

# Simulating the Universe for Preparing the Gaia mission

A.C. Robin, C. Reylé  
and CU<sub>2</sub>, DPAC consortium

# Les simulateurs de Gaia

- ✿ **GIBIS** (C. Babusiaux) : simulateur des images : simulations des pixels. Les images telles qu'elles apparaissent sur les CCD => test des algorithmes de détection en particulier
- ✿ **GASS** (E. Masana): simulateur de la télémétrie : au long de la mission, simule le readout des CCD pour les objets sélectionnés dans les fenêtres. =>
- ✿ **GOG** (X. Luri) : simulateur de données intermédiaires et de données finales : test les algorithmes de réduction, de classification, production des données finales (test des bases de données intermédiaires et finales)

# *En amont des simulateurs : GaiaSimu*

- **Le modèle d'Univers** : les astres et leurs caractéristiques tels qu'ils arrivent à l'entrée de l'instrument
- **Le modèle d'instrument** (D. Gardiol): la fonction de transfert de l'optique + CCD, la loi de balayage, ...

# *Le modèle d'Univers : objectifs*

**Générer les sources visibles par Gaia ou qui peuvent perturber les mesures et leurs caractéristiques observables**

**Fournir les simulations pour tester les algorithmes de détection, de réduction et d'analyse du DPAC sur des “fausses données” aussi réalistes que possible**

**“Réalisme”** : dépend des connaissances à un temps  $t$ , et des capacités de calcul (Mare Nostrum, accès web). Evolutif à chaque cycle.

# Stratégie

- Cycles de développement de 6 mois (actuellement cycle 7)
- Les CU soumettent des requêtes 1 mois avant le début du cycle => validation DPACE
- 3 mois de développement, 1 mois de test, 1 mois de validation, 1 mois de simulation (Mare Nostrum)
- A la fin du cycle, simulations fournies aux CU.
- Possibilité de faire ses propres simulations (GaiaSimuWeb, Gibis, GOG)

# *Le modèle d'Univers : les ingrédients*

- Planètes, astéroïdes, comètes
- Exoplanètes
- Etoiles
- Nébuleuses
- Galaxies, QSOs, SN

- Modèle de Relativité PPN
- Extinction interstellaire
- Backgrounds
- Environnement radiatif

# Les caractéristiques des sources

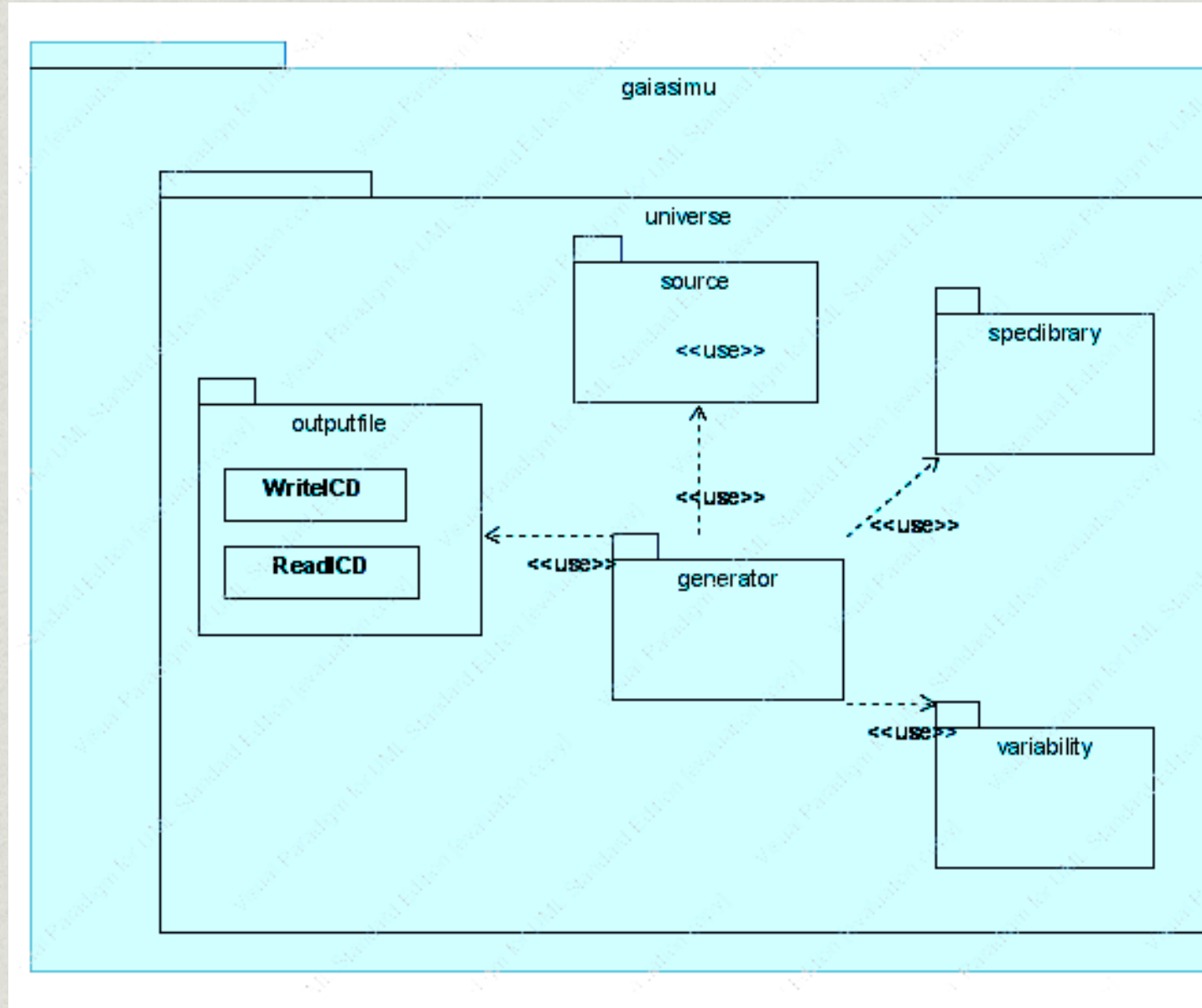
Photométrie (G, millimag)

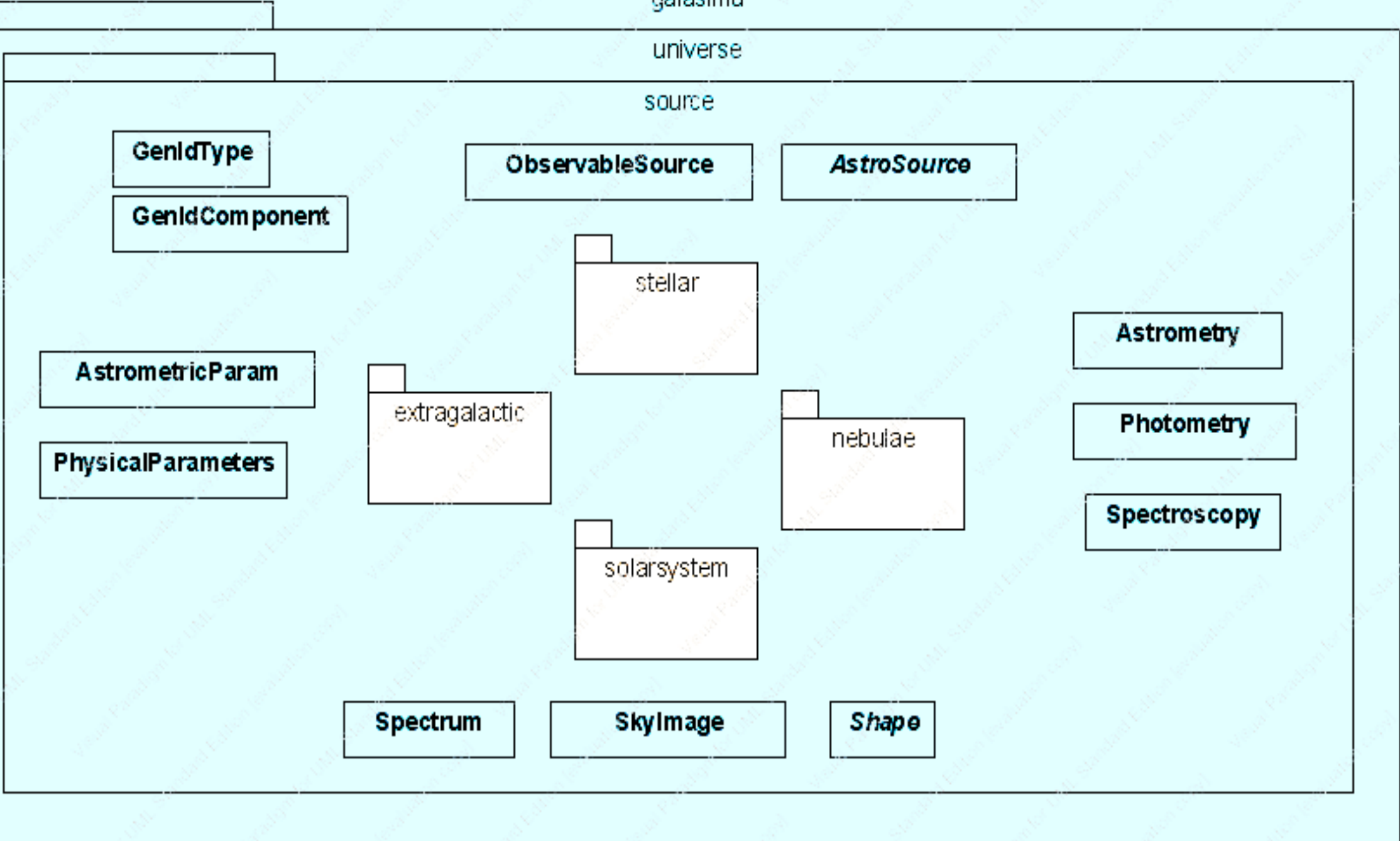
Astrométrie (10  $\mu$ as)

Spectres (BP/RP, RVS)

Images (objets étendus)

Déplacements et variabilité





- Cohérence : Effets astrométriques (binaires) => déplacement photocentre



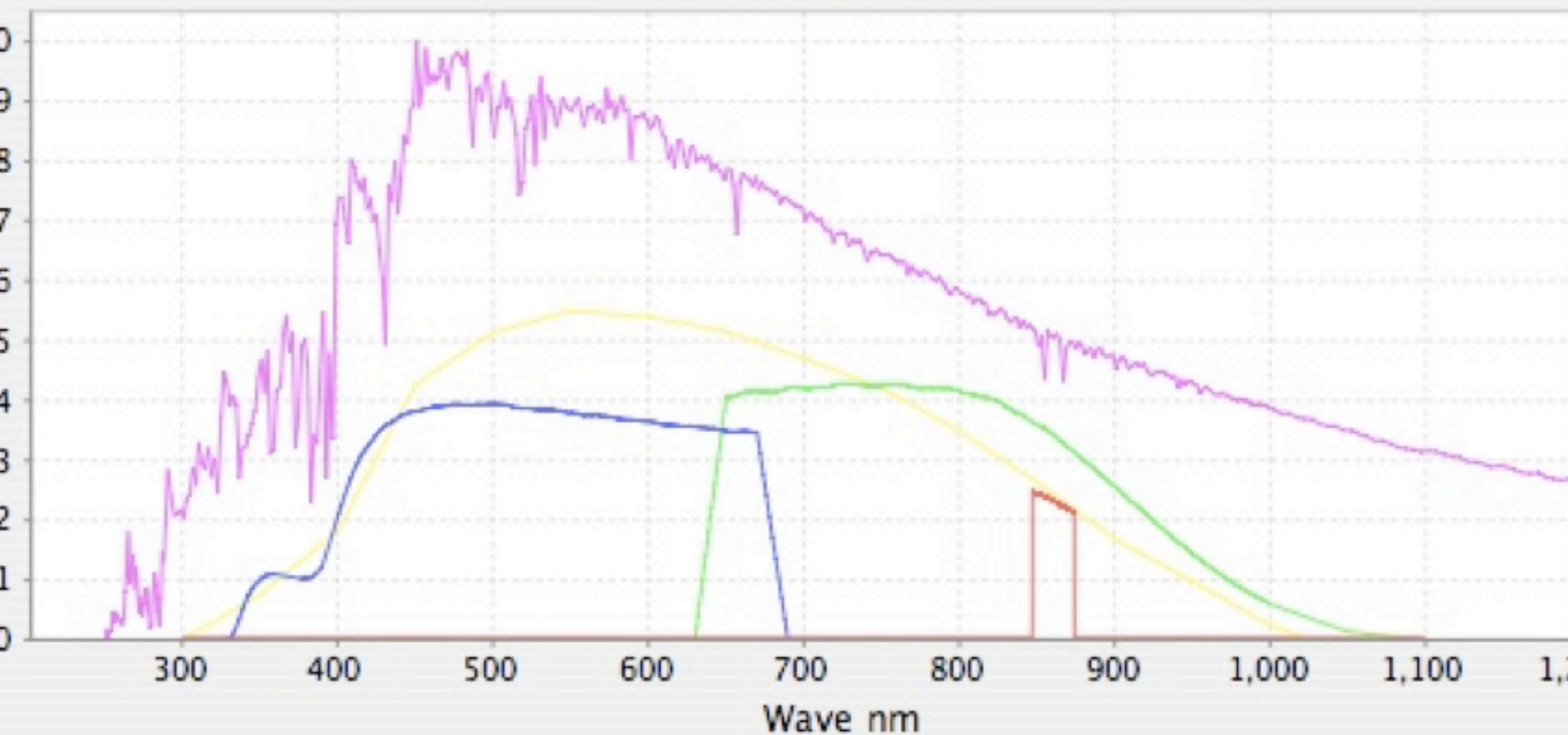
# Astrométrie

- Etoiles simples : modèle cinématique : position , m.p.,  $V_r$
- Multiples : orbites, éclipses, (transits exoplanètes)
- Déplacement photocentre (spots)
- QSO: mouvement reflexe de la Galaxie (p.r. LSR)
- Astéroïdes : orbites, listes de transits dans l'instrument, astéroïdes multiples
- Effets relativistes (astrométrie, temps source/observateur,...)
- Microlentilles, effets des planètes

# Photométrie

- ✱ D'après les spectres
- ✱ Cohérence avec effets astrométriques : recalcul photométrie après astrométrie, pour les binaires avec variables (VIM),...

# Gaia bands



— RVS — BP — RP — G — GOV-Basel2 spectrum

# Librairie spectrale

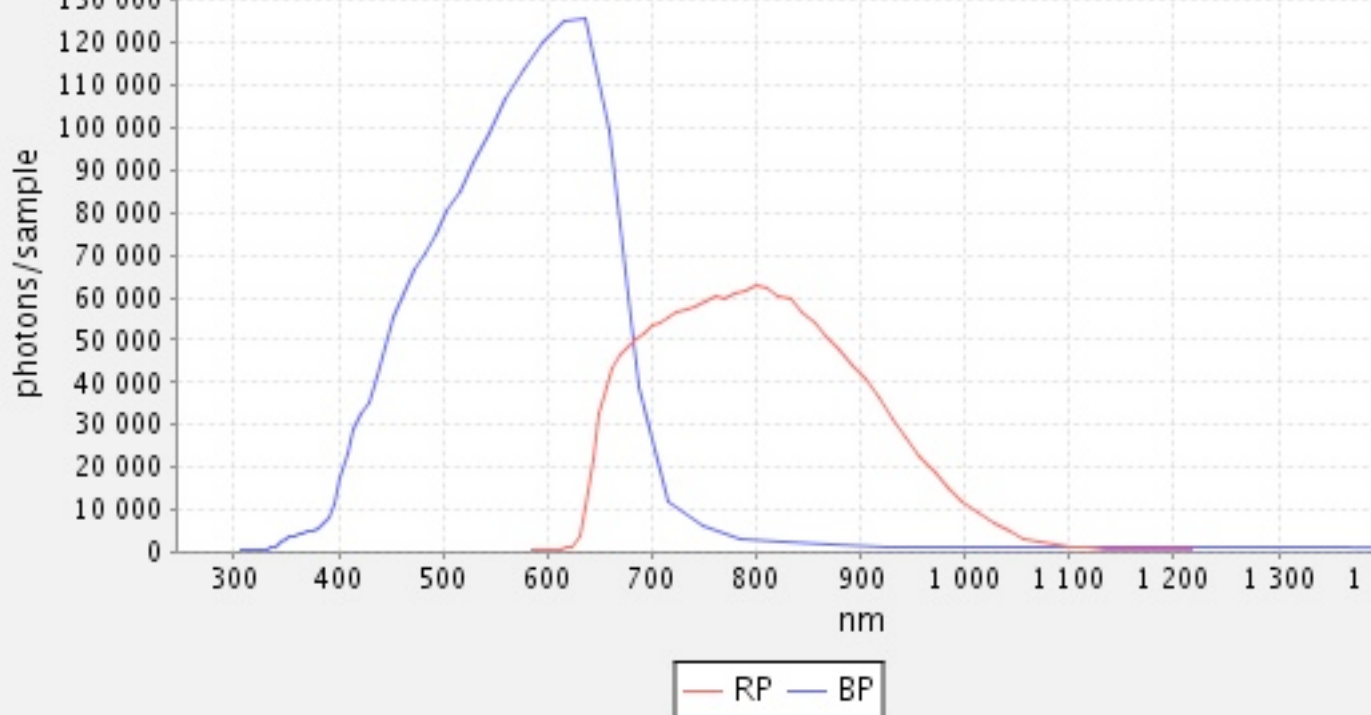
Sartoretti

Etoiles : Basel, Kuruz, Marcs (C)

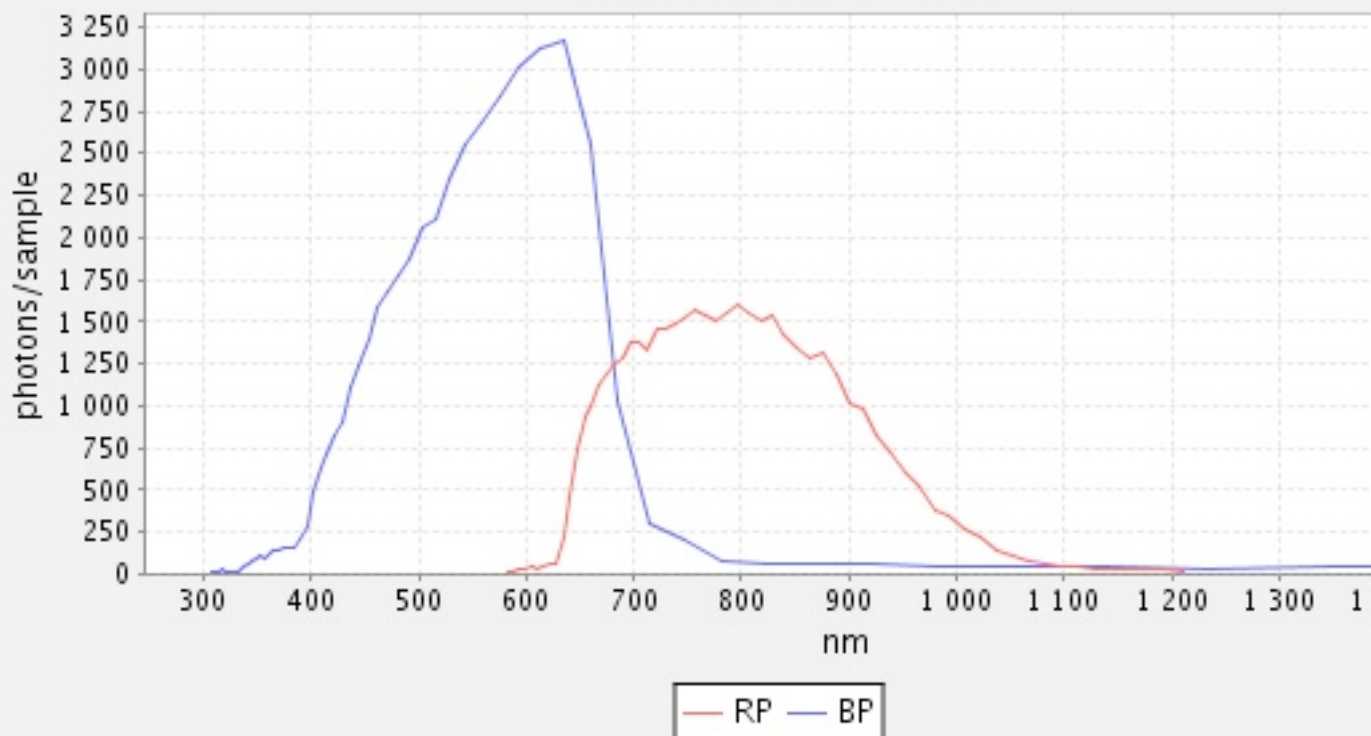
Galaxies : Stuff, PEGASE

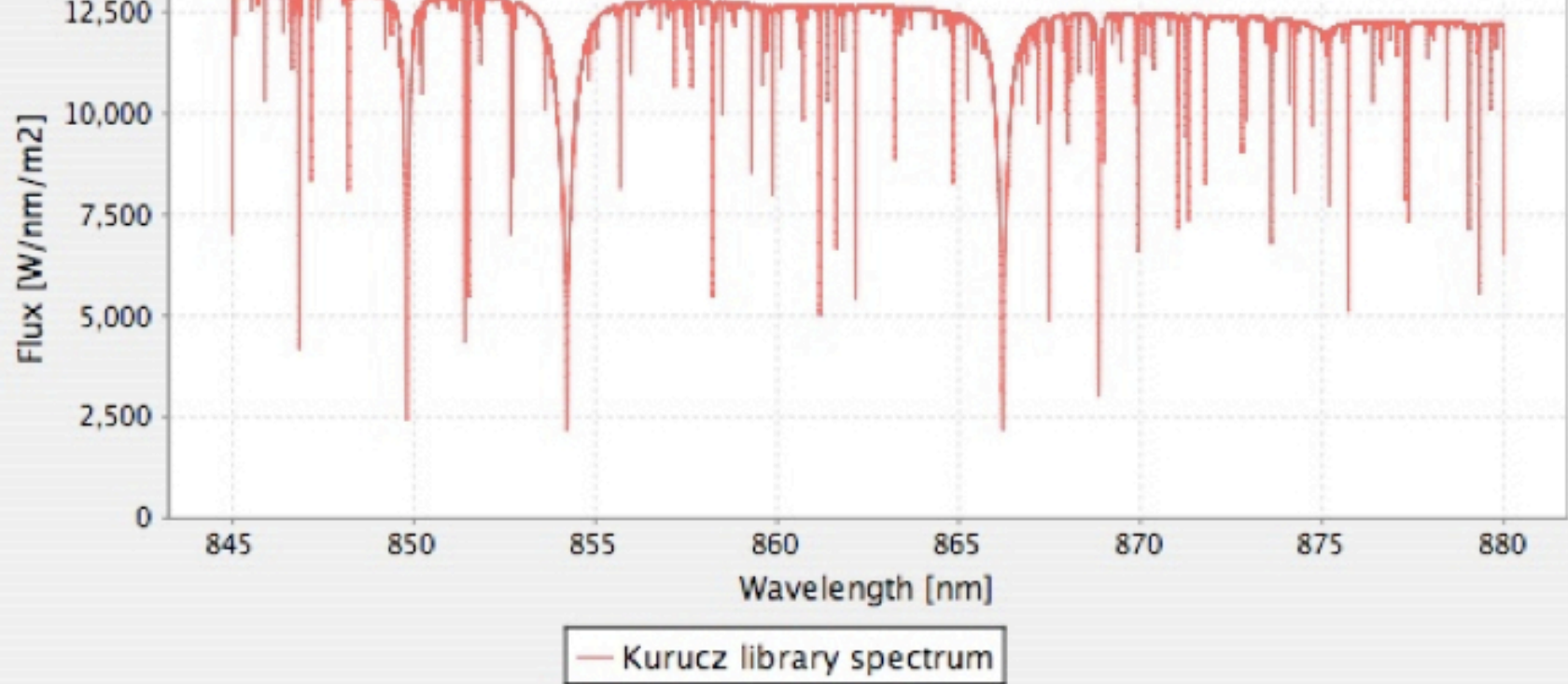
QSOs : Claeskens, Slezak & M

Astéroïdes : Benjoya (en cours)

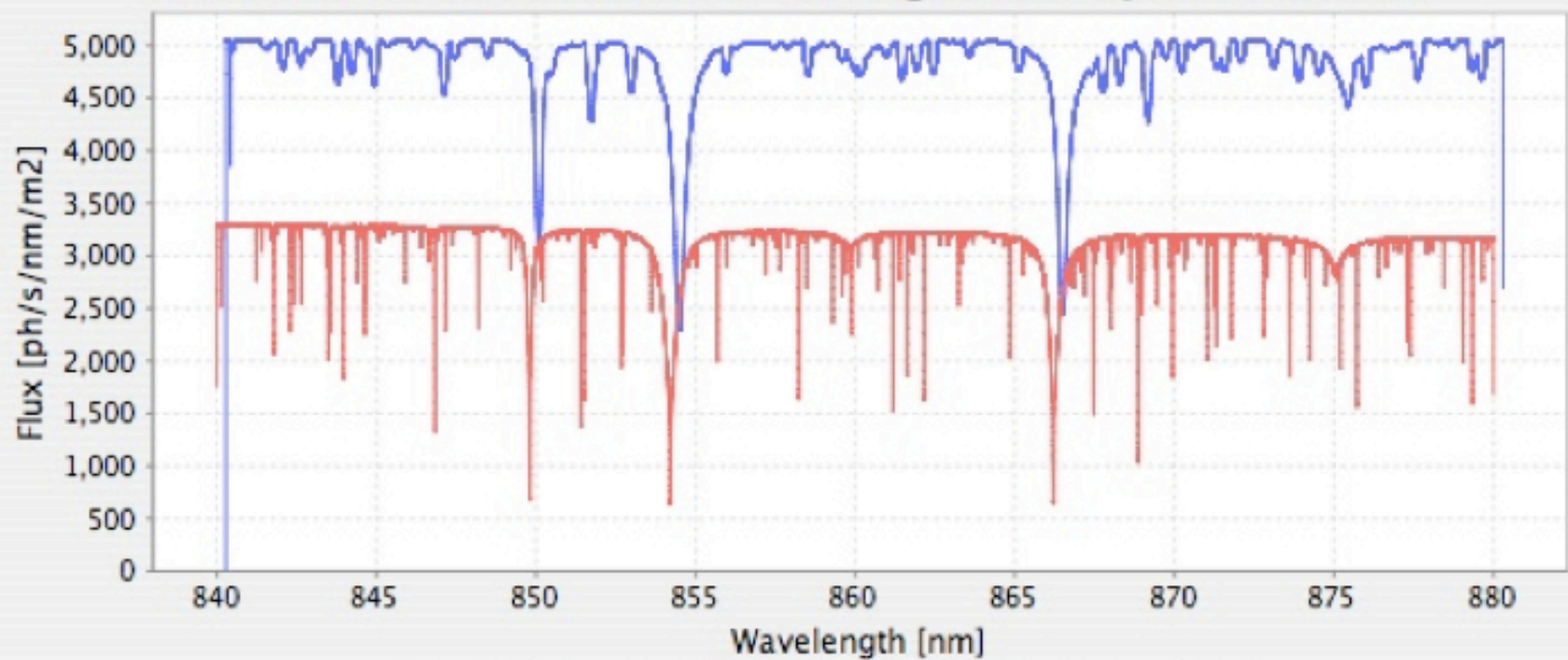


**GIBIS: GOV V=15**

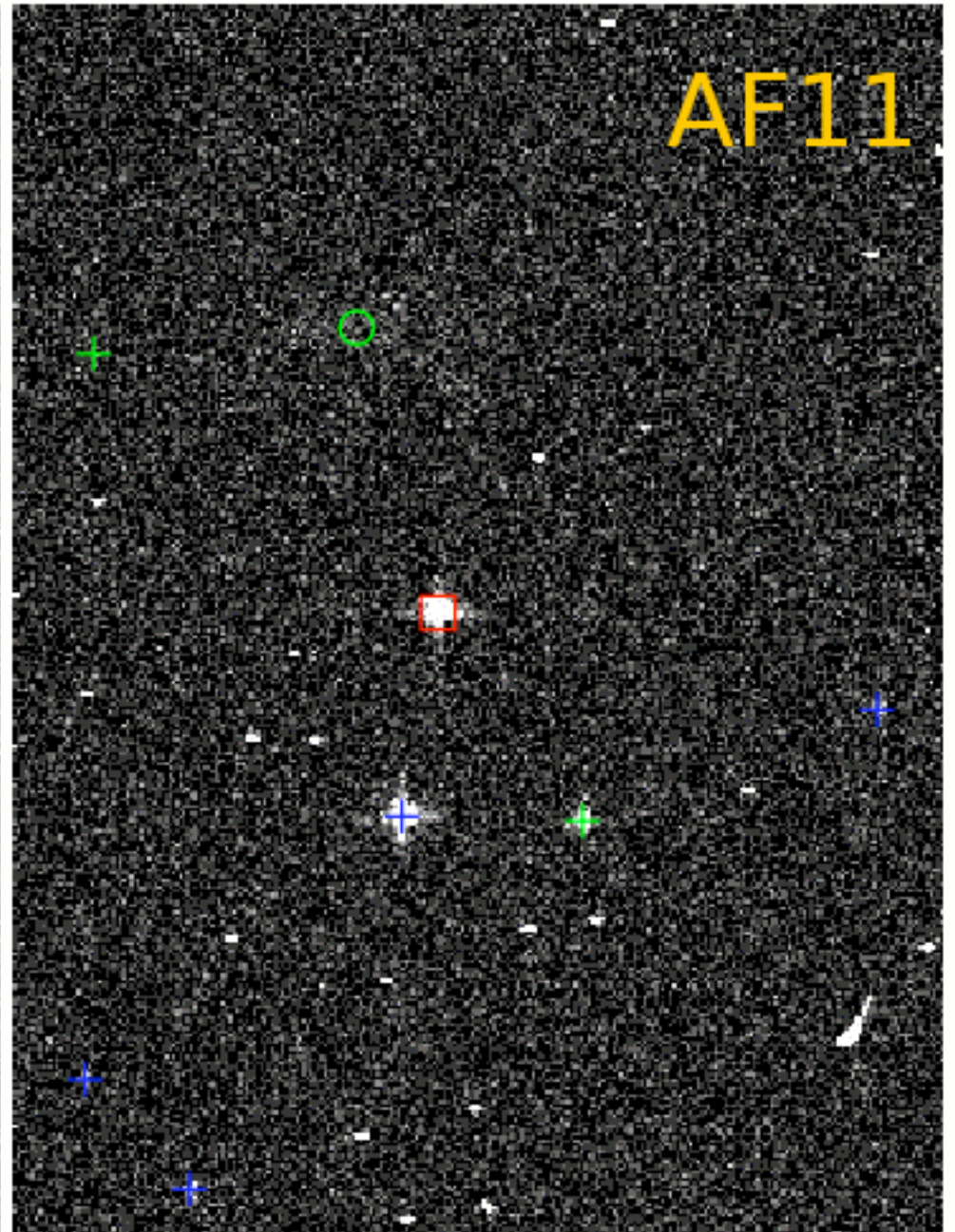
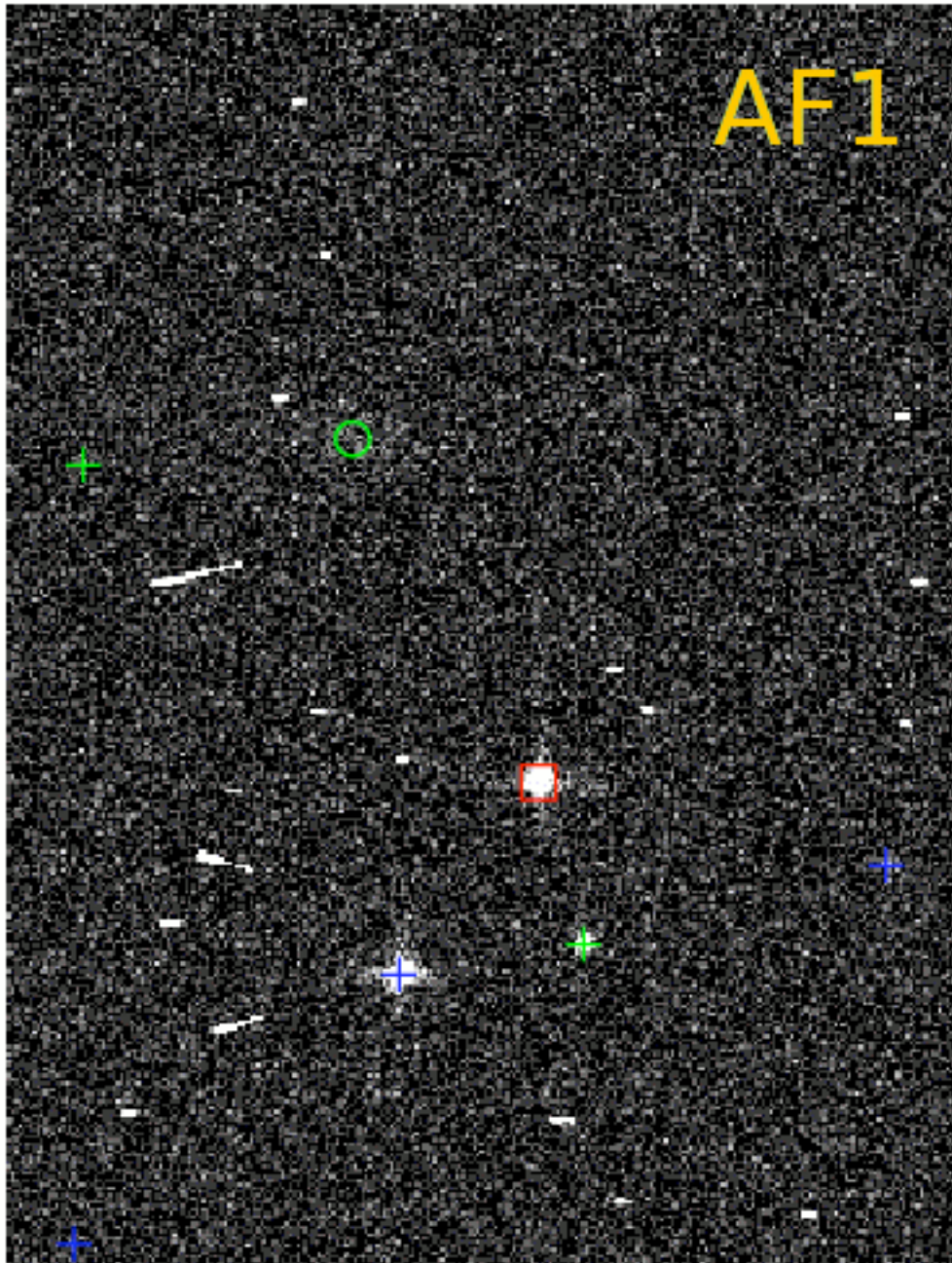




### Observable (i.e. before entering Gaia) spectra V=11



Astro2 telescope stars at  $l = 262^\circ$ ,  $b = -26^\circ$  (blue crosses)  
NEO of  $V=18$ ,  $VAL= 40$  &  $VAC= 60$  mas.s-1 (red box)  
galaxies (green circles)  
cosmic rays 18 impacts.cm-2.s-1  
background  $V= 22.5$  mag.arcsec-2



# Systeme solaire

• *P. Tanga & F. Mignard*

• Catalogue des éléments orbitaux de qq  $\sim 10^5$  objets.

• Ephémérides + loi de balayage => Liste de “rencontres”  
injectée dans GASS

• En cours : Images d’astéroïdes : catalogue d’images  
“théoriques” (sphères, ellipsoïdes ...), génération de spectres

• Plus tard : images complexes, astéroïdes multiples, comètes

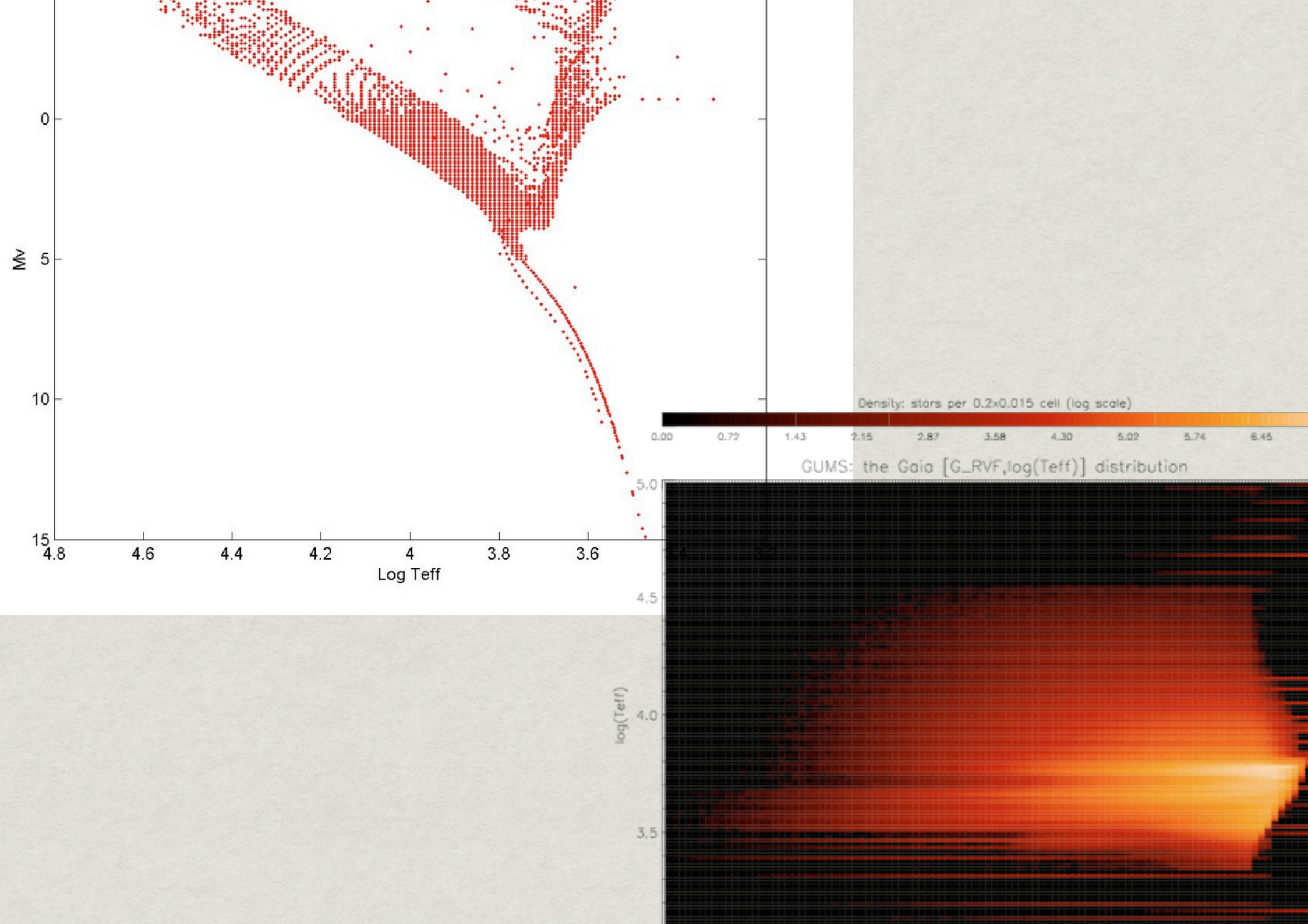
# *Les étoiles de la Voie Lactée*

- ✱ Modèle de Besançon
- ✱ Compléments : multiplicité, variabilité
- ✱ Amas stellaires (en préparation)



# Les étoiles de la Voie Lactée

- *Modèle de Besançon* : modèle standard 4 populations
  - Disque : SFR constant, IMF 3 pentes (*Haywood et al 1997*)
  - Disque épais : 700 pc, 4.6%, 10 Gyr, -0.7 dex (*Reylé & Robin, 2002*)
  - Sphéroïde : 12 Gyr, -1.5 dex (*Robin et al 2000*)
  - Bulbe : 10 Gyr, 0 dex (*Picaud & Robin 2005*)
  - Étoiles primaires ou simples.
  - Lois de densité => Génération des étoiles ( $M_v$ ,  $T_{sp}$ , Age, Masse,  $T_{eff}$ ,  $\log [Fe/H]$ ,  $[\alpha/H]$ )
- *Binaires (F. Arenou)* : Génération des secondaires selon une probabilité qui dépend du type de la primaire. Tirages selon distribution des  $m_2/m_1$  et des demi-grand axe.
- Corrections photométriques, astrométriques, spectroscopiques, éclipses, se orbites des composantes (jusqu'à 3)
- Effets d'une tache sur la surface d'étoiles de type solaire sur le photocentre



# Variables stellaires

\* Types de variables : ACV,  $\delta$  Scuti, RRab, RRC, Cepheïdes, roAp, Semi-régulières, dwarf novae. (N. Mowlawi, L. Eyer)

\* En cours = Miras

\* Définition par régions de lumière

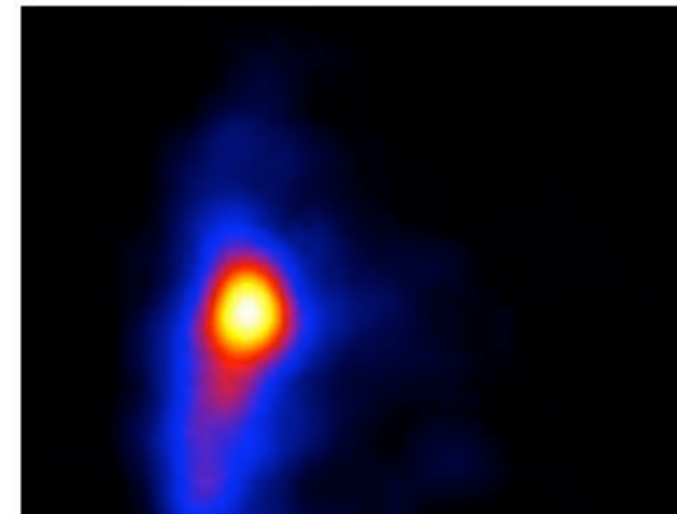
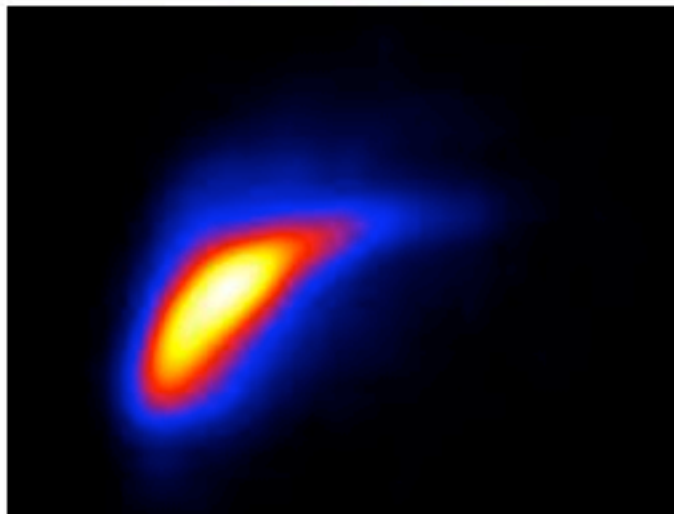
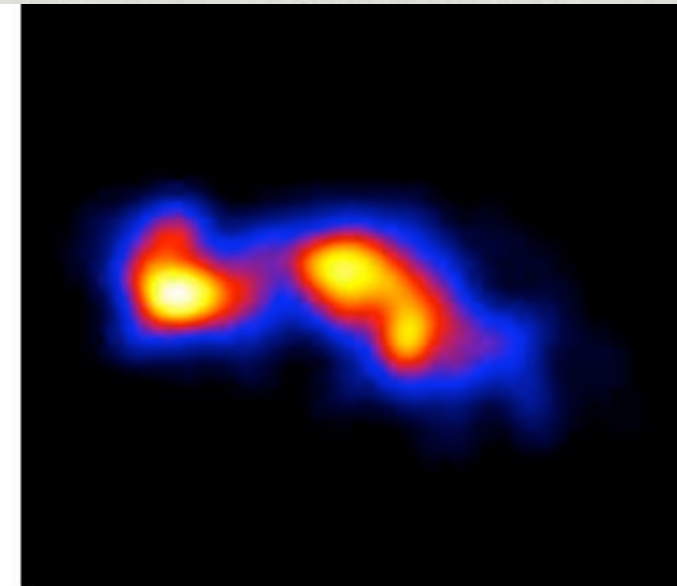
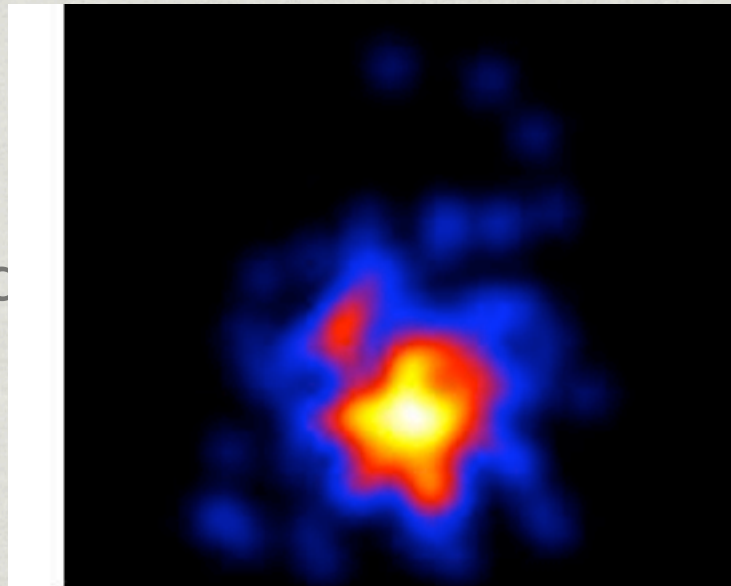


Table 5: Characteristics of the variable types. Localization in the (spectral type, luminosity class) diagram, probability in this region, stellar population and metallicity range which are concerned.

Type name	Spectral type	Lum. class	Probability	Stellar pop.	metallicity range
$\delta$ Scuti (a)	A0-F2	III	0.3	all	all
$\delta$ Scuti (b)	A1-F3	IV-V	0.3	all	all
ACV (a)	B5-B9	V	0.016	thin disc	-1 to 1
ACV (b)	A1-A8	IV-V	0.01	thin disc	-1 to 1
Cepheid	F5-G0	I-III	0.3	thin disc	-1 to 1
RRab	A8-F5	III	0.4	spheroid	-4 to -1
RRc	A8-F5	III	0.1	spheroid	-4 to -1
RoAp	A0-A9	V	0.1	thin disc	-1 to 1
SemiRegular (a)	K5-K9	III	0.5	all	all
SemiRegular (b)	M0-M9	III	0.9	all	all

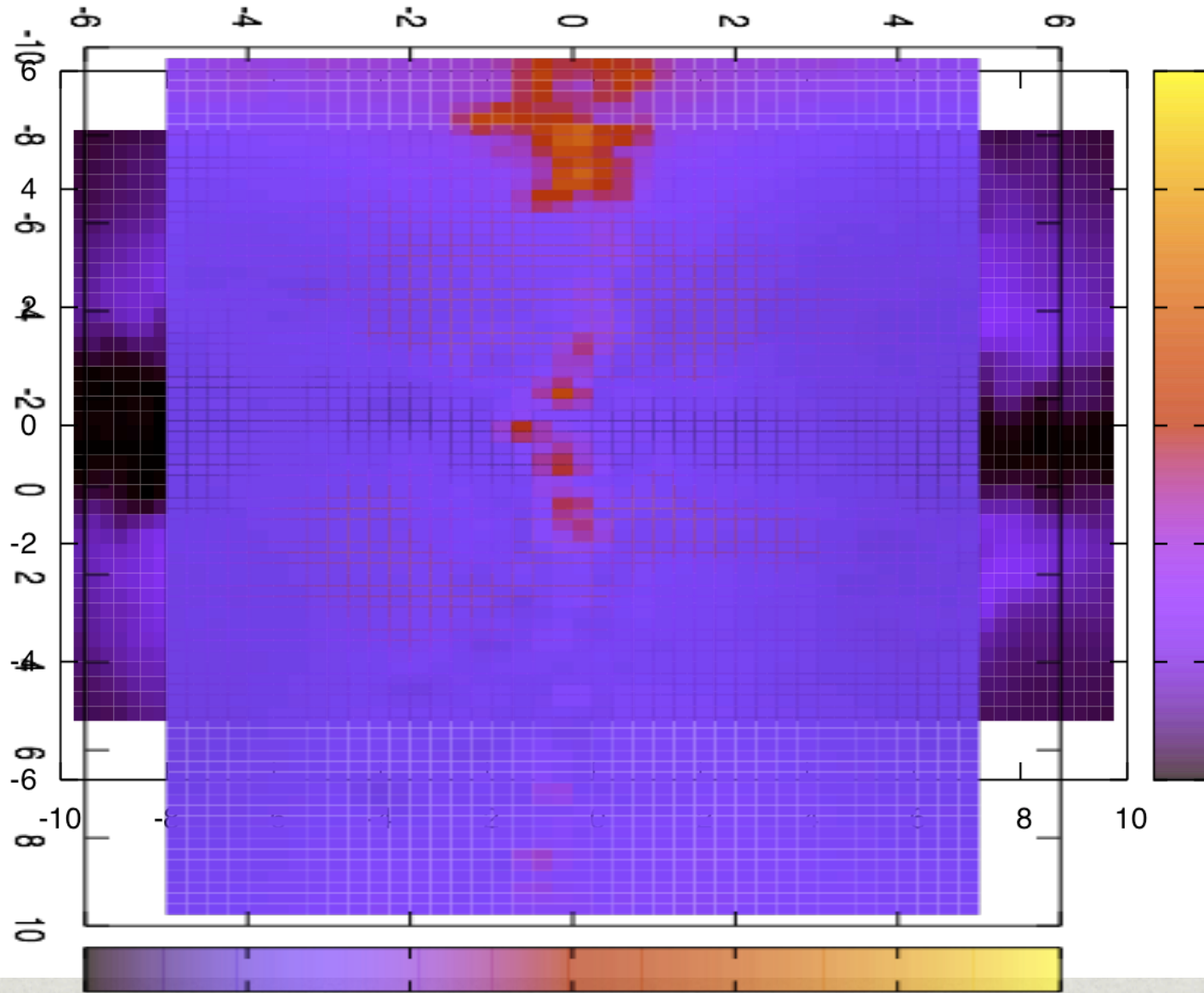
Variability type	Light curve
Cepheid, RRab	$S = 0.418 \sin(\omega t - 20.76) + 0.1419 \sin(2\omega t - 63.76) \\ + 0.0664 \sin(3\omega t - 91.57) + 0.0354 \sin(4\omega t - 112.62) \\ + 0.020 \sin(5\omega t - 129.47)$
$\delta$ Scuti, roAp, RRc	$S = 0.5 \sin(\omega t)$
ACV	$S = -0.5 \cos(2\omega t)(1 - f * \cos(\omega t))/(1 + f/2), f \text{ random from } 0 \text{ to } 1$
SemiRegular	Inverse Fourier Transform of a gaussian in frequency space

# Micro-lentilles gravitationnelles

Cartes Modèle de  
Besançon : Kerins  
et al 2009

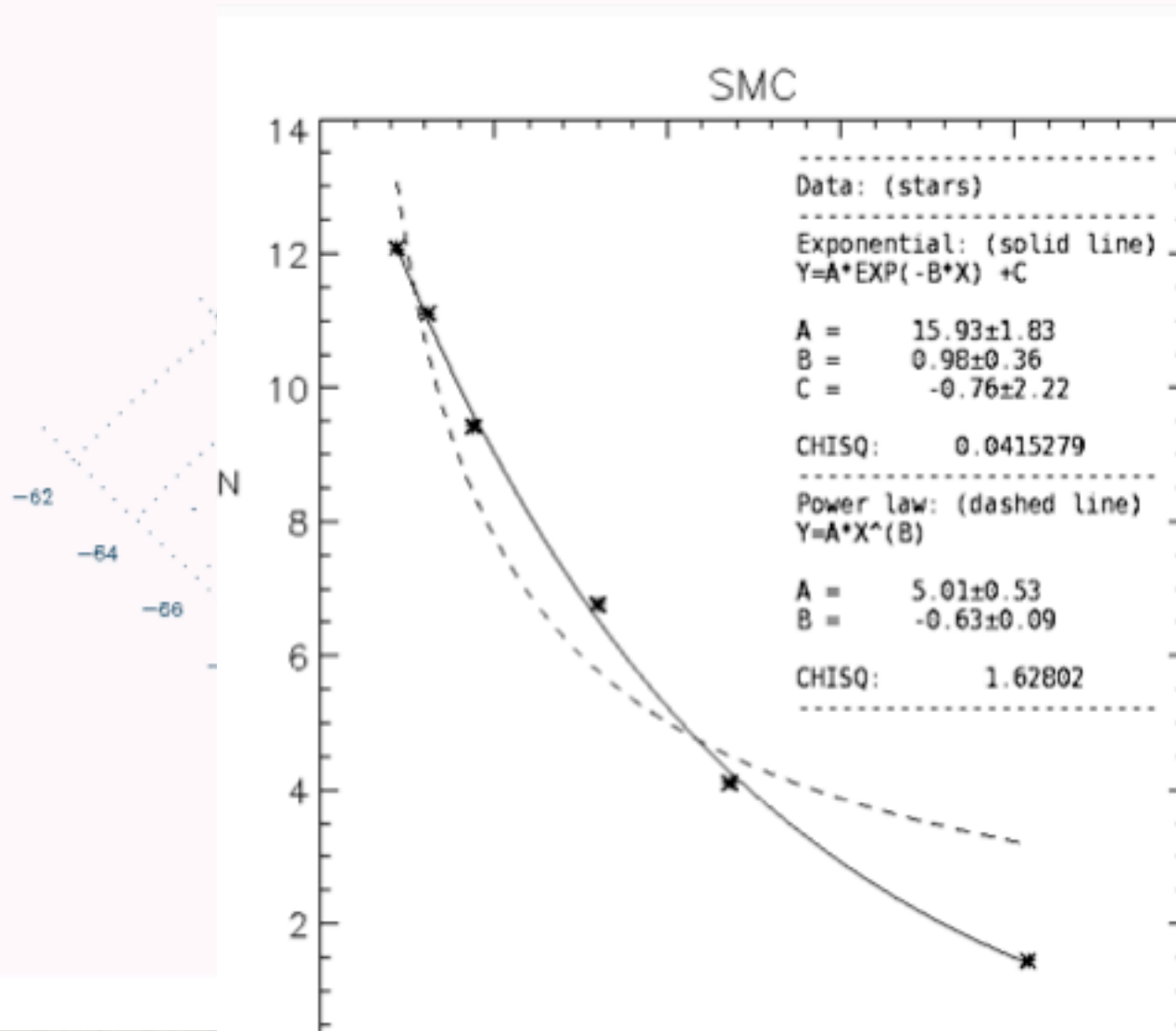
Probabilité de  
lentillages sur les 5  
ans

Distribution de la  
durée moyenne des  
événements



# Les galaxies résolues en étoiles

SuperCosmos,  $B_j - I < 1$



Structure of the SMC-  
Stellar component distribution  
2MASS data

I. Gonidakis, E. Livanou, E. Kontizas,  
U. Klein, M. Kontizas, M. Belcher,  
P. Tsalmantza, and A. Karampani

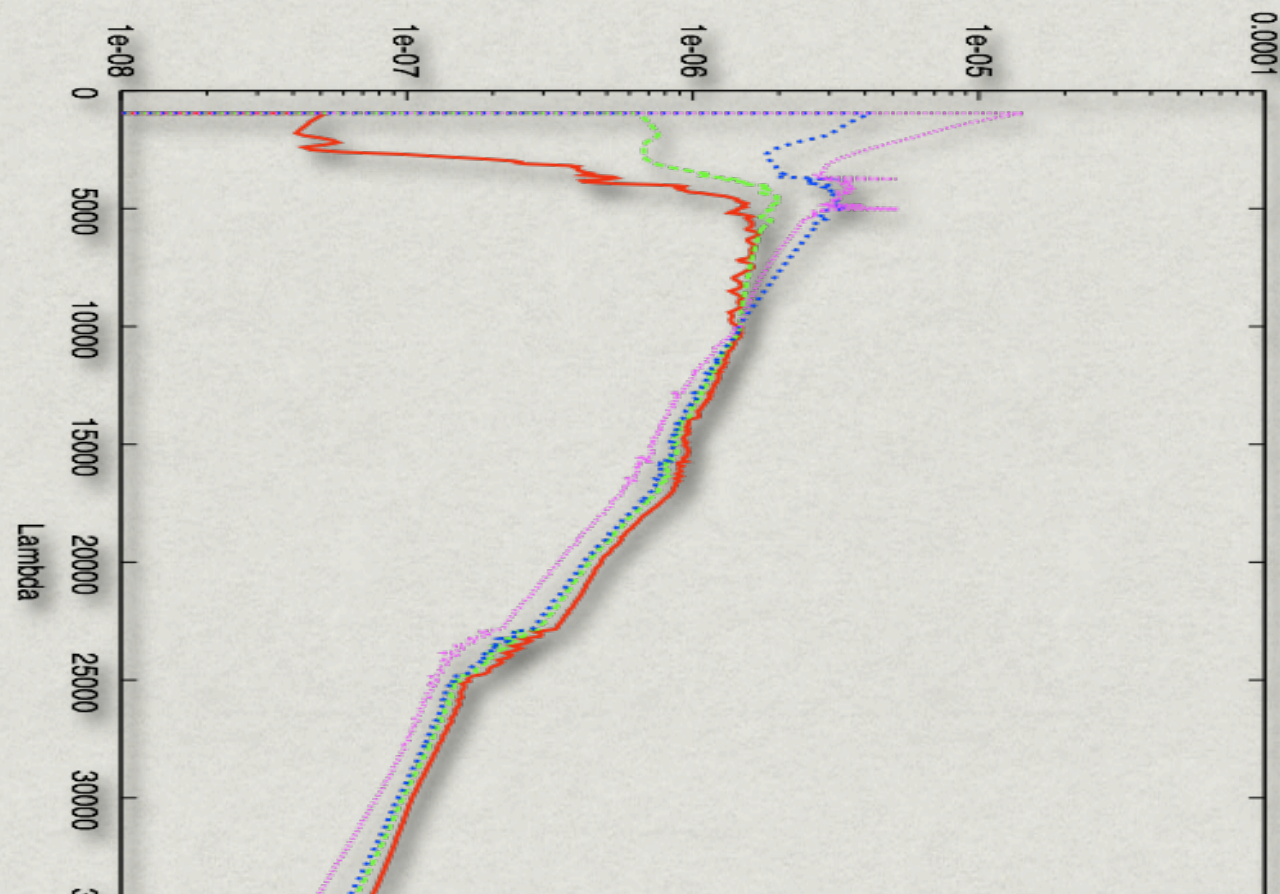
submitted in A&A

Galaxies: distribution sur le ciel : Stuff (Bertin et al.)

Génération de galaxies à partir de disque+bulbe

Fct Lum. pour chaque type

Positions, spectres, images



Bibliothèque de spectres plus réaliste en cours (PEGASE, Rocca-Volmerange, Kontizas et al)

# QSOs

E. Slezak, F. Mignard, J.C. Mauduit

Distribution sur le ciel, en magnitude, en couleur, et en redshift, conformes au SDSS

Catalogue de 500 000 quasars

Positions, mouvements propres apparent (reflex galactique), magnitude G, pente du spectre, force de raies

En cours : génération du spectre

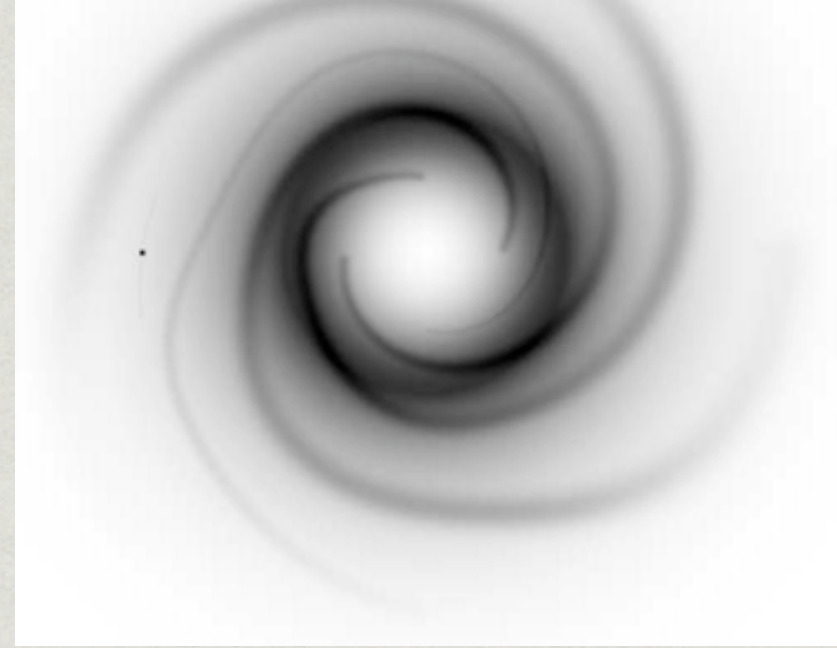
En projet : variabilité



# *Backgrounds*

- ✱ Lumière zodiacale
- ✱ Nébuleuses et Régions HII (catalogue et images HST, spectres plus tard)
- ✱ Objets diffus : estimation des perturbations sur les algorithmes de détection, d'analyse et de classification

# Complements



- Extinction interstellaire : R. Drimmel et al.
- Relativité Générale : S. Klioner et al.
- Environnement radiatif : A. Short, ESA



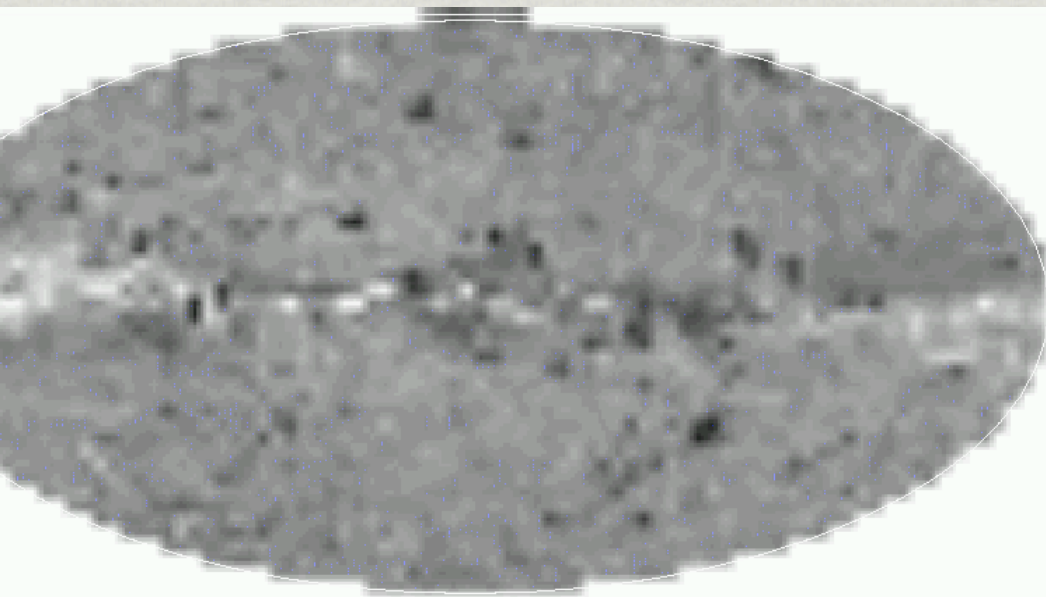
# Tests

Tests unitaires

Tests d'intégration

Tests de validation

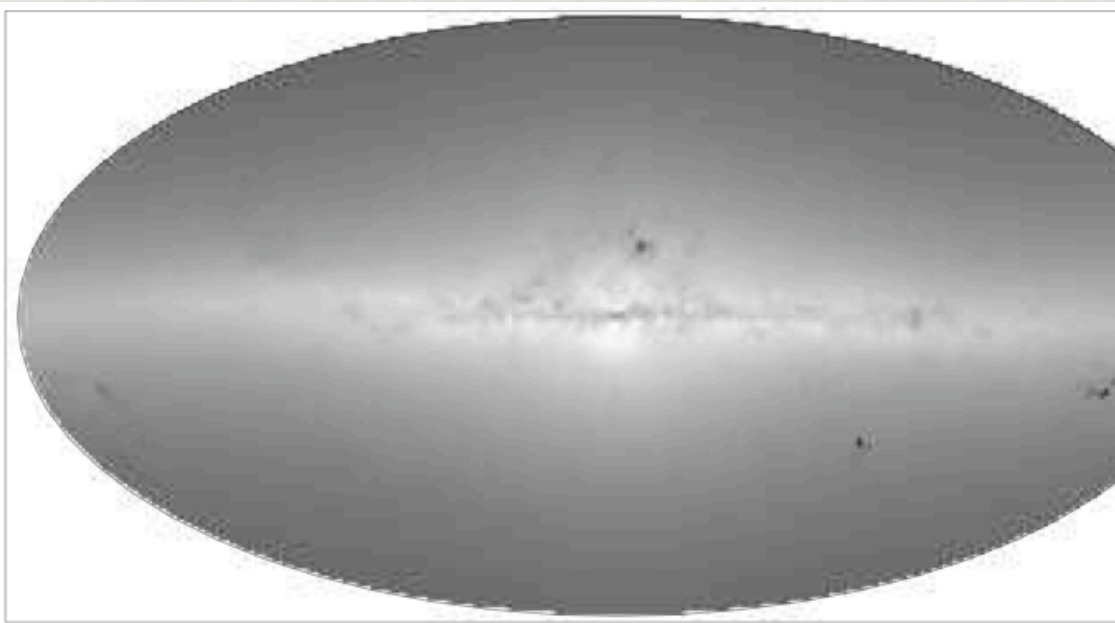
$14.4 < G < 15$



$D = (N_{\text{mod}} - N_{\text{obs}}) / N_{\text{obs}}$   
 $\log(D - \min(D) + 1)$   
D entre -2 (blanc) et 1 (noir)



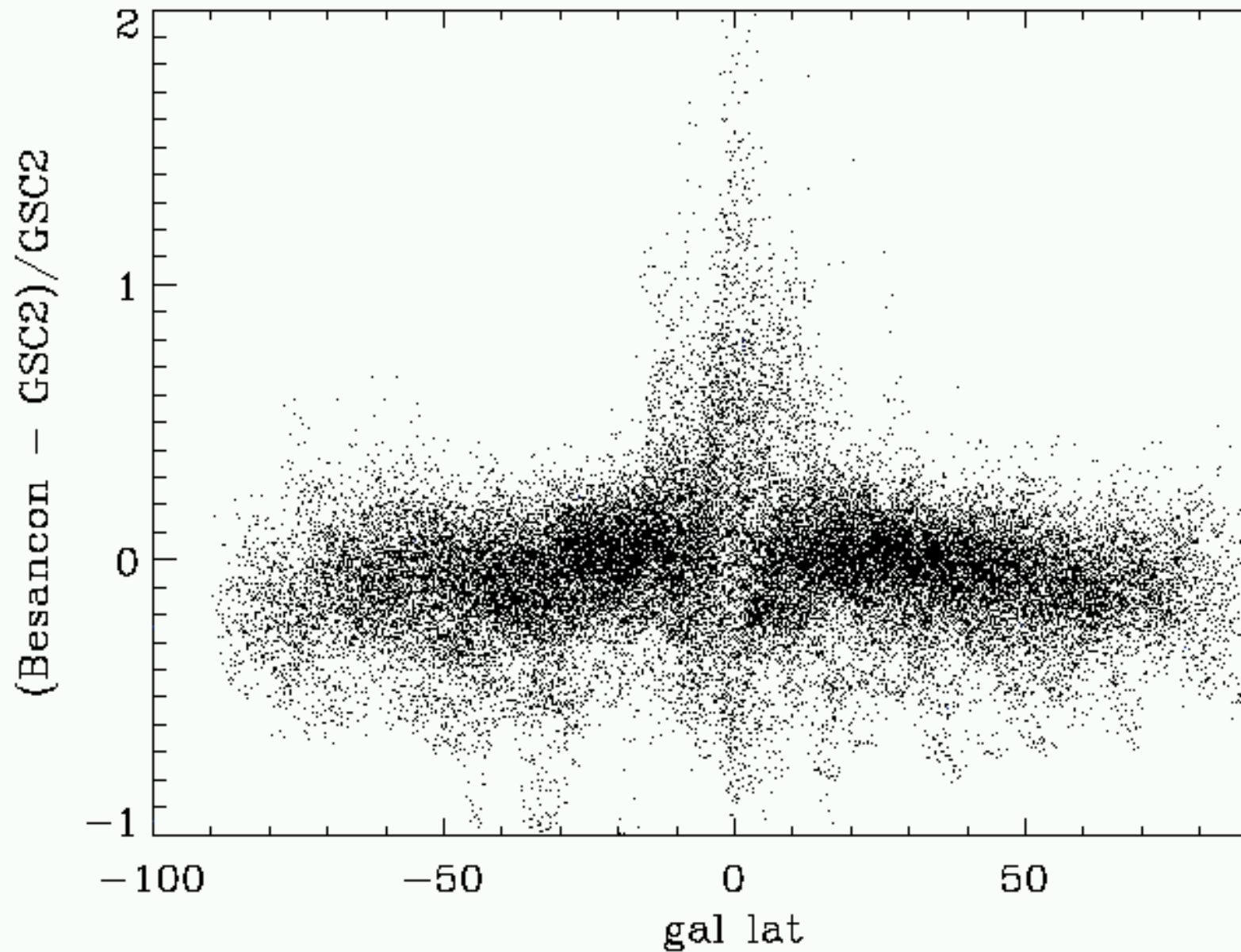
COMPARAISON COMPTAGES GSC2 /



Tests unitaires

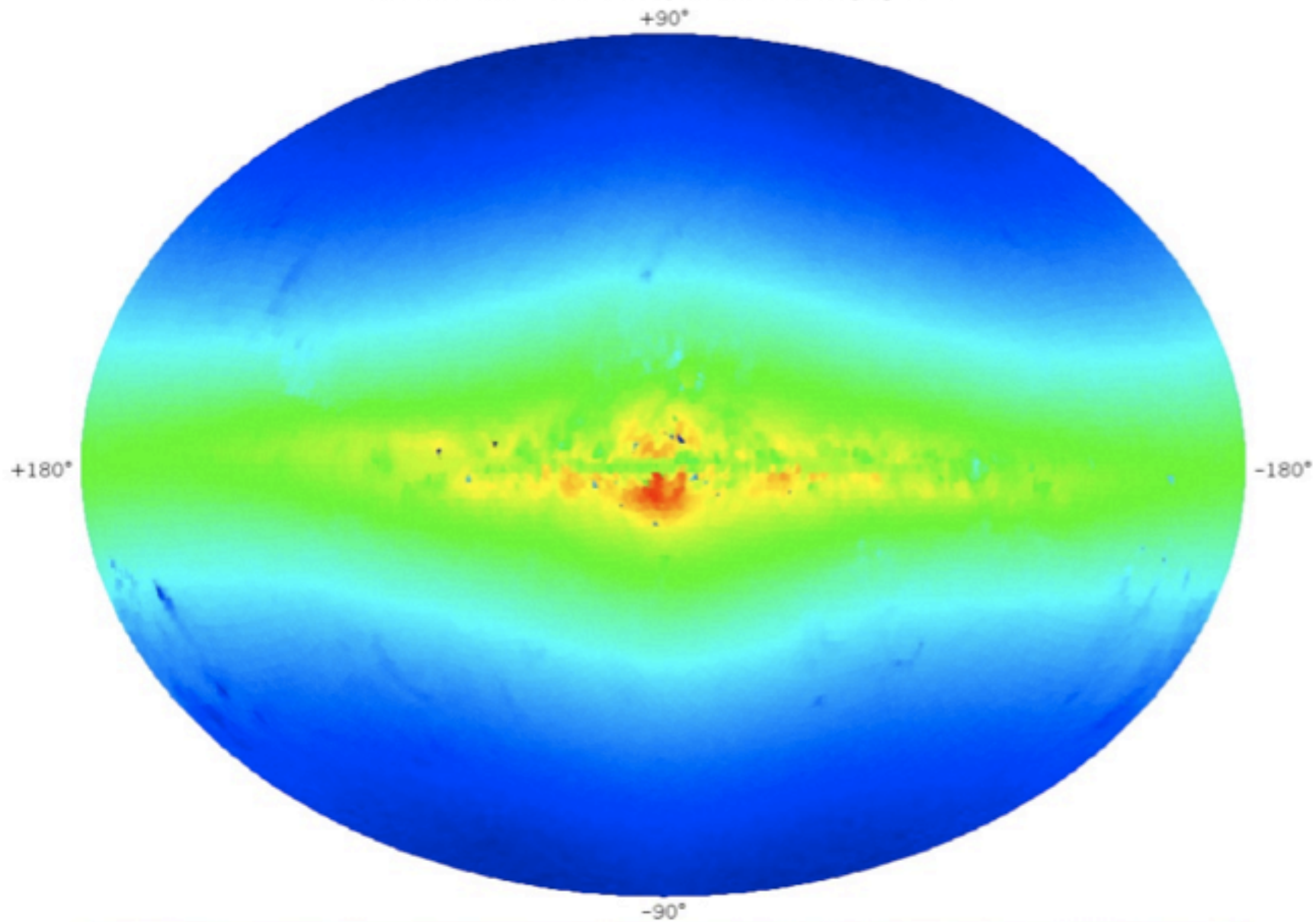
Tests d'intégration

Tests de validation



# GUMS . simulation du ciel

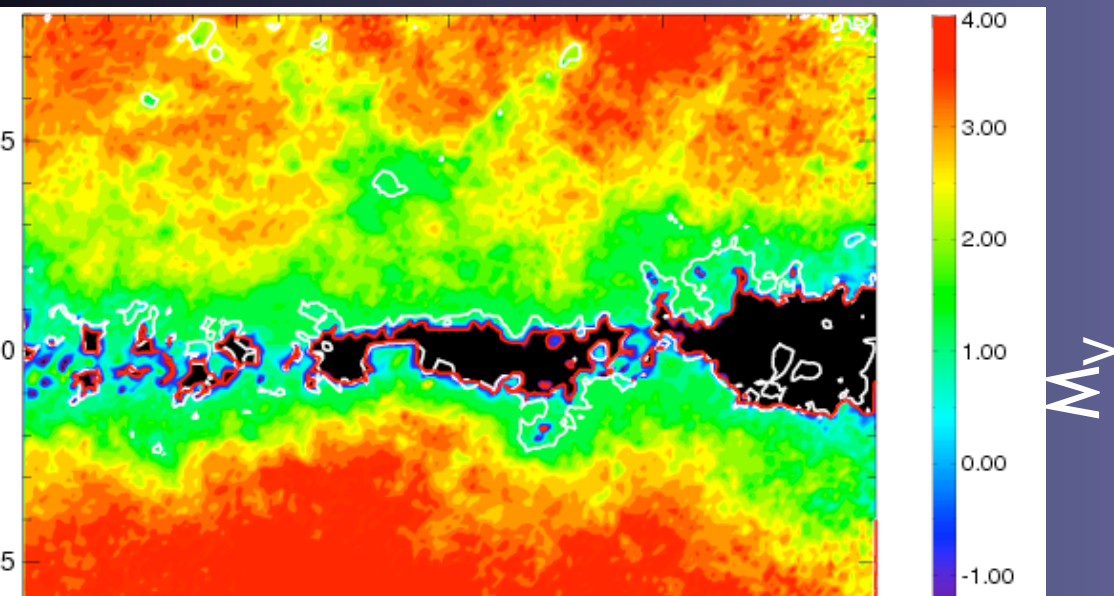
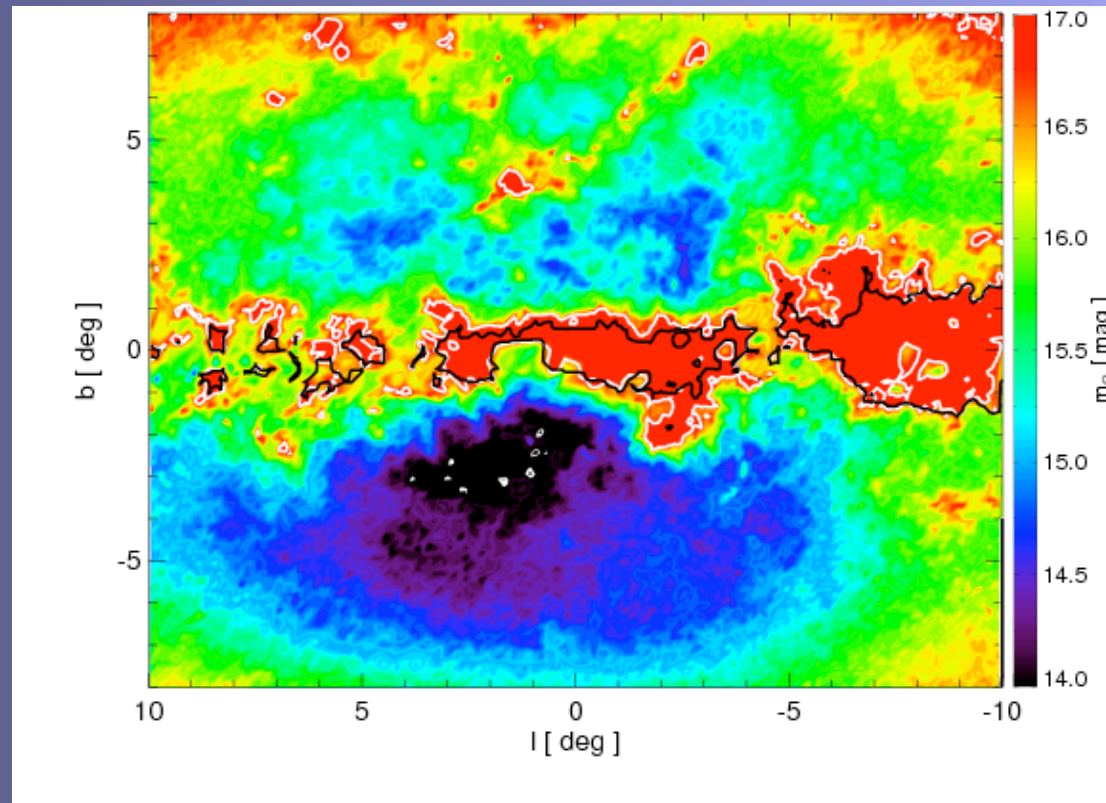
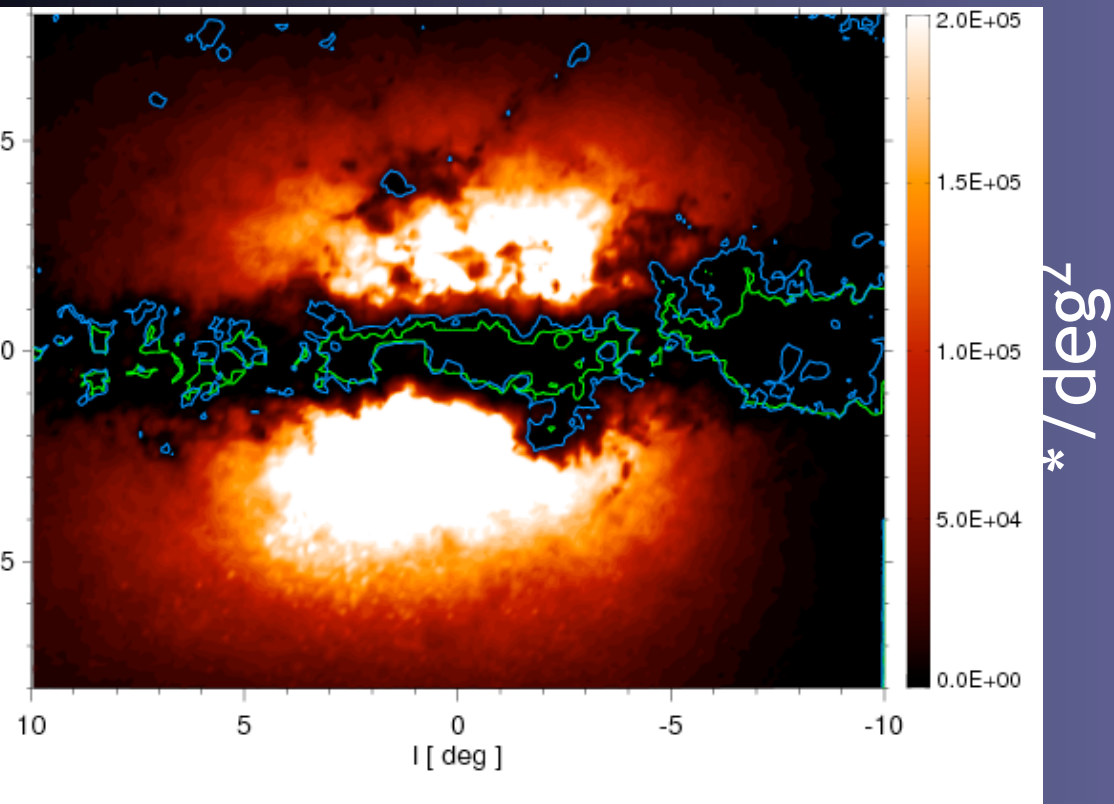
GUMS Version 0: star density to G=20, Aitoff projection



6.9E2

1.61E6

# densité et $M_V$ des étoiles du bulbe : spectroscopie



30 000 étoiles du bulbe  
sur  $97 \text{ deg}^2$

# Et après le lancement...

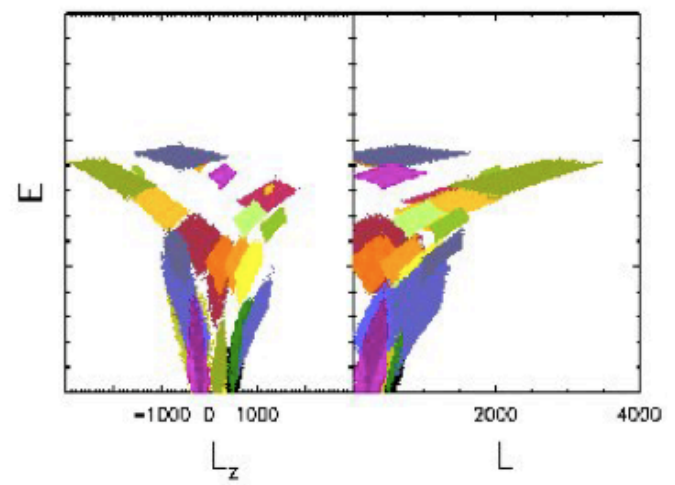
Maintenance du modèle

Utilisation pour l'analyse :

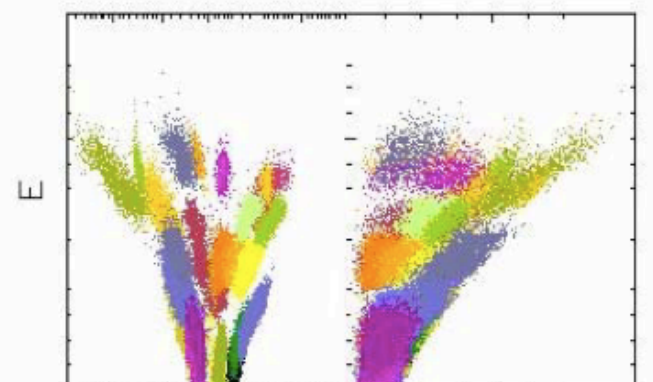
- simuler des données et de
- Préparer les logiciels d'ana

Utilisation pour une classificat

Accretion in integral space ( $E, L_z$ )



Input - different colors represent different satellites



Output after 12 Gyr  
-stars within 6 kpc of  
-the sun - convolved with  
GAIA errors

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**