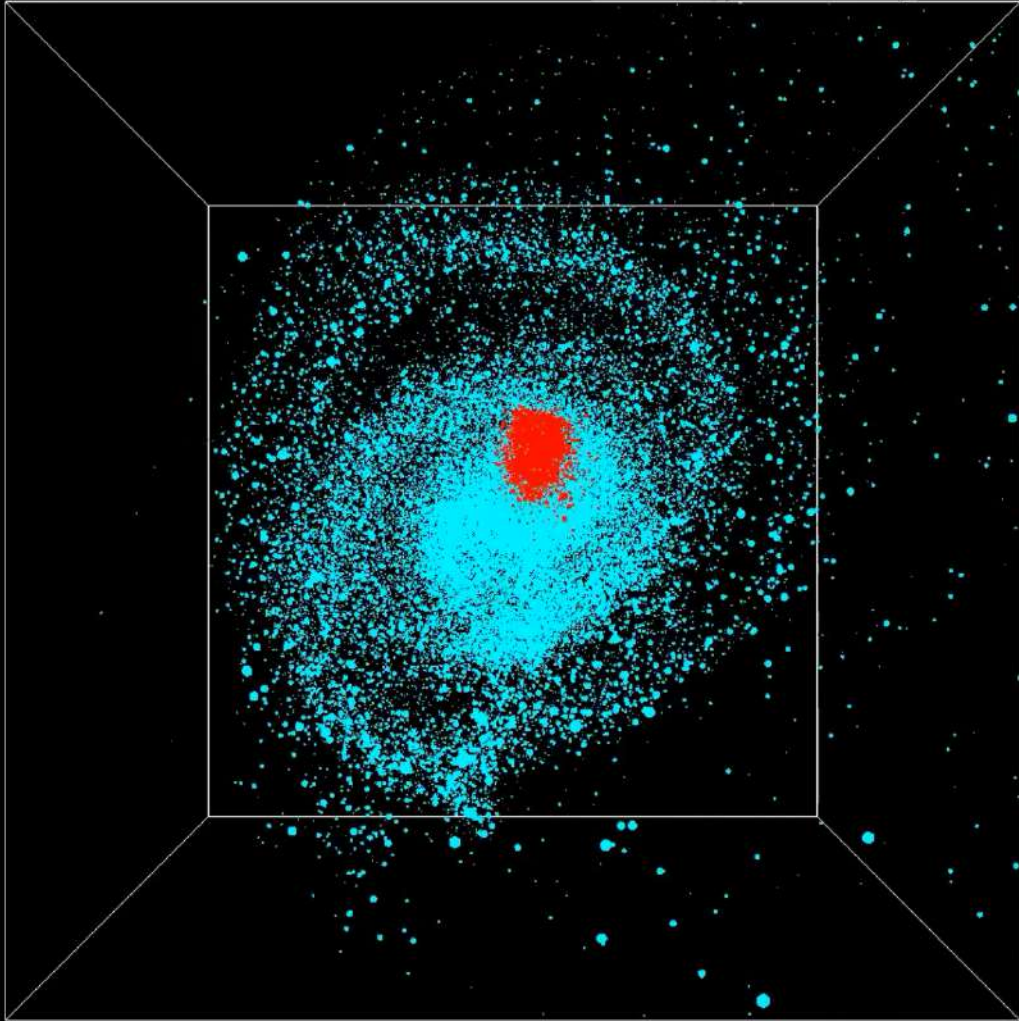
Il y a 10 milliards d'années

Collision majeure entre une galaxie naine avec notre Galaxie

Masse de la galaxie comme 50 milliards de "soleil"

Masse de notre galaxie 1000 milliards de "soleil"

Simulation numérique



La structure de l'exposé

Introduction

Rappel

avec quelques éléments nouveaux

La structure de notre Galaxie et sa formation,
le diagramme fondamental de Hertzsprung-Russell

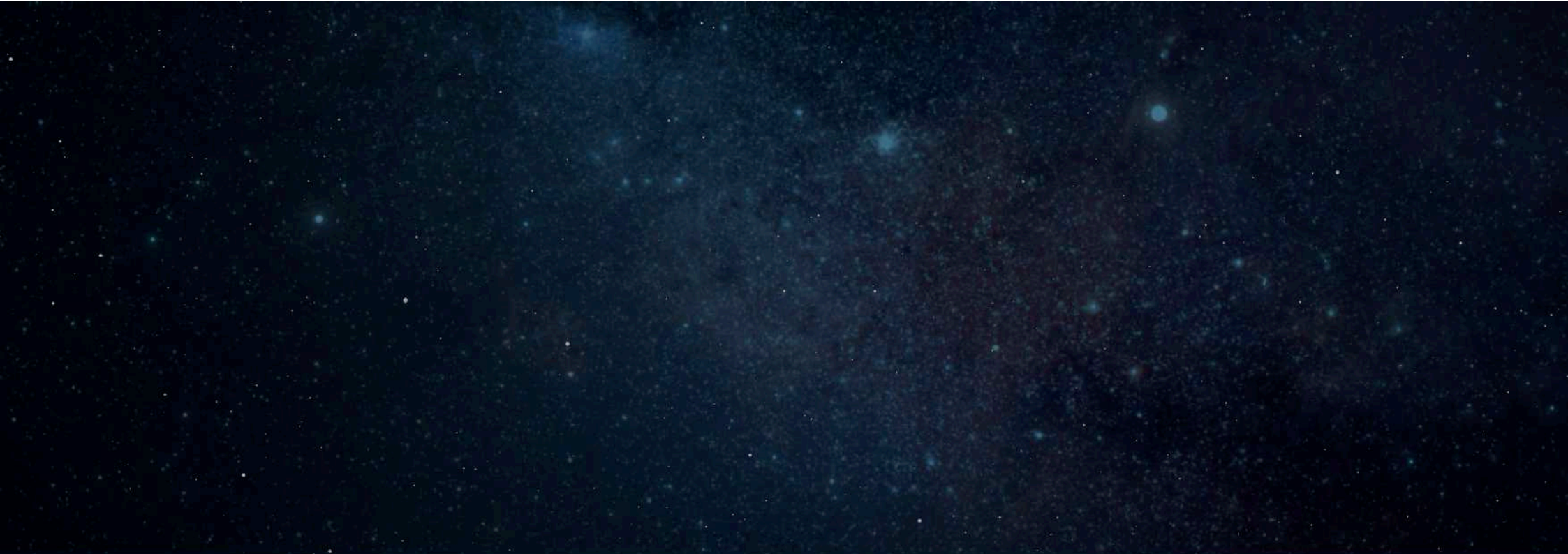
Le grand nuage de Magellan

Comprendre l'évolution stellaire

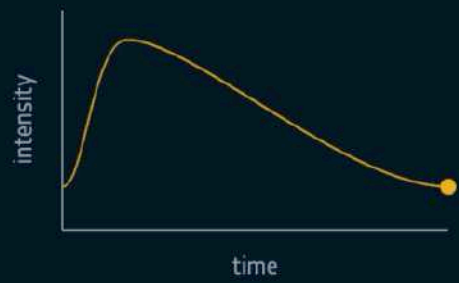
Les amas avec une démonstration (amas des Pleiades)

Diagramme de Hertzsprung Russell et composition chimique du halo

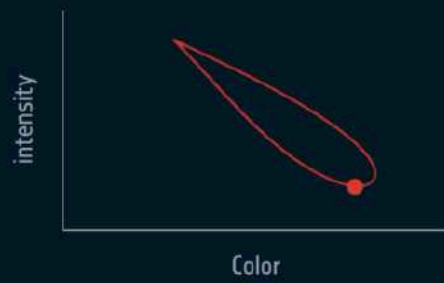
Les étoiles RR Lyrae comme traceur du halo à grande distance



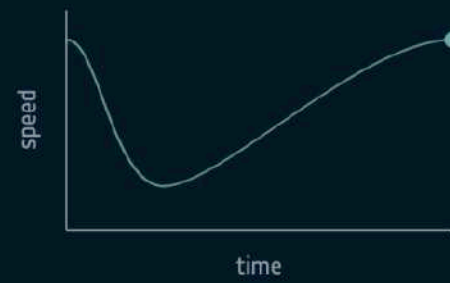
Light intensity



Color/Intensity



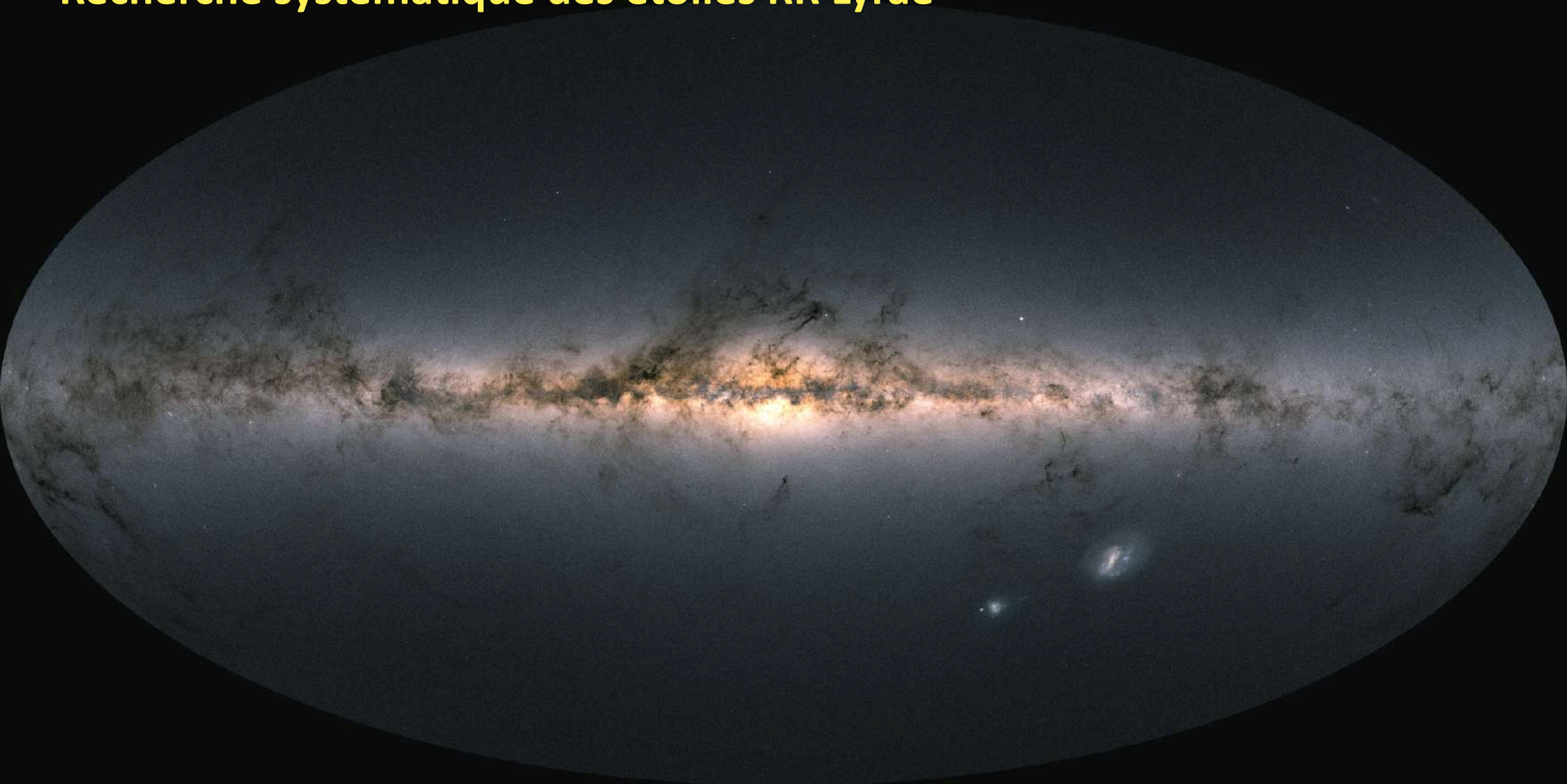
Radial velocity

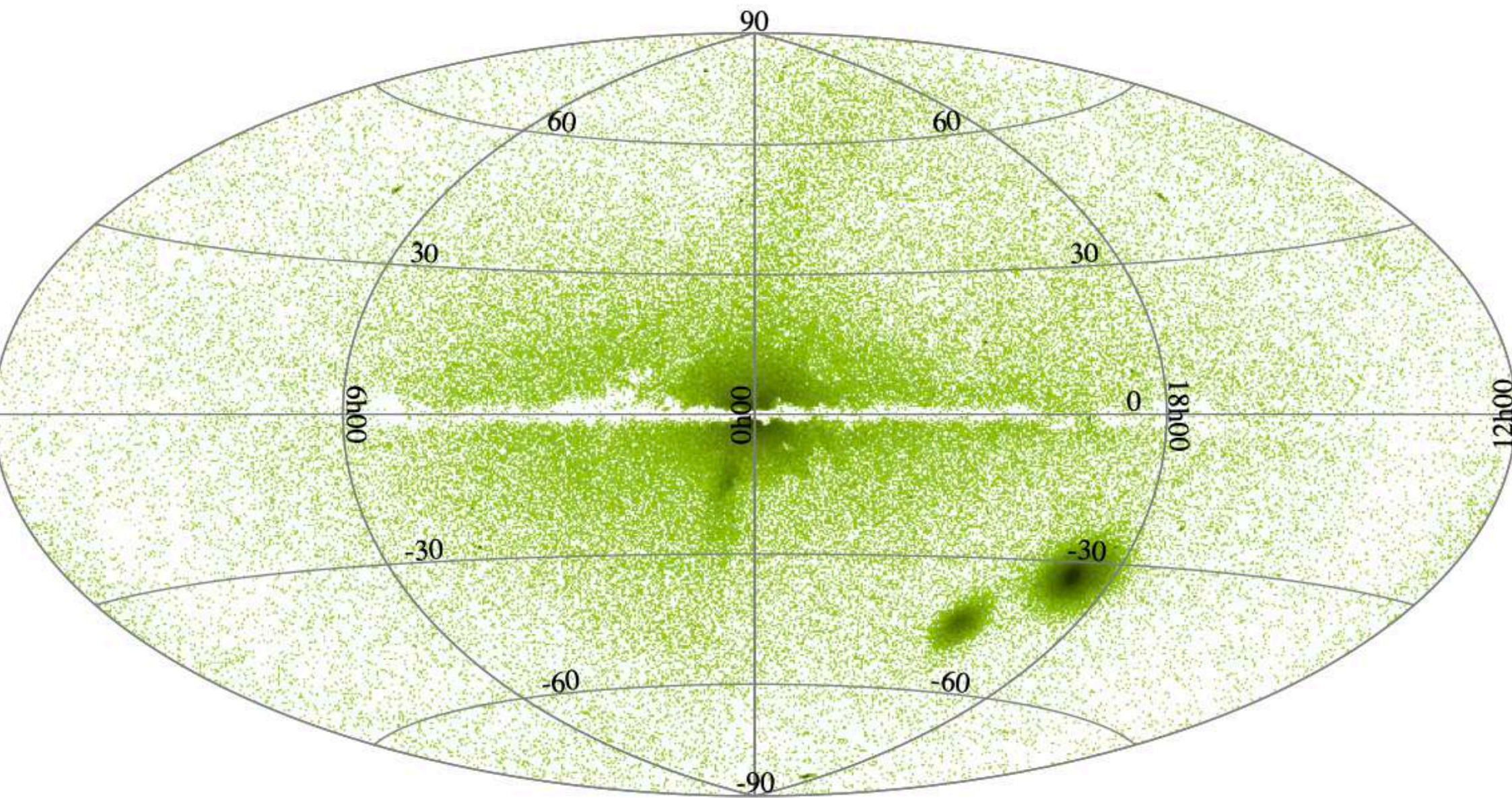


See from afar



Recherche systématique des étoiles RR Lyrae





Les chandelles standards

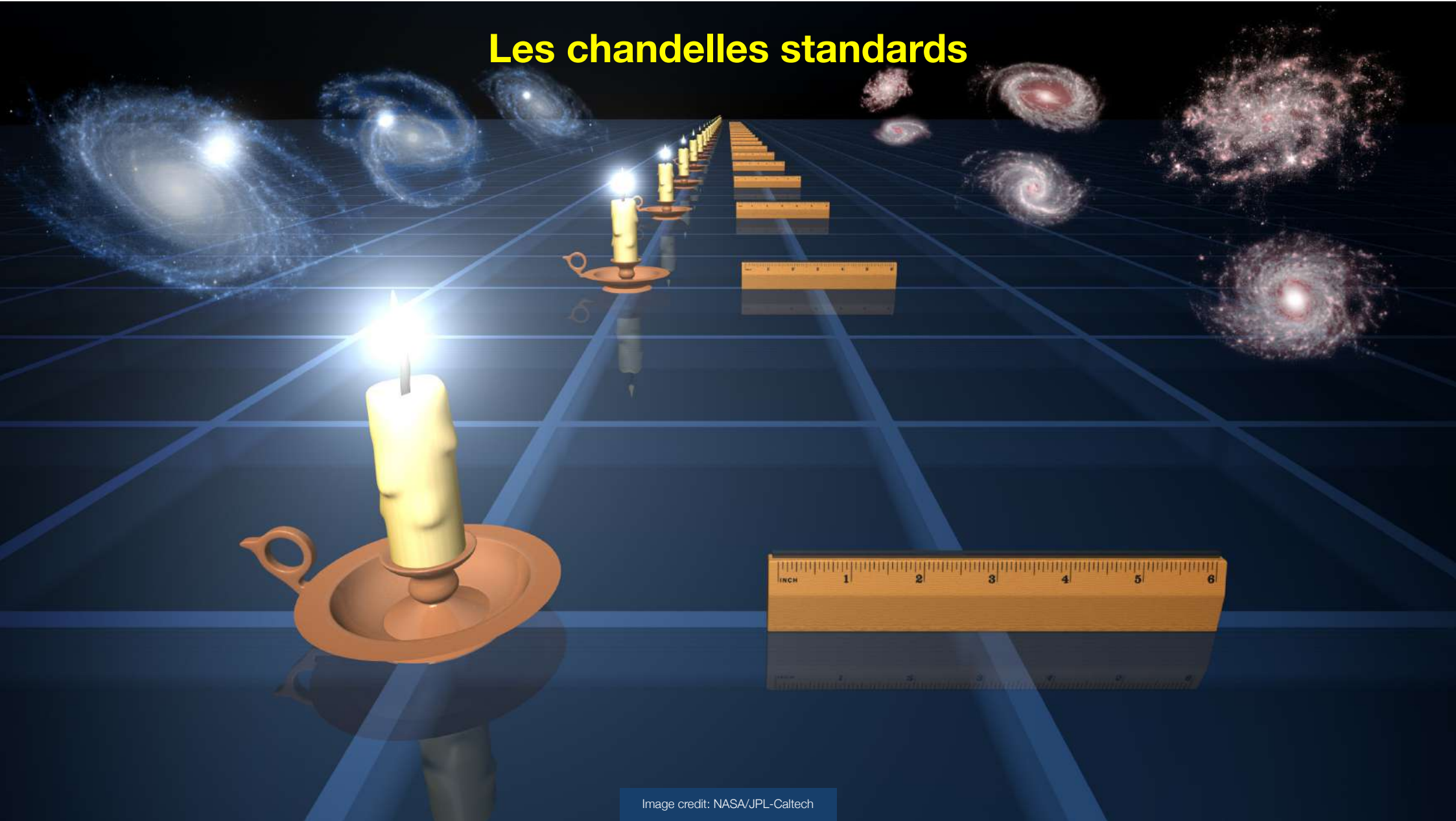
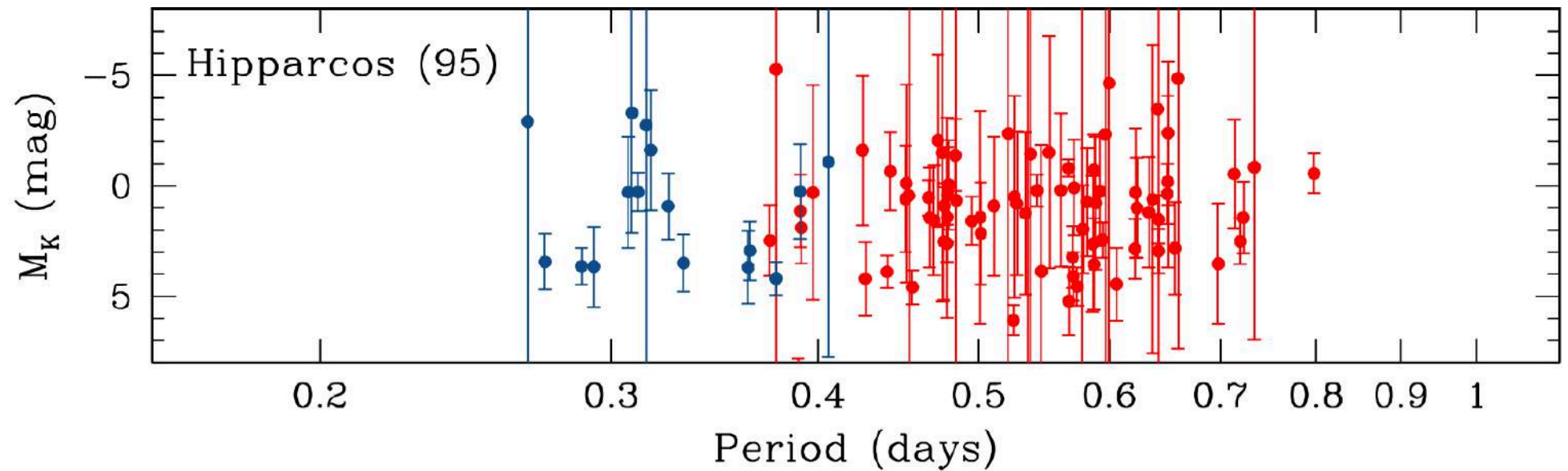


Image credit: NASA/JPL-Caltech

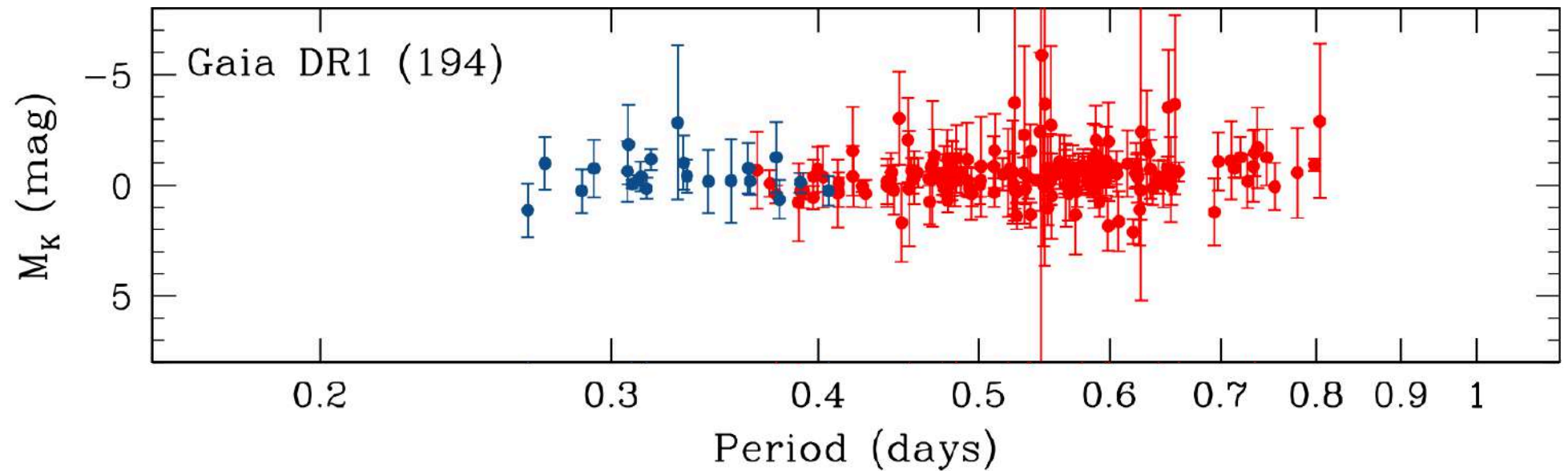
La relation période luminosité des étoiles RR Lyrae ces 25 dernières années

1997



La relation période luminosité des étoiles RR Lyrae ces 25 dernières années

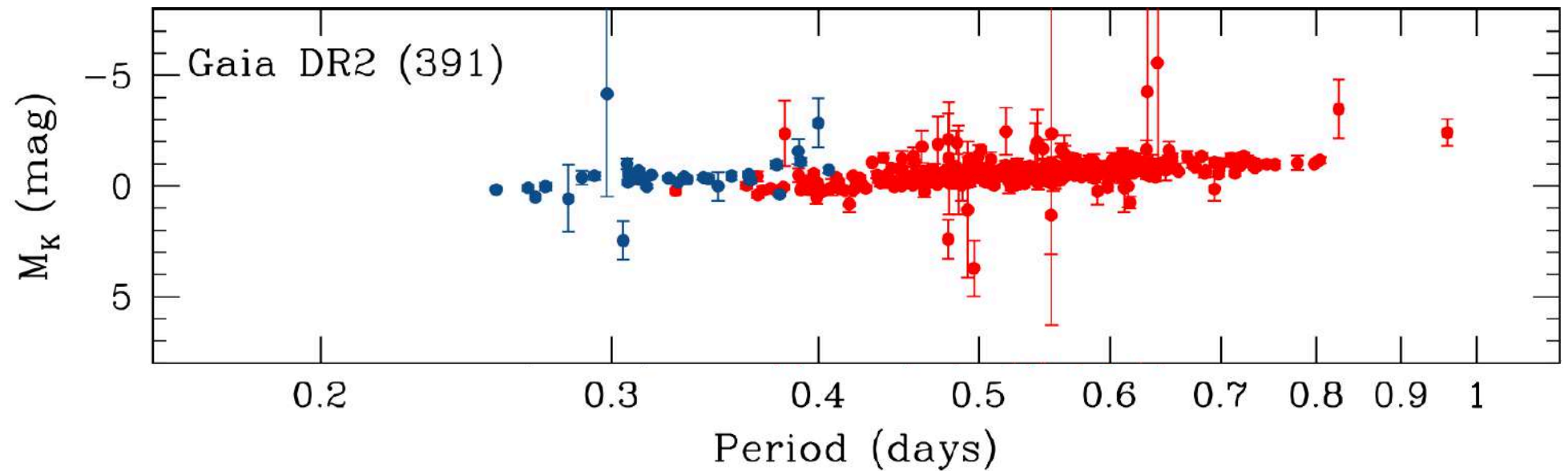
2016



Credit:ESA/Gaia/DPAC: T.Muraveva, A.Garofalo, V. Ripepi, G. Clementini

La relation période luminosité des étoiles RR Lyrae ces 25 dernières années

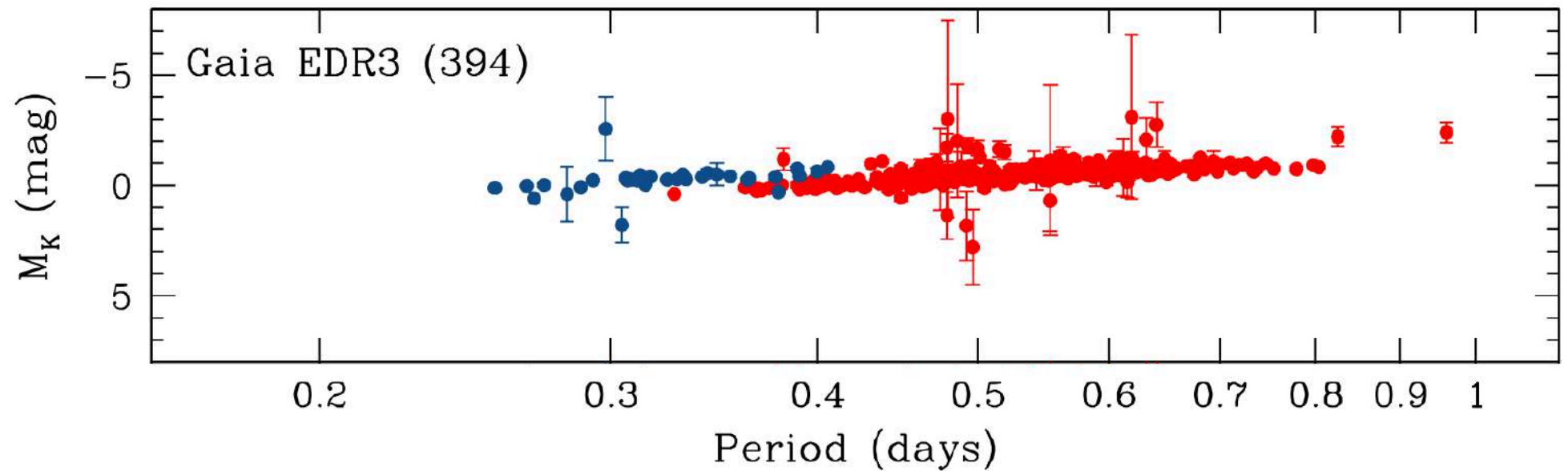
2018

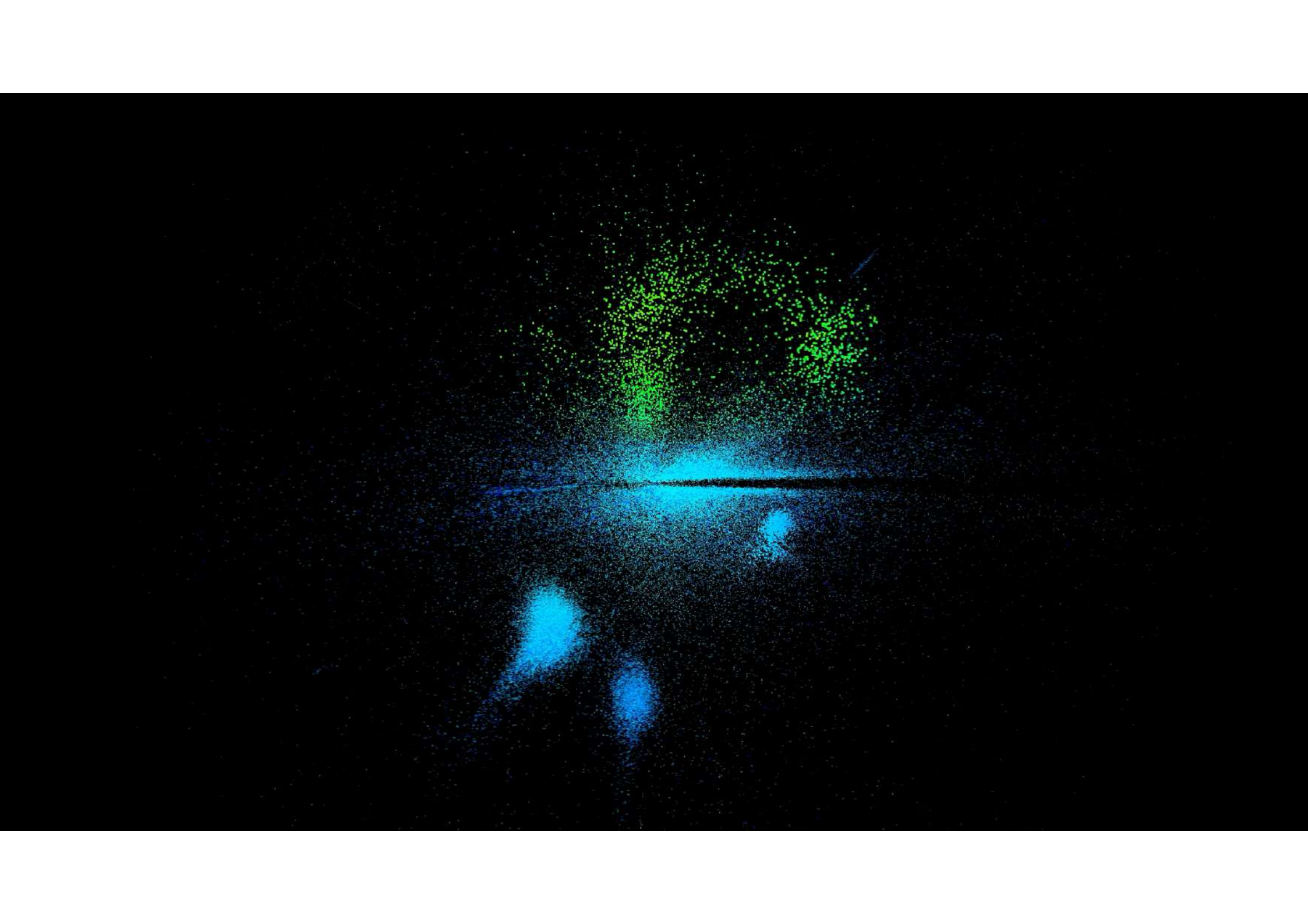


Credit:ESA/Gaia/DPAC: T.Muraveva, A.Garofalo, V. Ripepi, G. Clementini

The relation period luminosity for the pulsating RR Lyrae stars

2020





La galaxie Sagittarius perd ses étoiles

A l'image du Petit Poucet

Mais... la trajectoire de la galaxie Sagittarius n'est pas celle des étoiles que l'on voit



Une autre collision

Collision avec la galaxie naine Sagittarius (découverte en 1994)

Cette collision se déroule sous nos yeux

Collision moins importante qu'avec Enceladus,

Masse de la galaxie naine Sagittarius
comme 400 millions de "soleil" (Enceladus... 50 milliards...)

Conclusion

La compréhension de l'évolution stellaire

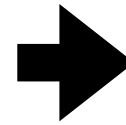
La propriétés physique des étoiles

L'âge

La composition chimique

...

Les propriétés de mouvements des étoiles



Permet de dévoiler
l'histoire de la formation de
notre Galaxie !

Merci
pour votre attention!

