

Forum Gaia DR1

F. Arenou, D. Hestroffer, D. Katz, C. Le Poncin Lafitte

*Action Fédératrice Gaia
de l'Observatoire de Paris*

En opération

- ❑ En mode routine depuis le 25 juillet 2014
 - ❑ Ce mode a commencé avec un mois de balayage des pôles éclipitiques avant de passer au mode de balayage nominal

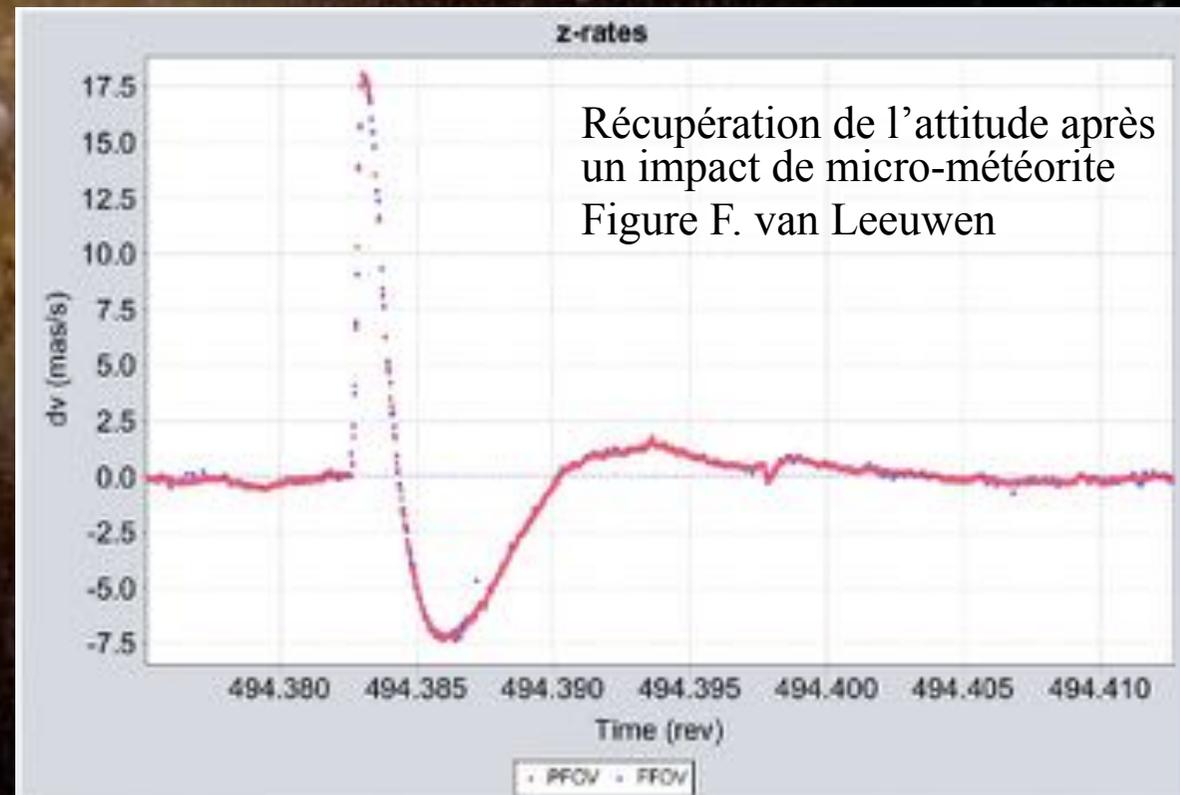
- ❑ Données (à la date de juillet dernier)
 - ❑ 440 milliards de mesures astrométriques
 - ❑ 107 milliards de mesures photométriques
 - ❑ 9 milliards de spectres

- ❑ Magnitudes limites
 - ❑ Astrométrie et photométrie: $3 < G < 20.7$ mag
 - ❑ Les étoiles plus brillantes que 3 imagées par les repéreurs d'étoile
 - ❑ Spectres jusqu'à $G_{RVS} < 16.2$ mag

Recette en orbite



- ❑ Attitude et système de contrôle d'orbites en fonctionnement nominal
- ❑ Système de micro-propulsion nominal
- ❑ Phased Array Antenna nominale
- ❑ Horloge à la précision requise
- ❑ 106 CCDs, électronique et stockage OK



Mauvaises surprises

- ❑ Perte de transmission due à la glace d'eau
 - ❑ Procédure de décontamination exécutée le 3 juin 2015, puis 22 août 2016
- ❑ Perturbations de l'attitude
 - ❑ Prise en compte des micro-météorites et micro-cliquetis dans le traitement
- ❑ Variation de l'angle de base plus élevée que prévu
 - ❑ Métrologie à bord
 - ❑ Vérification dans l'astrométrie
- ❑ Lumière diffusée du soleil et des sources astronomiques
 - ❑ Logiciel modifié pour la spectroscopie

Loi de balayage

- ❑ Temps d'intégration/CCD: 4.4s (12-13 observations)
- ❑ Temps de traversée du plan focal: 45s
- ❑ Temps entre FoV: 106.5min, puis: 253.5min (6h total)
- ❑ Fin de mission: 40 à 240 époques (72 en moyenne)

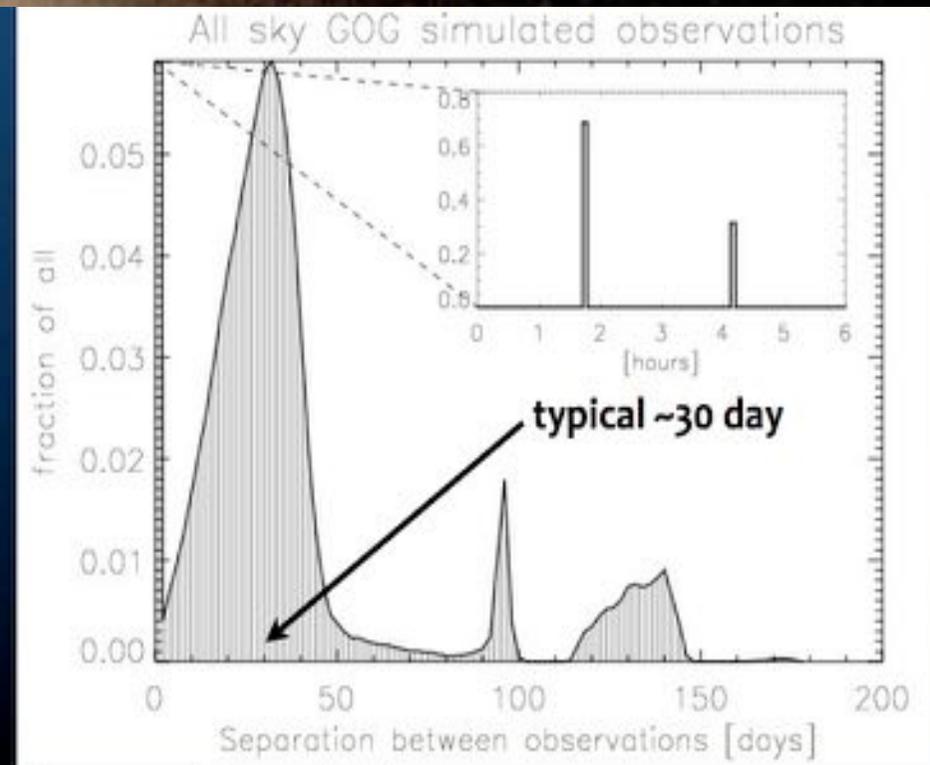
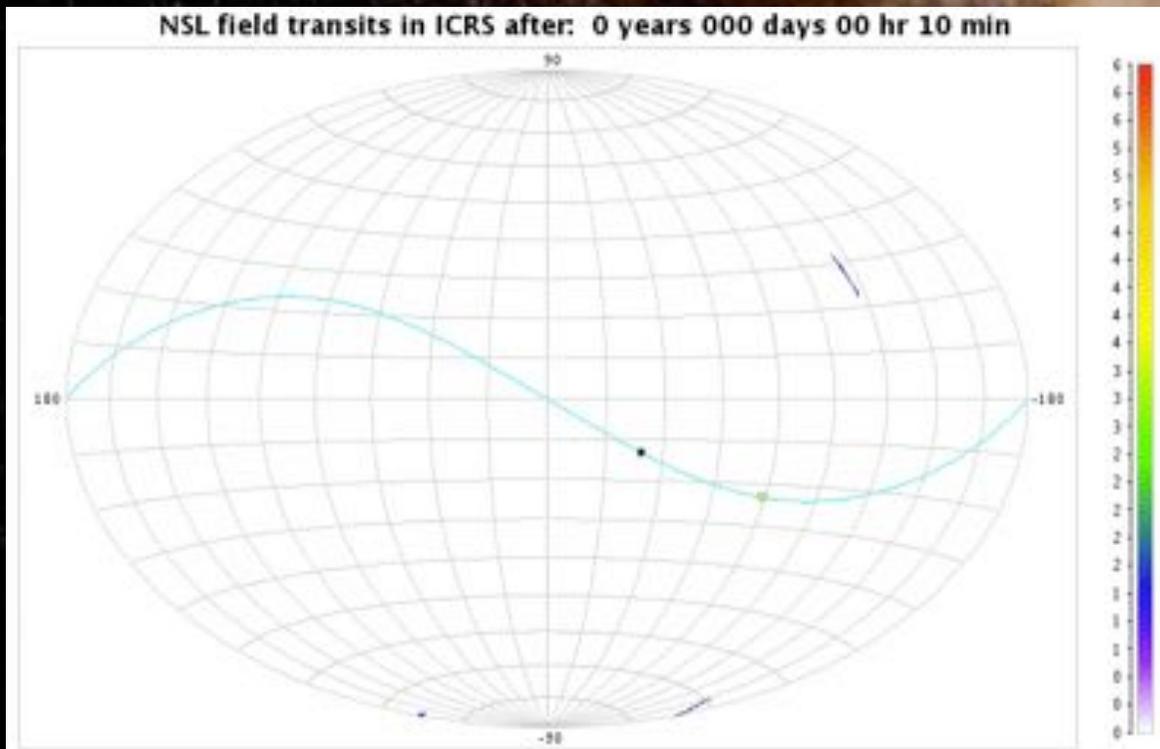


Figure courtesy: Lukasz Wyrzykowski

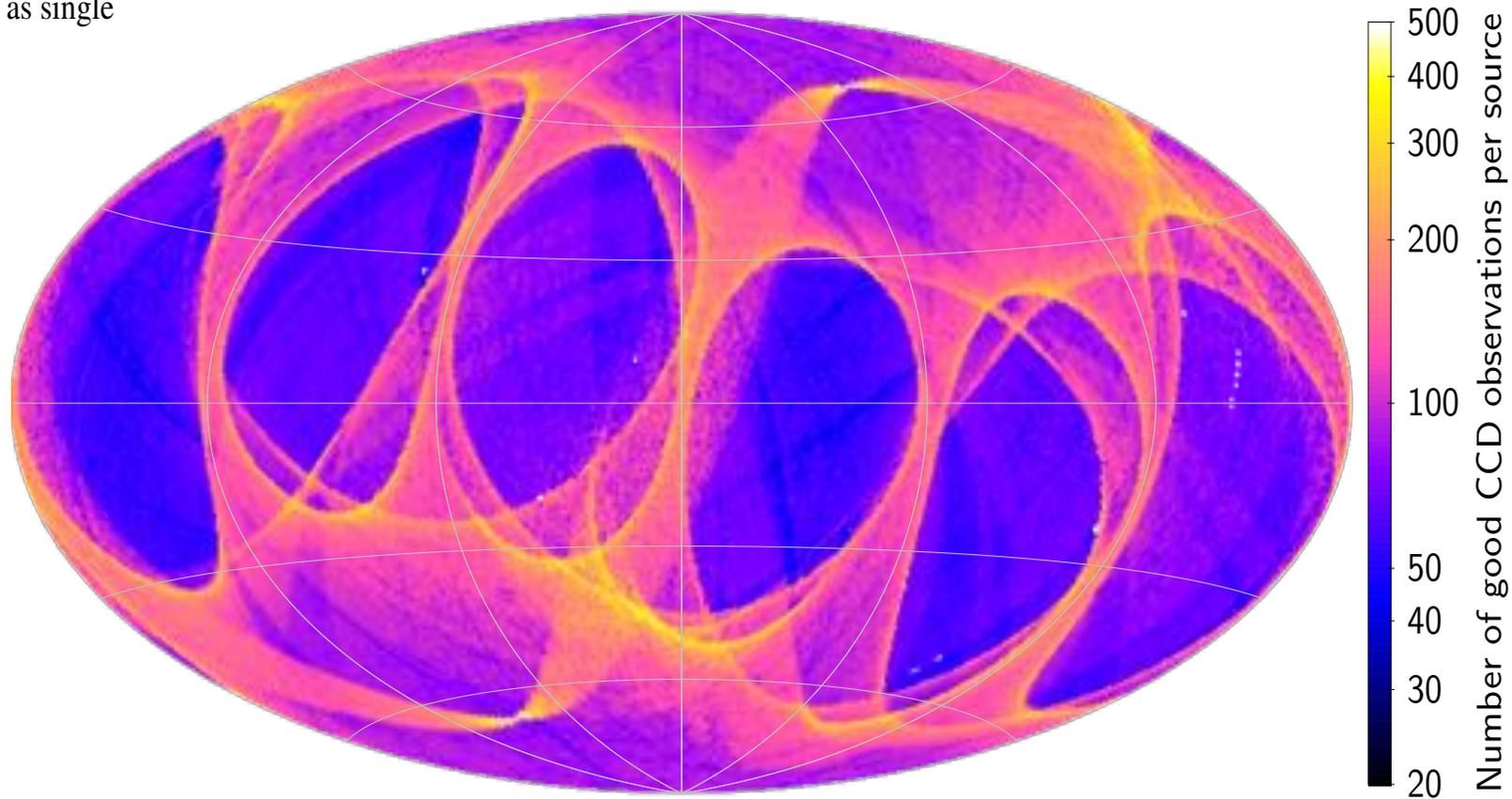
DR1

La première publication

Nombre d'observations

- 14 months of input data used
- $\sim 2.3 \times 10^{10}$ transits across focal plane
- all sources treated as single

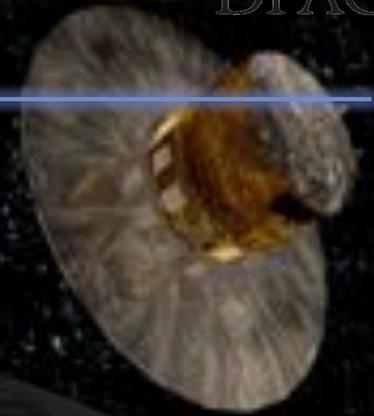
TGAS Mean no. observations per source (pixel $\sim 1 \text{ deg}^2$)



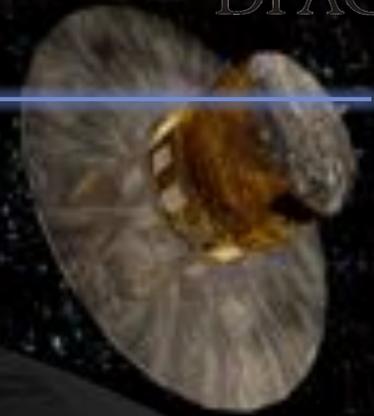
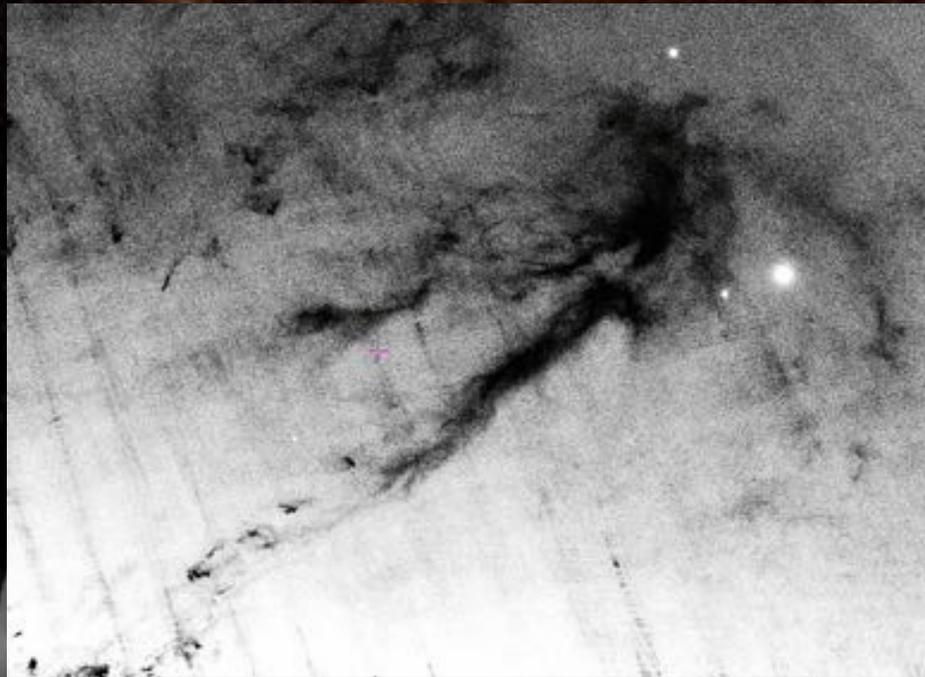
DPAC/CU3/Lindgren et al., 2016, A&A

Contenu du Catalogue

- ❑ Un atlas de 1.2 milliard d'étoiles
- ❑ TGAS: 2 millions de parallaxes et mouvements propres
- ❑ 3000 courbes de lumières de céphéïdes et RR Lyrae
- ❑ Positions et magnitudes pour 2000 quasars ICRF
- ❑ Documentation, outils d'interrogation, de visualisation, X-match, etc.
 - Accès ObsPM

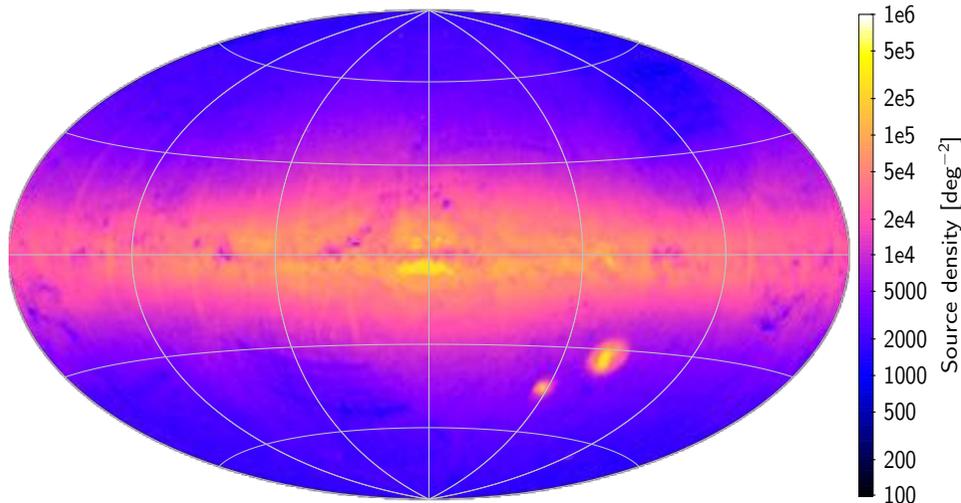


De bonnes résolutions

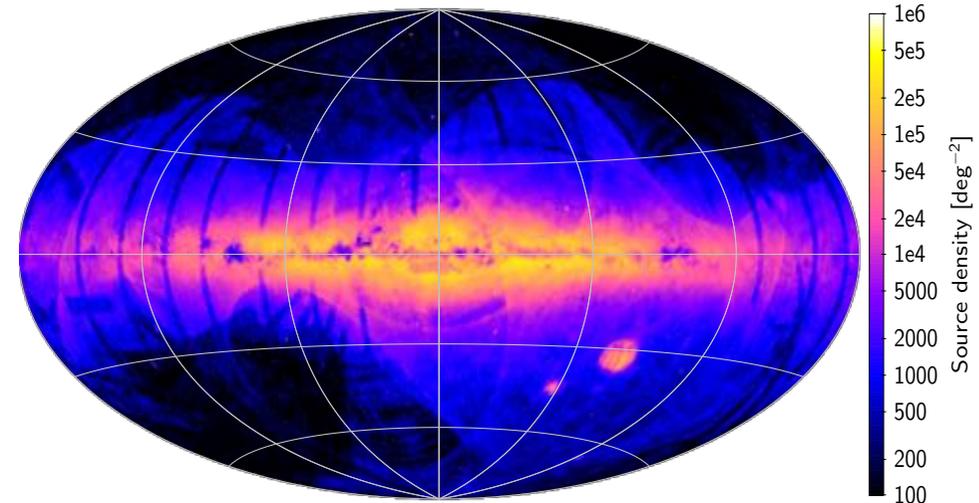


Positions DR1

685 million sources matched to IGS1



456 million new sources in Gaia DR1



DPAC/CU3/Lindgren et al., 2016, A&A
Gaia collaboration, A. Brown, et al.

- (α, δ) for ~ 1.1 billion sources to $G = 20.7$
- Epoch J2015.0, alignment to ICRF < 0.1 mas, rotation < 0.03 mas yr $^{-1}$
- Typical position uncertainty ~ 10 mas
- Positions of 2191 ICRF sources from special astrometric solution (Mignard et al., 2016, A&A)
 - ▶ 90% with $\sigma_{\text{pos}} < 3.35$ mas
 - ▶ no systematic differences with radio positions of more than few tenths of mas

La solution TGAS



- Un an de données seulement
 - Comment découpler parallaxe du mouvement propre ?
- Prior: positions Hipparcos & Tycho-2
 - 2 millions de sources jusqu'à $G \sim 11.5$
 - Parallaxes et mouvements propres
 - Indépendant des parallaxes Hipparcos

Gaia
observations

Tycho-2
position
(1991.25)



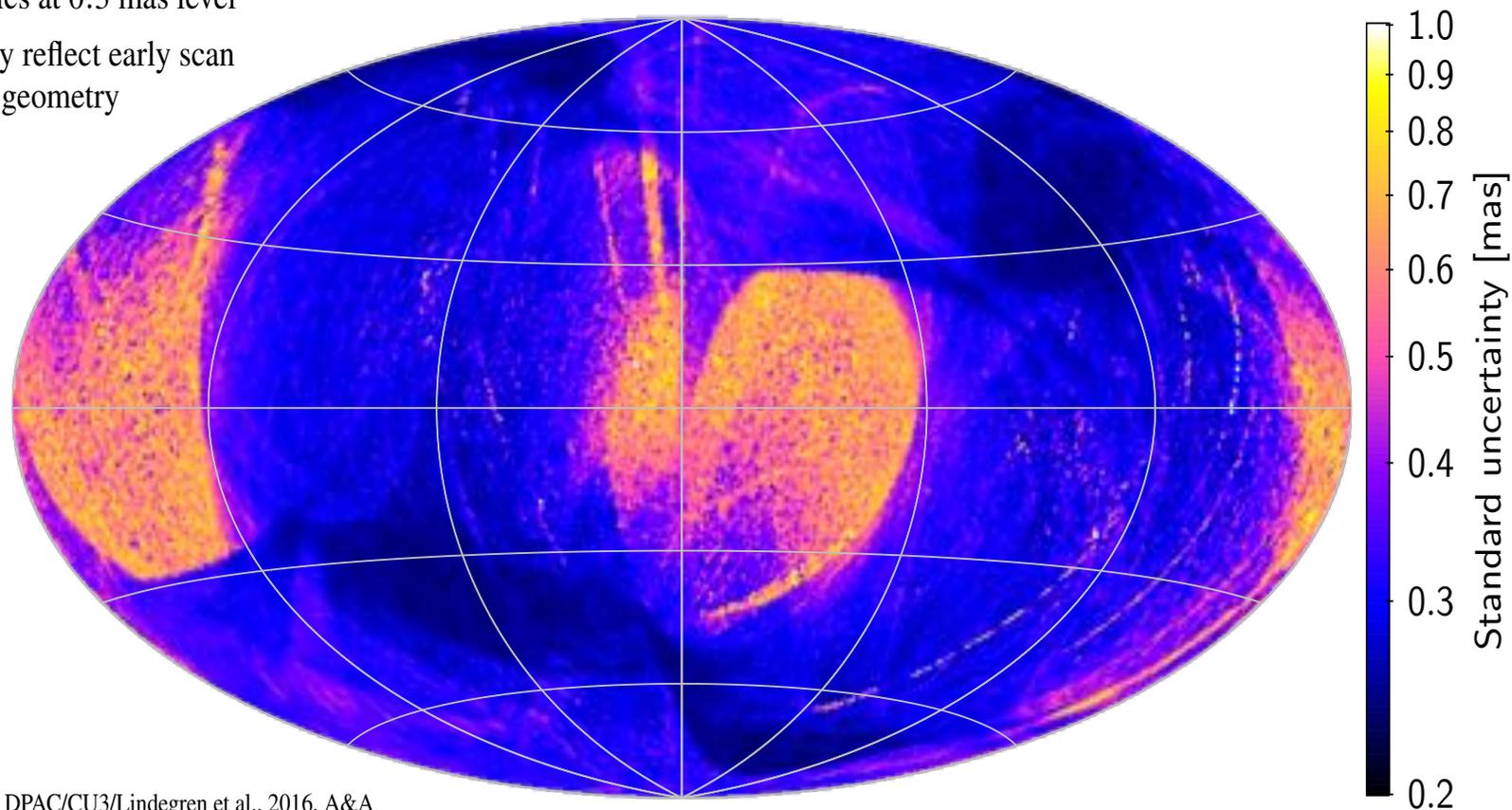
Précision des parallaxes

- Median parallax uncertainty
~ 0.3 mas

- Parallax systematics at 0.3 mas level

- Errors levels partly reflect early scan
law coverage and geometry

TGAS median parallax uncertainty over cells of $\sim 0.84 \text{ deg}^2$



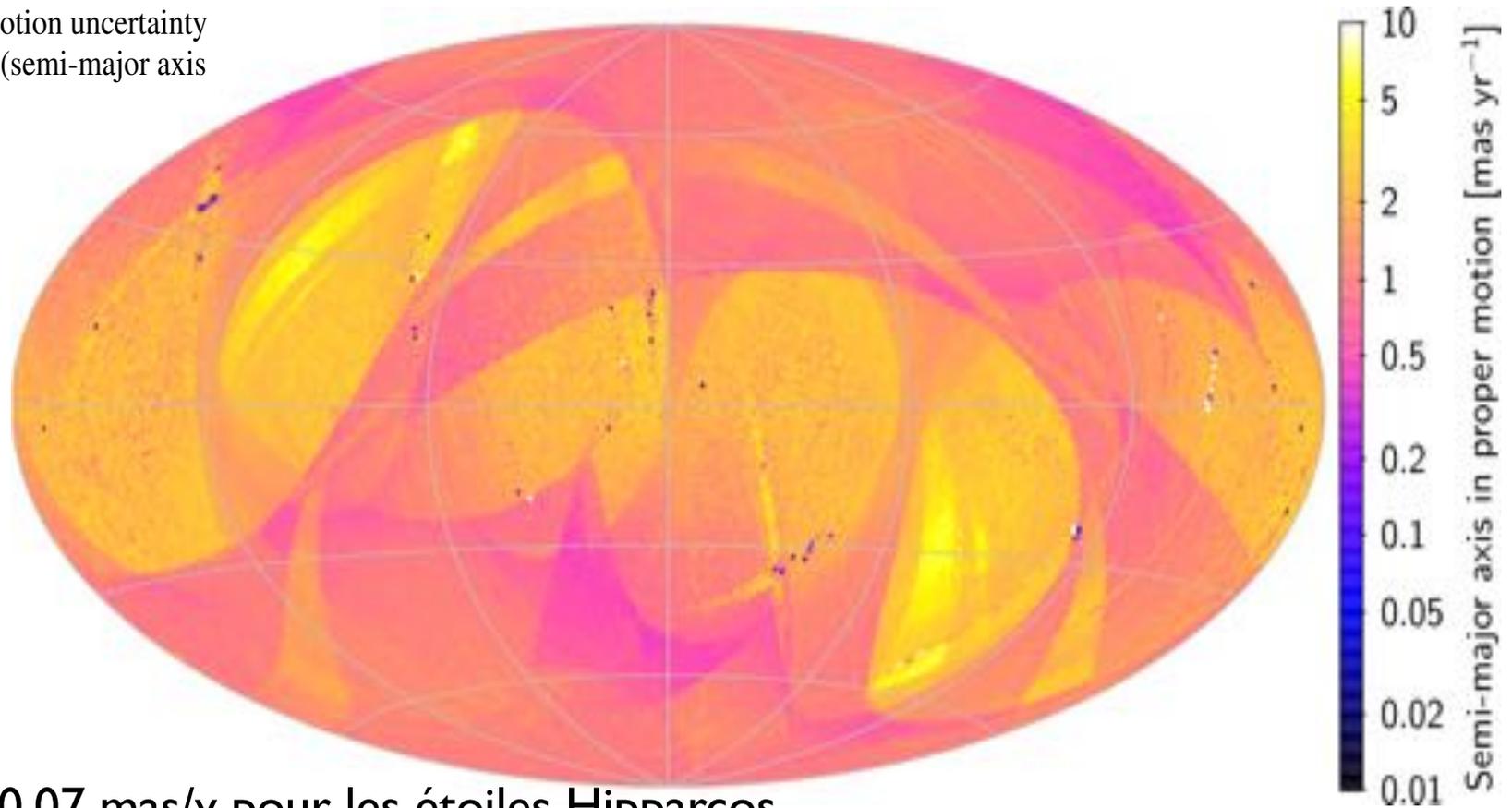
DPAC/CU3/Lindgren et al., 2016, A&A

Gaia collaboration, A. Brown, et al.

Mouvements propres

TGAS median proper motion uncertainty over cells of $\sim 0.84 \text{ deg}^2$

- Median proper motion uncertainty $\sim 1.3 \text{ mas yr}^{-1}$ (semi-major axis error ellipse)

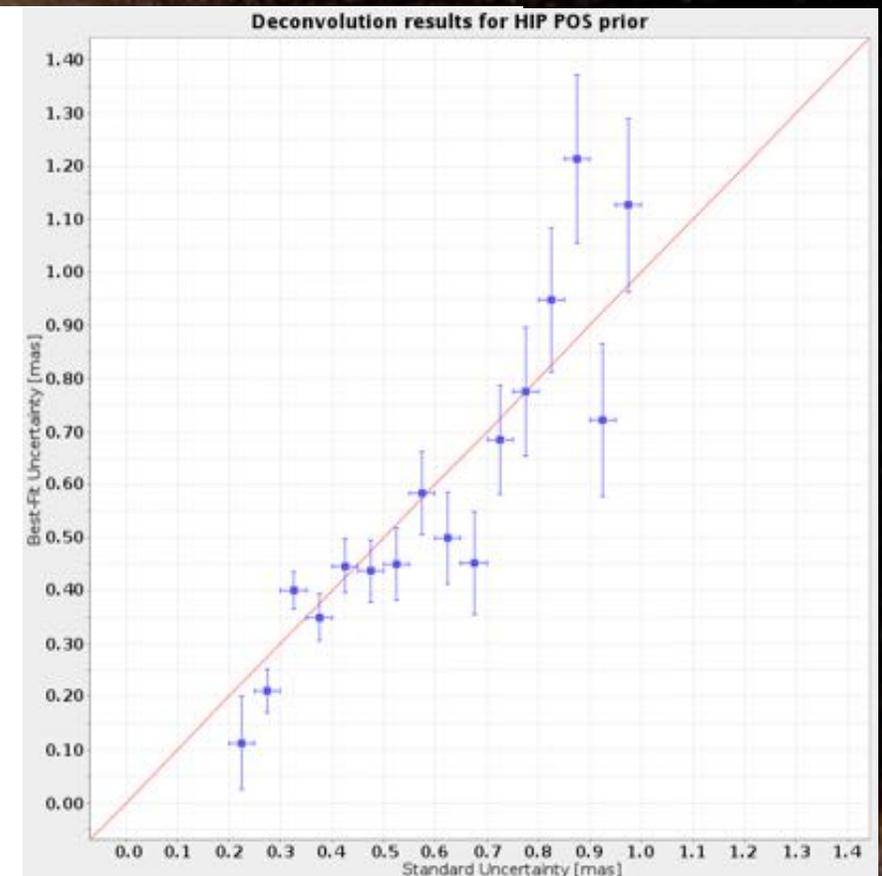
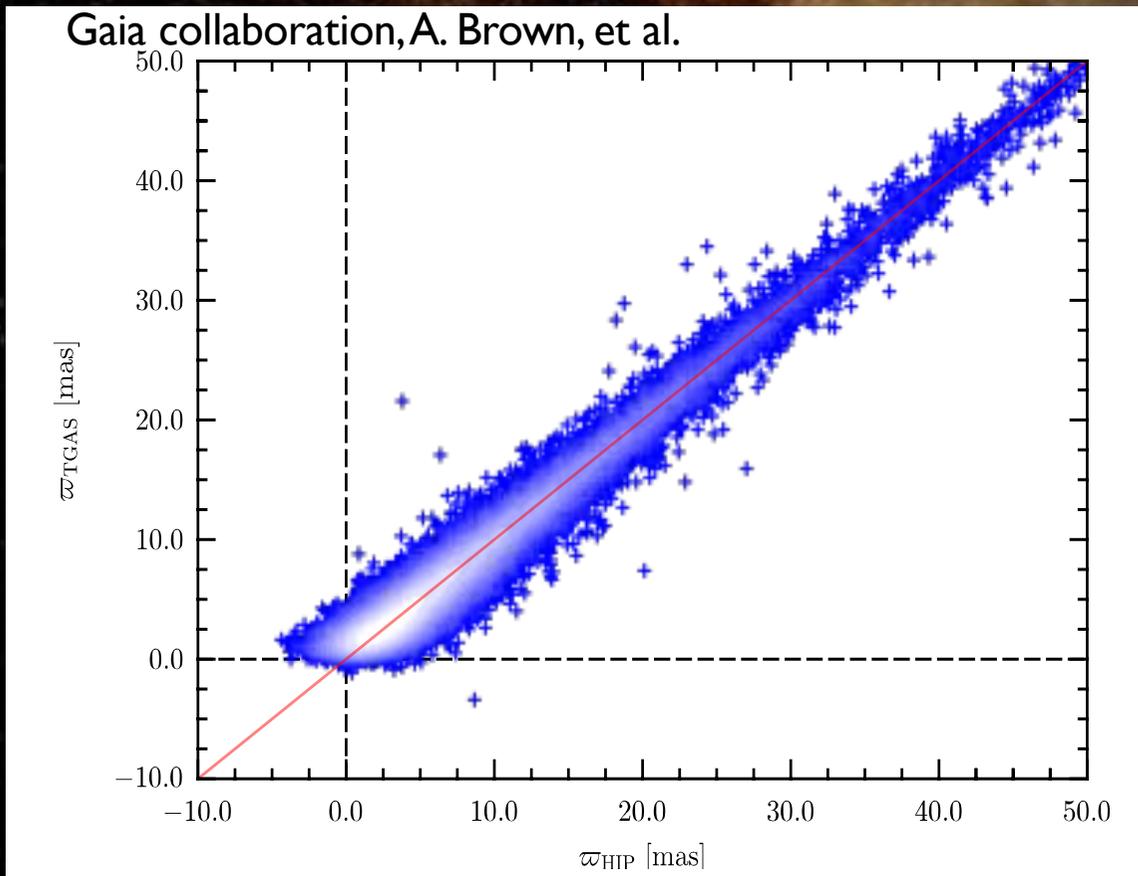


NB: précision 0.07 mas/y pour les étoiles Hipparcos

DPAC/CU3/Lindgren et al., 2016, A&A
Gaia collaboration, A. Brown, et al.

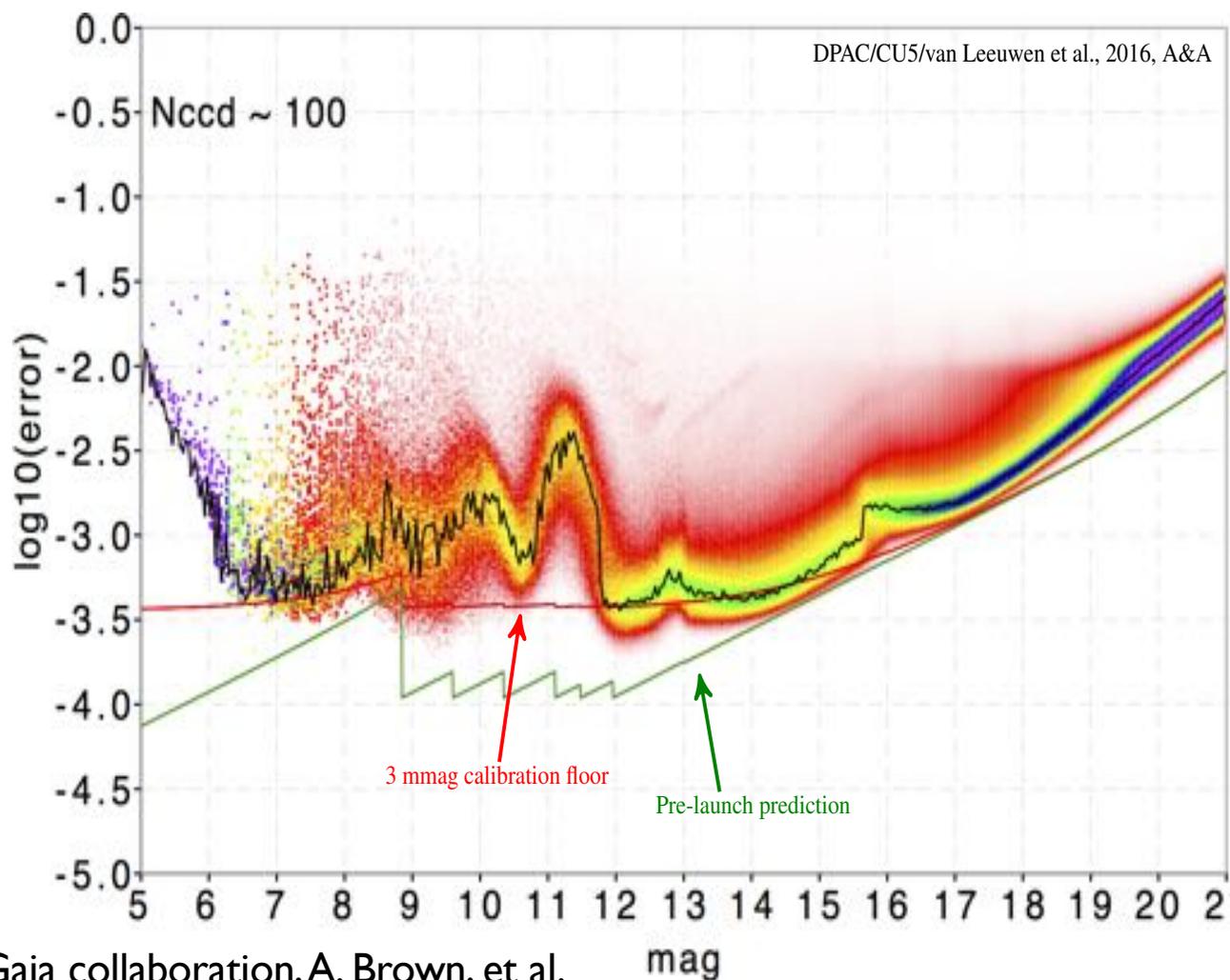
Qualité des parallaxes

- ❑ Parallaxes TGAS comparées à Hipparcos: dispersion réduite
- ❑ Précision formelle des parallaxes: correcte
 - ❑ Déconvolution vs prédites



Photometric precision

Error on the weighted mean G value for sources with ~ 100 CCD transits



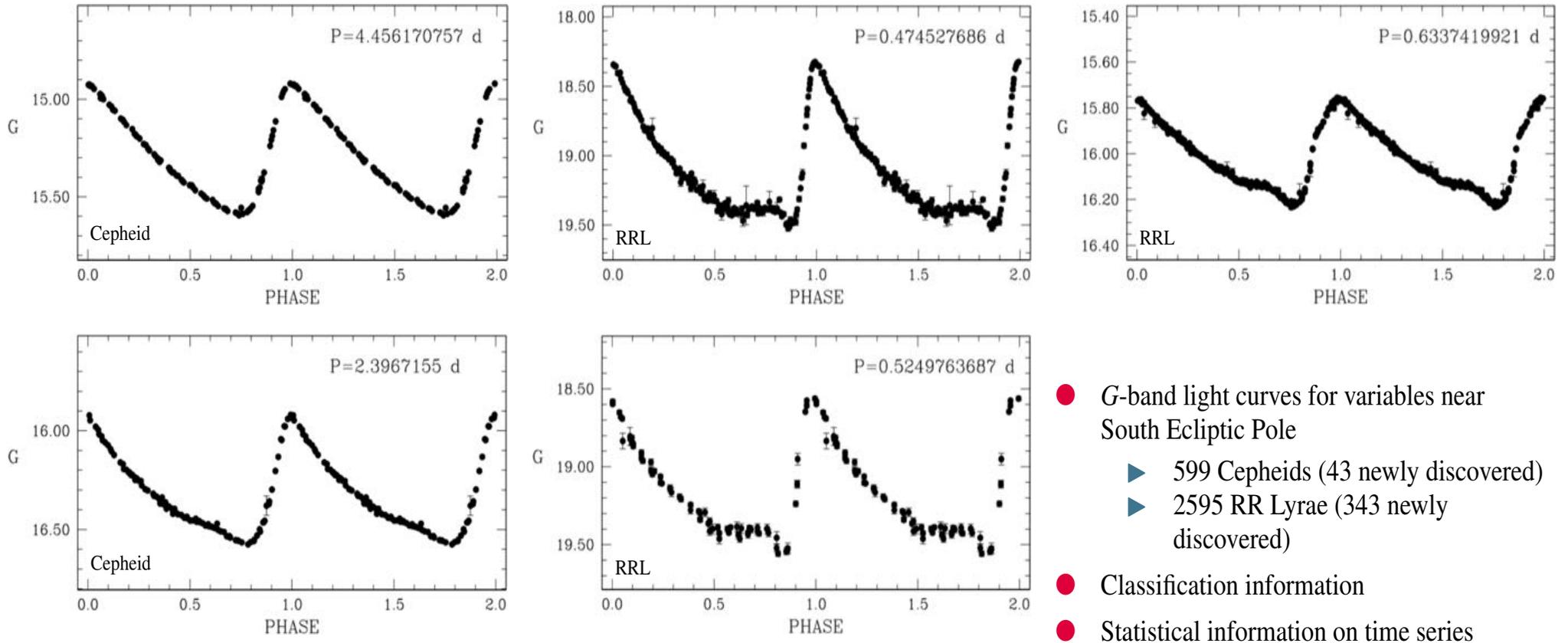
● Mean G -band fluxes and errors for all Gaia DR1 sources

- ▶ G magnitudes in VEGAMAG, zeropoints for AB
- ▶ No pass-band calibrations, transformations to other systems to be provided

- ◆ CCD-transit G -band calibration systematics at the ~ 3 mmag level
- ◆ Bright end features related to on-board instrument configuration changes
 - ▶ will be calibrated out in future releases

Gaia collaboration, A. Brown, et al.

Variable stars



DPAC/CU7/Clementini et al., 2016, A&A

Gaia collaboration, A. Brown, et al.

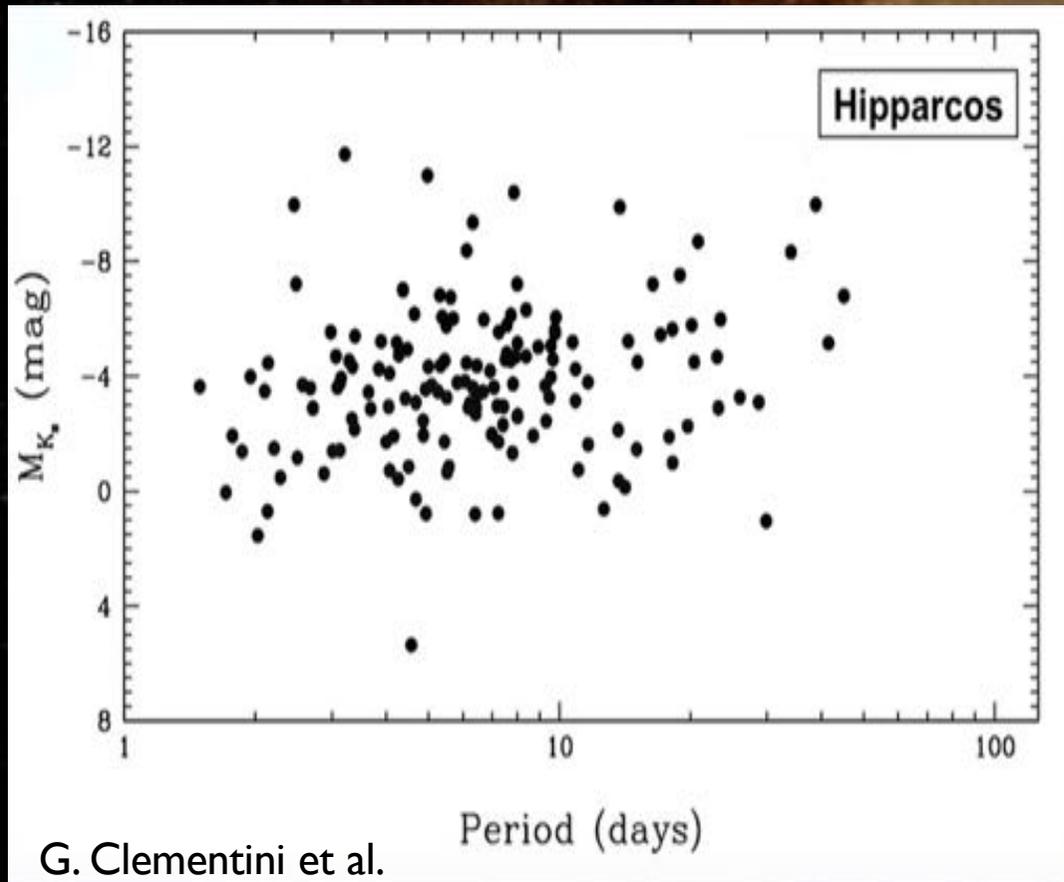


L'exploitation scientifique n'a pas encore débuté...

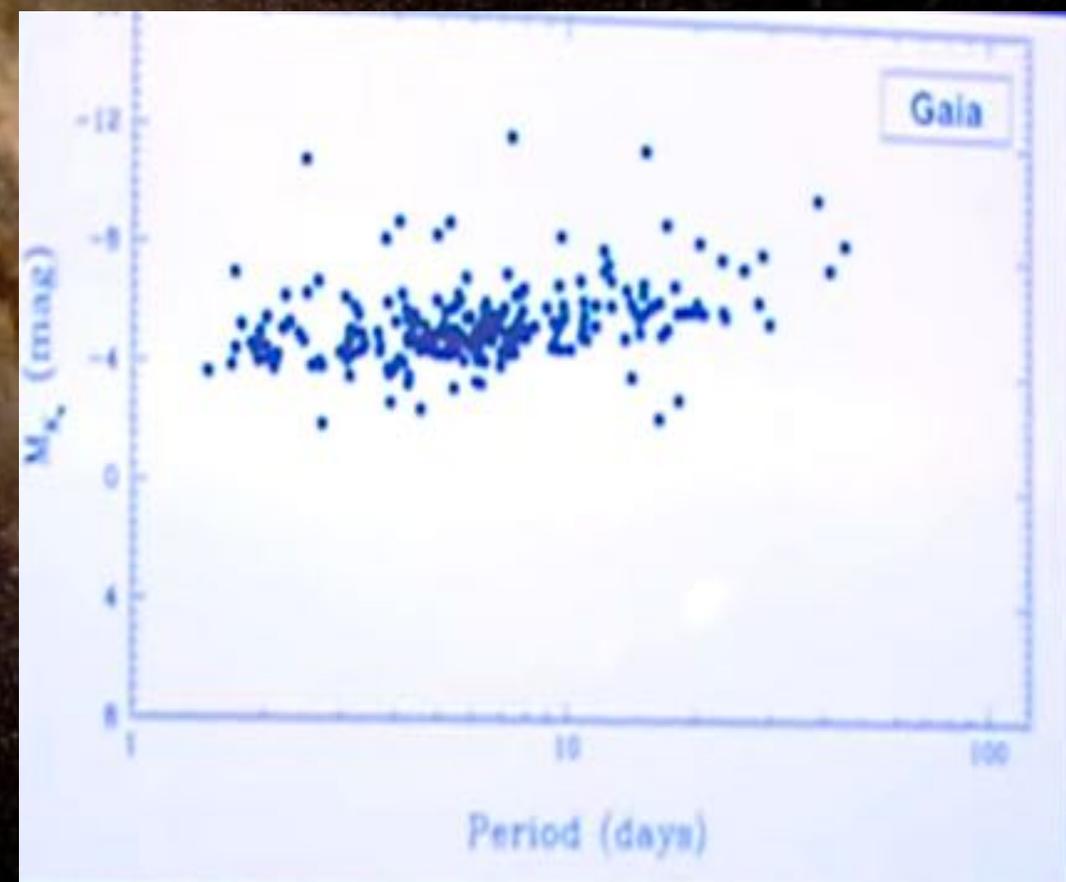
Un petit aperçu des performances

un petit aperçu des performances

Céphéïdes: Gaia vs Hipparcos

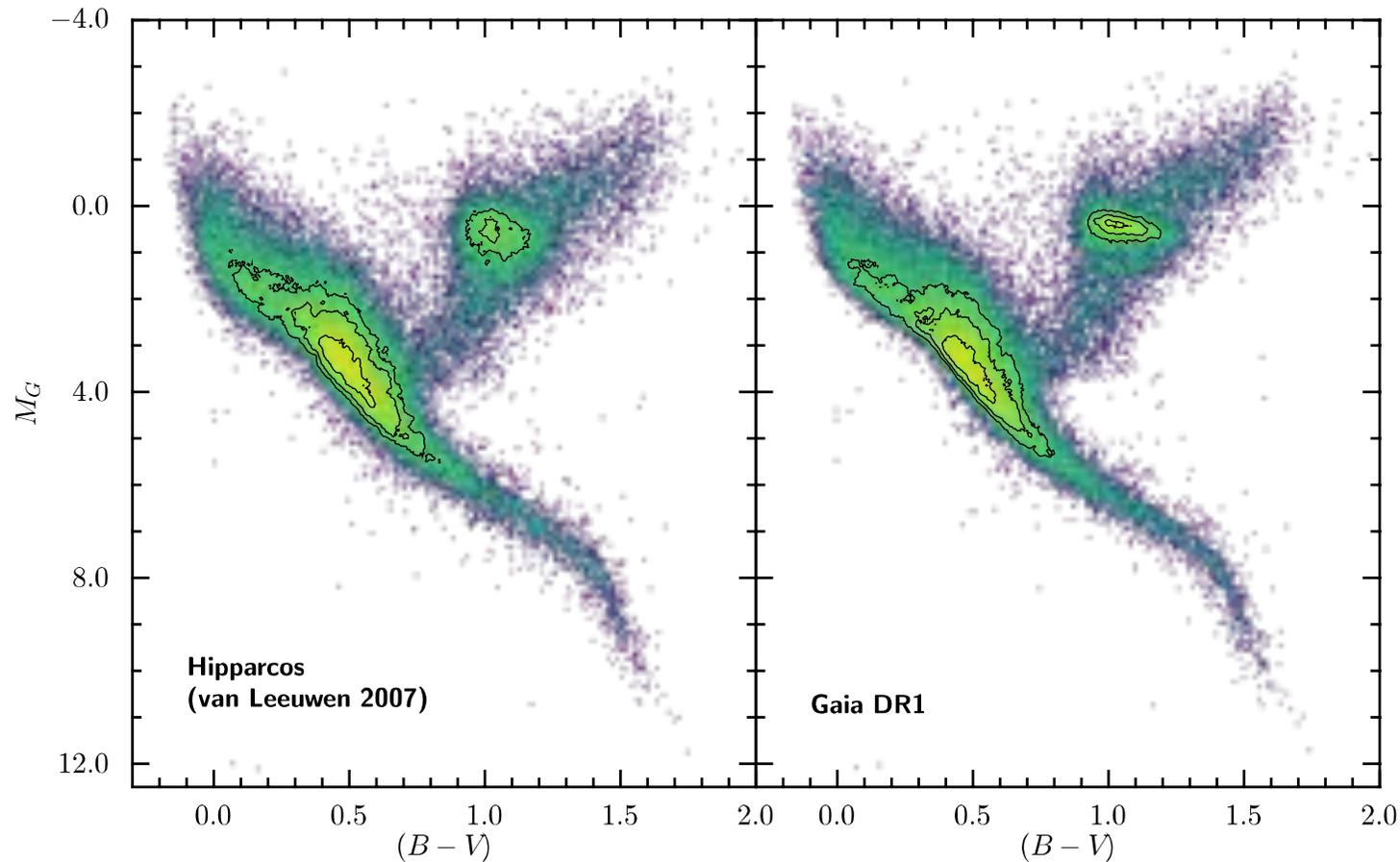


G. Clementini et al.



Diag. H-R comparé à Hipparcos

Hipparcos and Gaia DR1 parallaxes precise to $\leq 20\%$
43 546 stars, 90% stars inside 280 pc



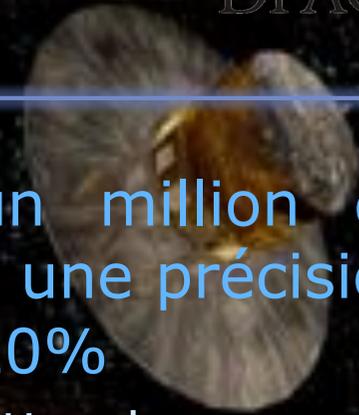
Gaia collaboration, A. Brown, et al.

All stars from Hipparcos Catalogue

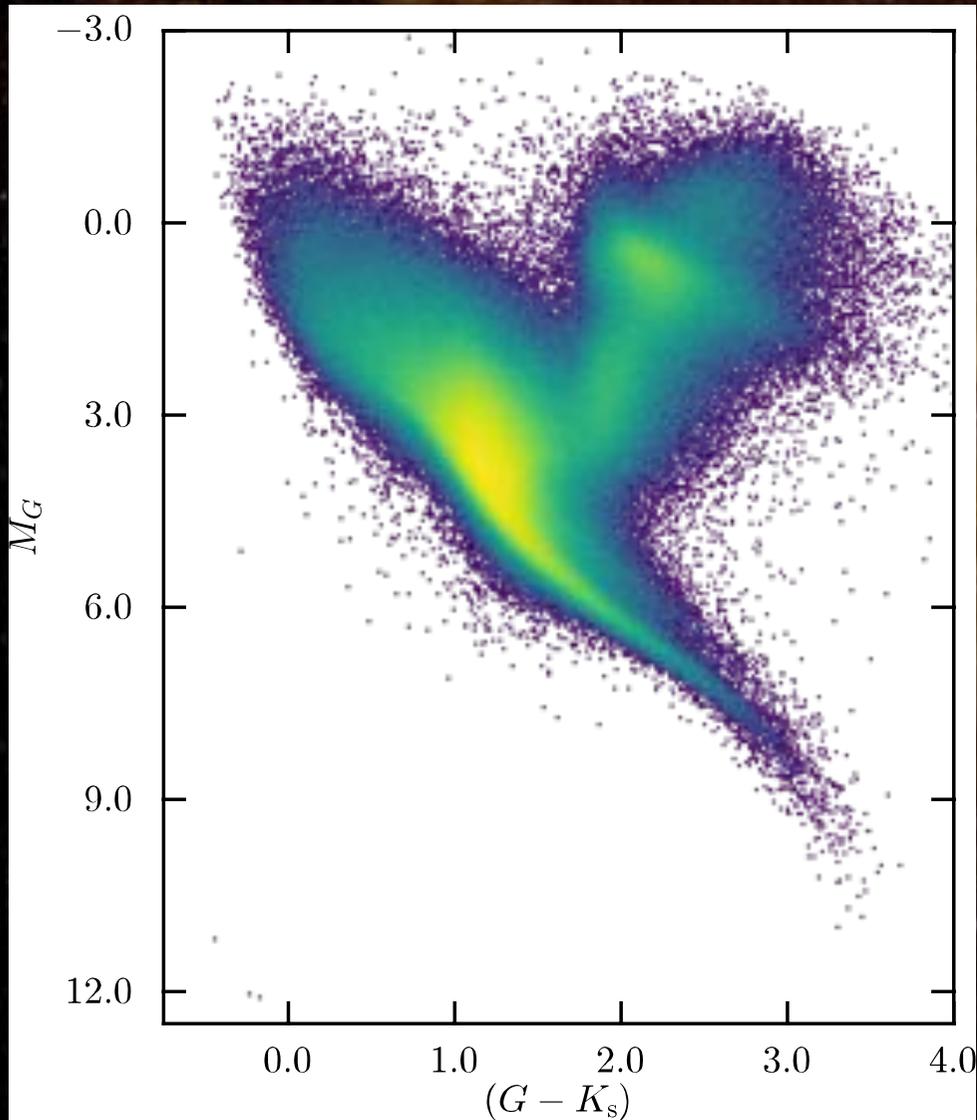
Parallaxes avec
une précision
meilleure que
20% à la fois
dans Hipparcos
et dans TGAS

$\sigma(G) < 0.05$
 $\sigma(B-V) < 0.05$

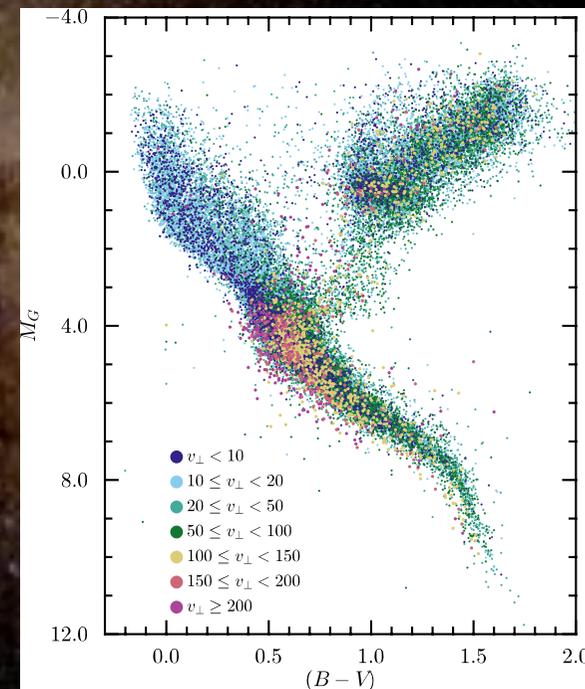
Un million de parallaxes



- DR1: plus d'un million de parallaxes avec une précision meilleure que 20%
- 280 millions attendues en fin de mission

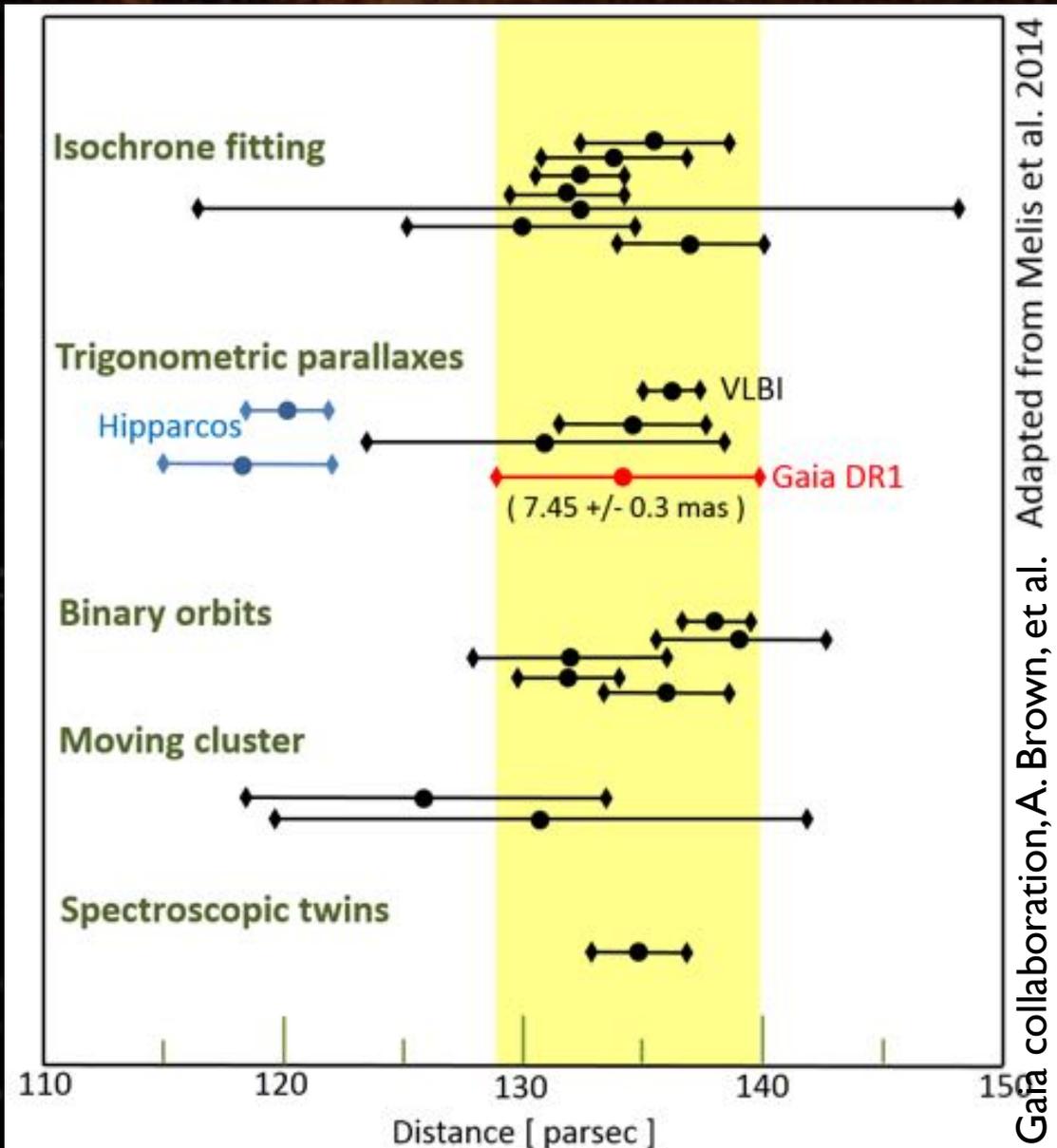


Gaia collaboration, A. Brown, et al.



Codé par vitesse tangentielle, 41 000 étoiles < 100pc

Les Pléiades



- Calcul (simpliste) de la distance des Pleiades
 - 134 ± 6 pc
 - Incertitude provenant des systématiques potentielles
- Pas encore incompatible avec Hipparcos
 - Mais devient cohérent avec toutes les anciennes estimations
- Les autres amas en commun avec Hipparcos donnent des résultats cohérents

Resultats de la validation des données

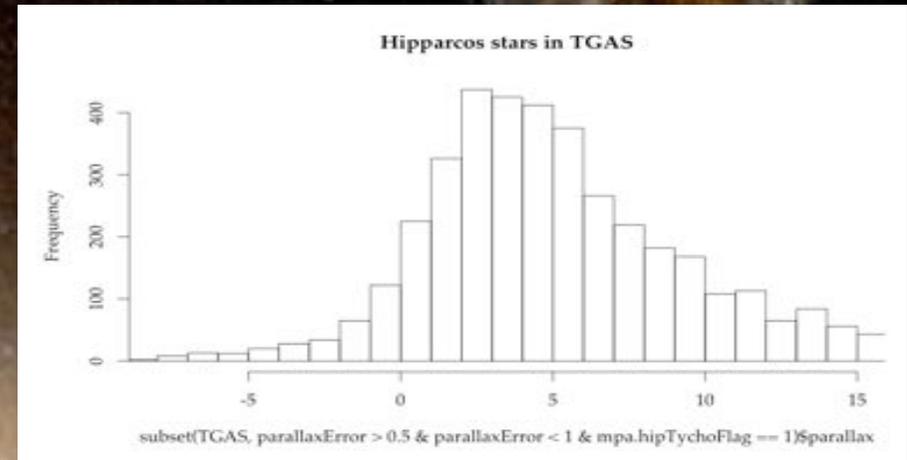
Les limites (connues) du Catalogue

Quelques problèmes déjà réglés

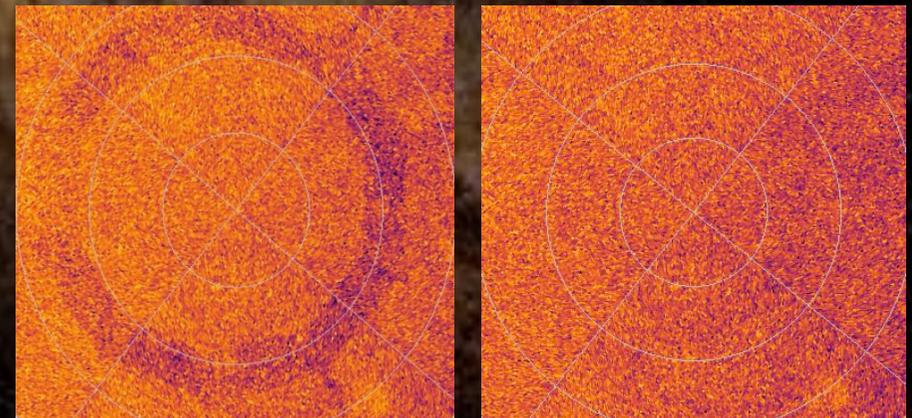
- ❑ À partir de données préliminaires
 - ❑ Problèmes cosmétiques
 - ❑ Étoiles dupliquées
 - ❑ Dispersion supplémentaire parallaxes

- ❑ Qui ont été résolus pour la DR1
 - ❑ Sans rentrer dans les détails...

- ❑ Même après filtrage des problèmes peuvent être restés
 - ❑ Des étoiles dupliquées
 - ❑ De la photométrie imprécise



Parallax distribution from a former preliminary catalogue
Hipparcos stars with 0.5-1 mas formal precision



Overdensities near south pole due to duplicate stars
(before and after removal)

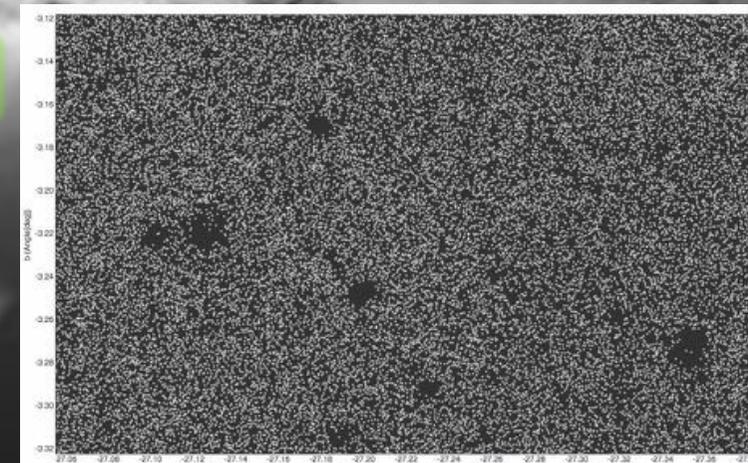
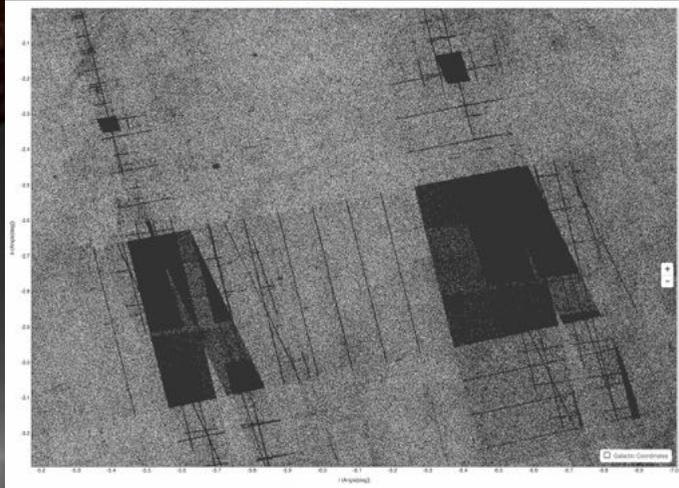
Compromis pour la DR1

- ❑ Leçons apprises de la validation
 - ❑ La DR1 est une bonne première solution
 - Une preuve de faisabilité et de qualité des données et du traitement

- ❑ Publier tôt a nécessité plusieurs compromis
 - ❑ Courte période d'observation (14 mois)
 - Étoiles brillantes Hipparcos/Tycho comme priors
 - ❑ Modèles de calibration imparfait
 - Étoiles brillantes sont le cas le pire (saturation, etc)
 - ❑ Modèle imparfait de l'attitude et autres effets non modélisés (angle de base)
 - Niveau plus élevé de systématiques en astrométrie
 - ❑ Cross-matching sous optimal
 - Pour partie venant de problèmes des catalogues sol + incomplétude
 - ❑ Modèle pour les sources: étoiles considérées comme non multiple
 - Mauvaise qualité d'ajustement, effets d'incomplétudes

Incomplétude: quelques trous

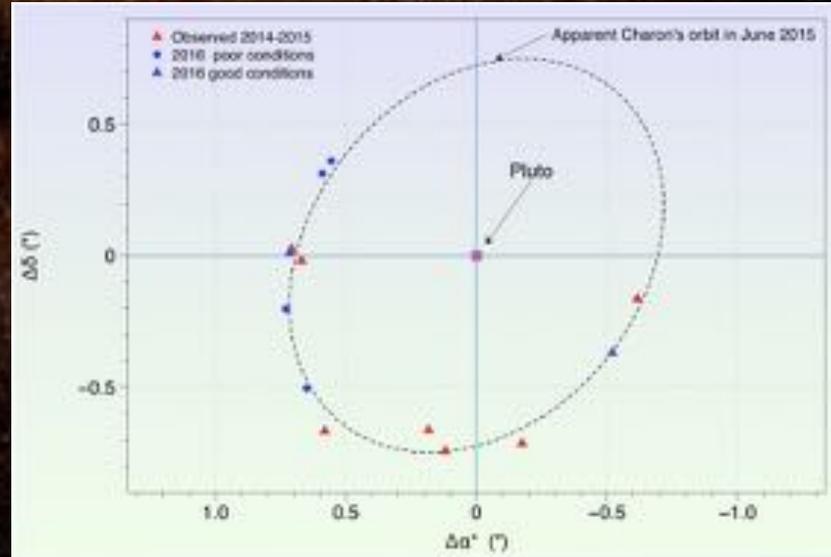
- Loi de balayage + sélection des sources > 5 observations



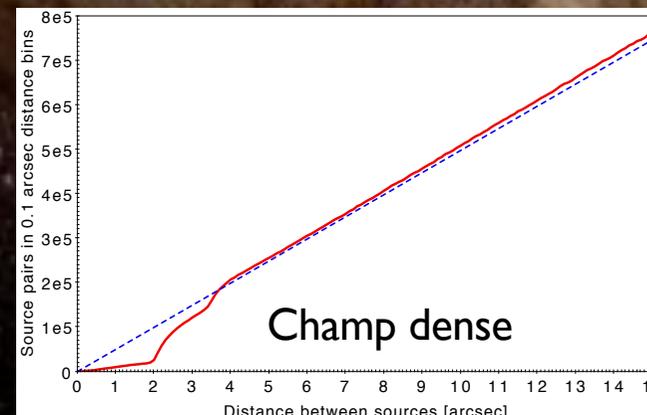
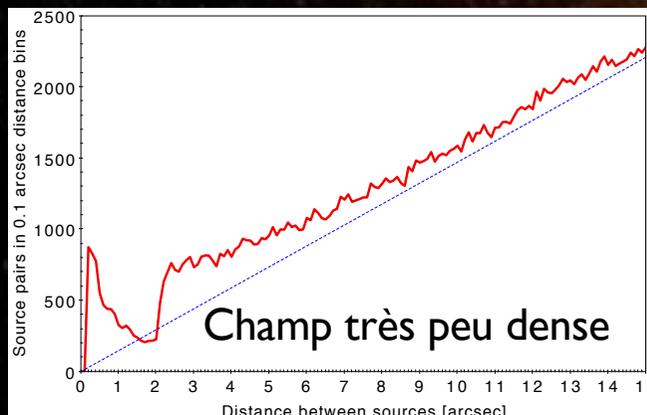
- Champs denses : ressources à bord

Incomplétude: résolution angulaire

- À bord: telle que prévu, cf. Pluton et Charon

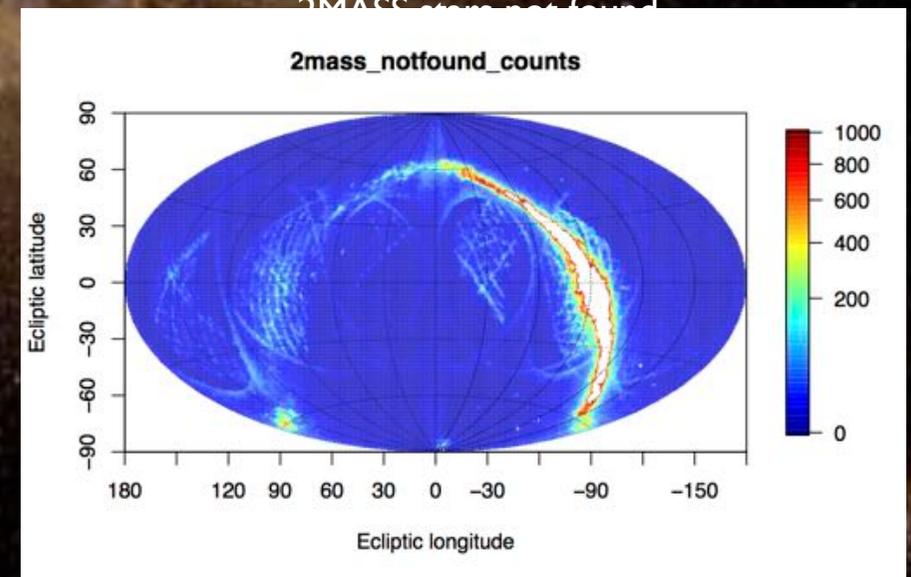
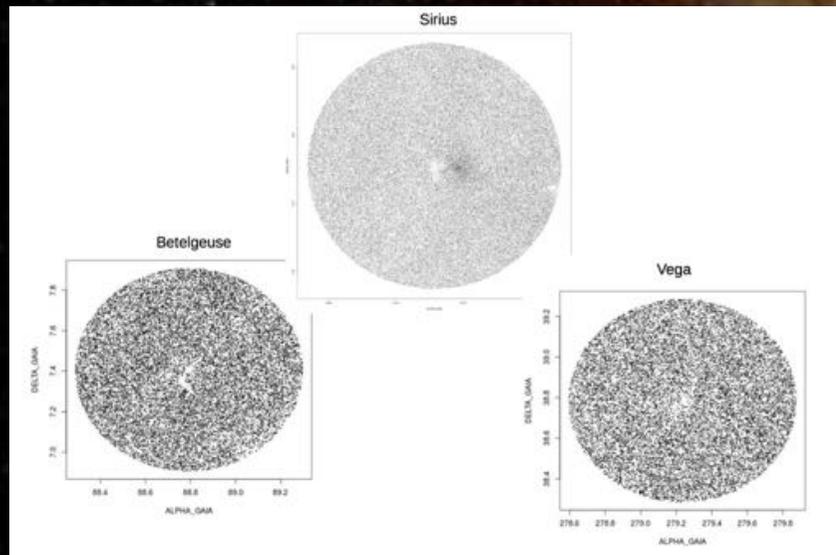
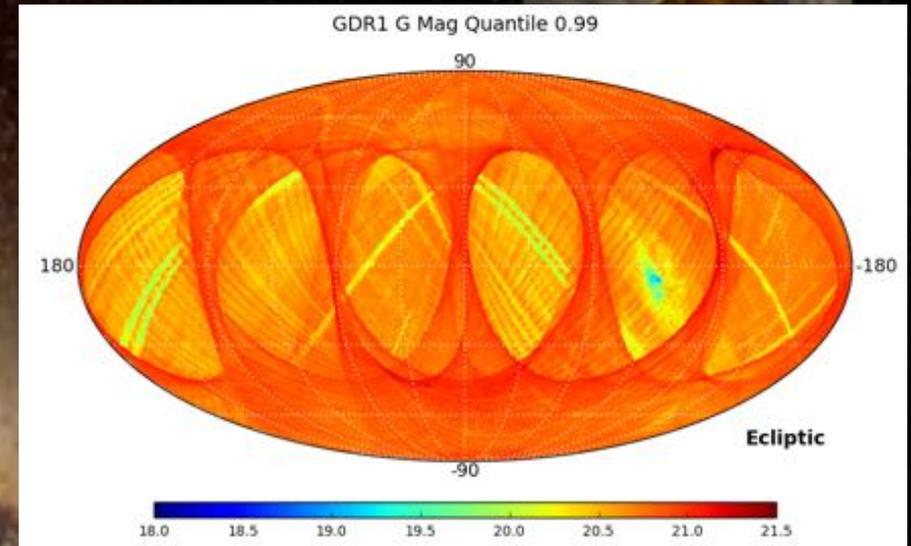


- Pour la DR1, grande incomplétude à faible séparation ($\rho < 2''$)



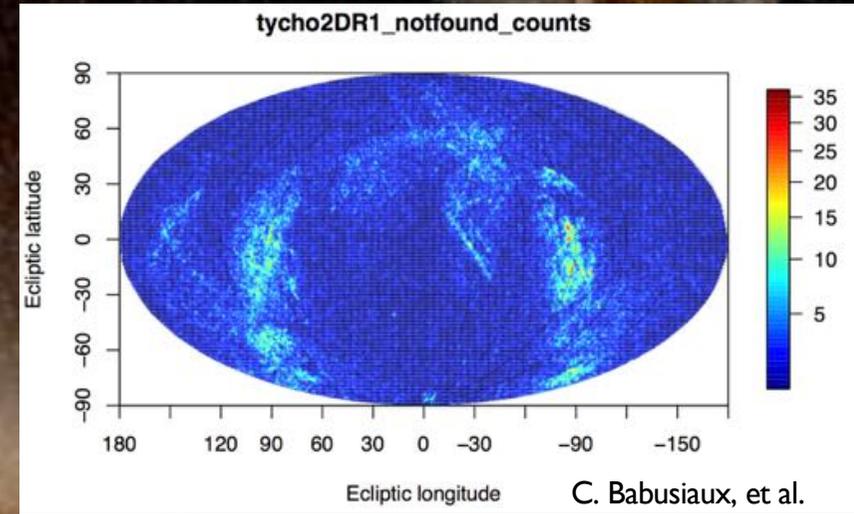
Completeness in whole Catalogue

- ❑ In the whole Catalogue
 - ❑ No very bright stars ($G < 5$)
 - ❑ Scanning law inhomogeneities
- ❑ As expected in dense regions
 - ❑ Bulge field: worst incompleteness
- ❑ Better than expected
 - ❑ Ghosts, etc, around bright stars



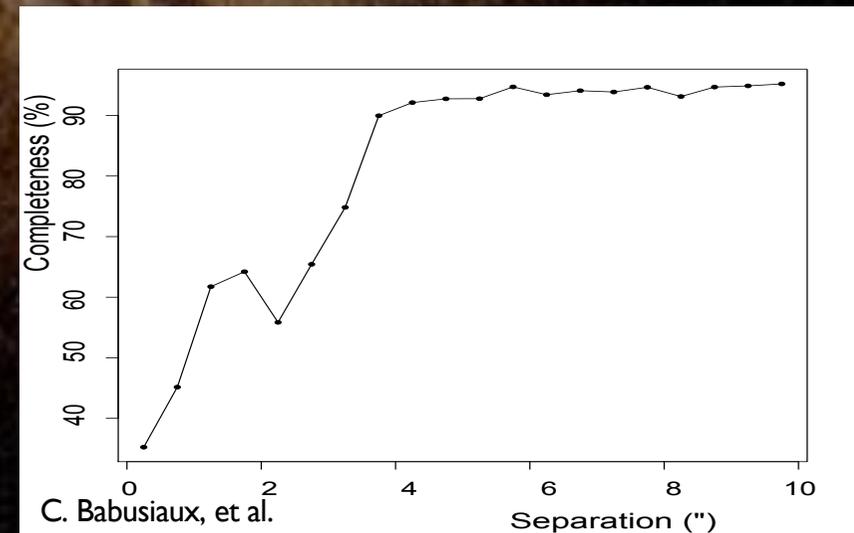
Completeness in TGAS subset

- ❑ 20% of Tycho-2 Catalogue missing
 - ❑ Present but with no parallax/p.m.
 - Cross-match or calibration errors
- ❑ Incompleteness in some regions
 - ❑ With a larger stellar density
 - ❑ Or e.g. with large $\rho(\alpha, \varpi)$ correlation
- ❑ And as a function of color or mag.
 - ❑ No very bright, very red missing
- ❑ No high proper motion stars
 - ❑ Cross-match issues
- ❑ Less resolved double stars
 - ❑ Missing small separations (X-match)

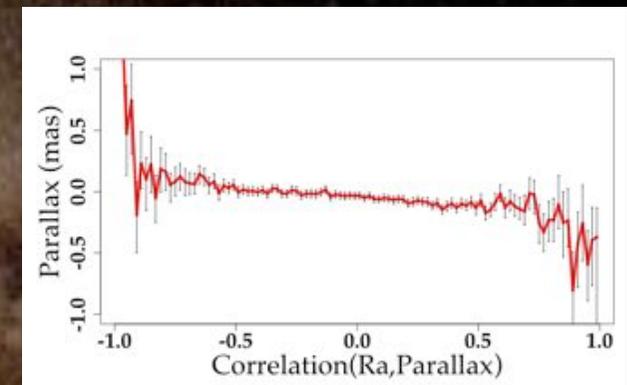
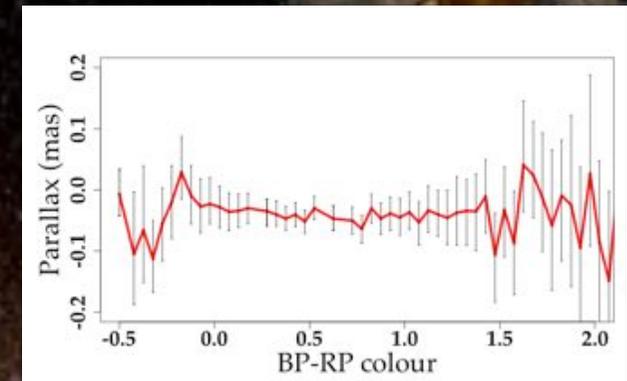
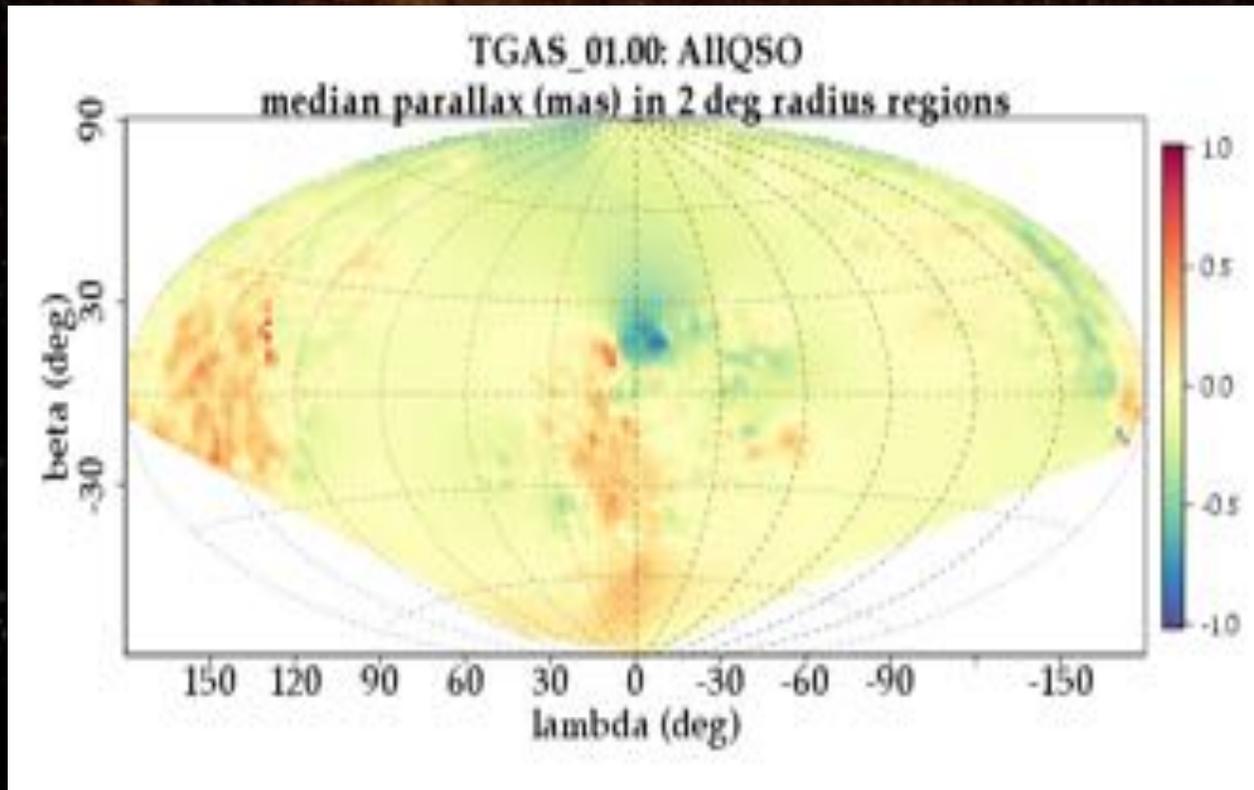


Tycho-2 stars not present in TGAS

WDS double stars completeness vs separation



Exactitude des parallaxes



- Une solution astrométrique spéciale faite pour 130 000 QSOs
 - Les parallaxes devraient être ~ 0 , donc on voit les vraies erreurs
 - À grande échelle: 10% du ciel QSO avec $|\text{Median}(\varpi)| > 0.3 \text{ mas}$
 - Dans quelques degrés carrés (rare): systématiques à $\pm 1 \text{ mas}$
 - Valeur médiane (point zéro global QSOs): $-0.04 \text{ mas} \neq 0$

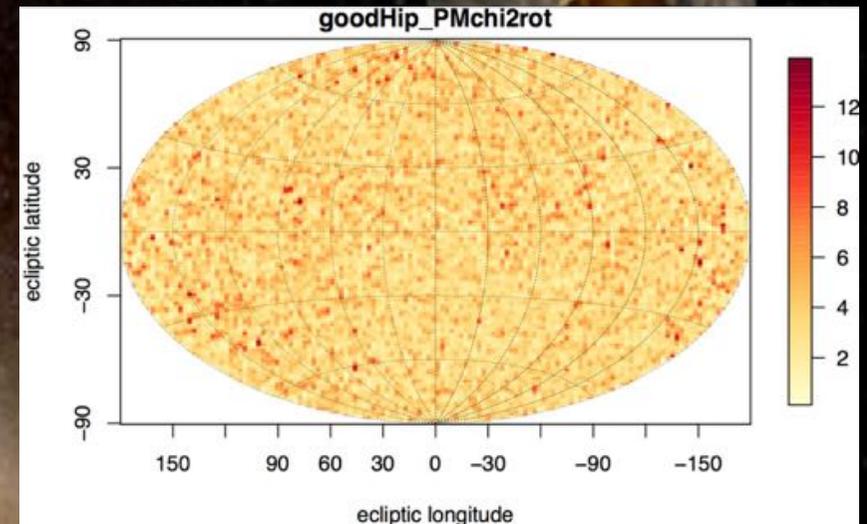
Autres estimations du point zéro

Catalogue	C. Babusiaux, et al.	Outliers	ϖ bias	ϖ extra standard deviation
Hipparcos		0.09%	-0.094 ± 0.004	0.58 ± 0.005
VLBI		0 / 9	0.083 ± 0.12	-
HST		2 / 19	-0.11 ± 0.19	0.6 ± 0.2
RECONS		0 / 13	-1.04 ± 0.58	-0.9 ± 0.5
VLBI & HST & RECONS		2 / 41	-0.08 ± 0.12	0.42 ± 0.13
Cepheids		0 / 207	-0.014 ± 0.014	-0.18 ± 0.01
RRLyrae		0 / 130	-0.07 ± 0.02	-0.16 ± 0.02
Cepheids & RRLyrae		0 / 337	-0.034 ± 0.012	-0.17 ± 0.01
RAVE		47 / 5144	0.07 ± 0.005	-0.06 ± 0.02
APOGEE		0 / 2505	-0.06 ± 0.006	-0.12 ± 0.01
LAMOST		6 / 317	-0.01 ± 0.02	-0.17 ± 0.02
PASTEL (J-K>0.3)		1 / 218	0.05 ± 0.02	0.1 ± 0.05
APOKASC		0 / 969	-0.07 ± 0.009	-0.15 ± 0.01
LMC		2 / 142	0.11 ± 0.02	-0.14 ± 0.03
SMC		0 / 58	-0.12 ± 0.05	-0.09 ± 0.09
ICRF2 QSO auxiliary solution		1 / 2060	-0.046 ± 0.01	-0.17 ± 0.01

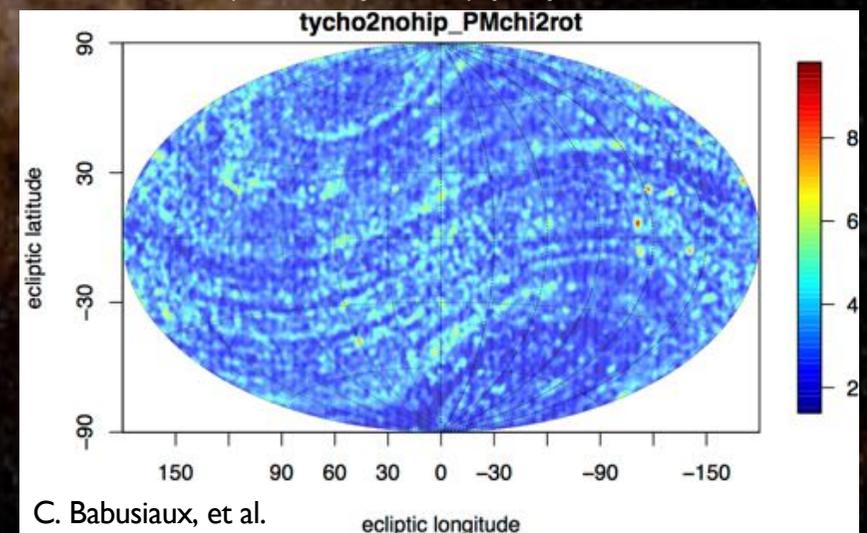
□ On voit les problèmes locaux avec LMC vs SMC vs la médiane ciel

Proper motions

- ❑ Compared to Hipparcos p.m.
 - ❑ G-H = 0 ± 0.004 mas/yr, OK!
- ❑ Compared to Tycho-2 p.m.
 - ❑ Hipparcos stars: -0.009 ± 0.005
 - ❑ Non-Hip stars: 0.08 ± 0.002 mas/yr
 - Little to infer, except Tycho-2 errors as a function of declination !
 - ❑ Problems with Gaia, if any, second order only
- ❑ Compared to VLBI
 - ❑ OK: 0.008 ± 0.006 mas/yr (36*)



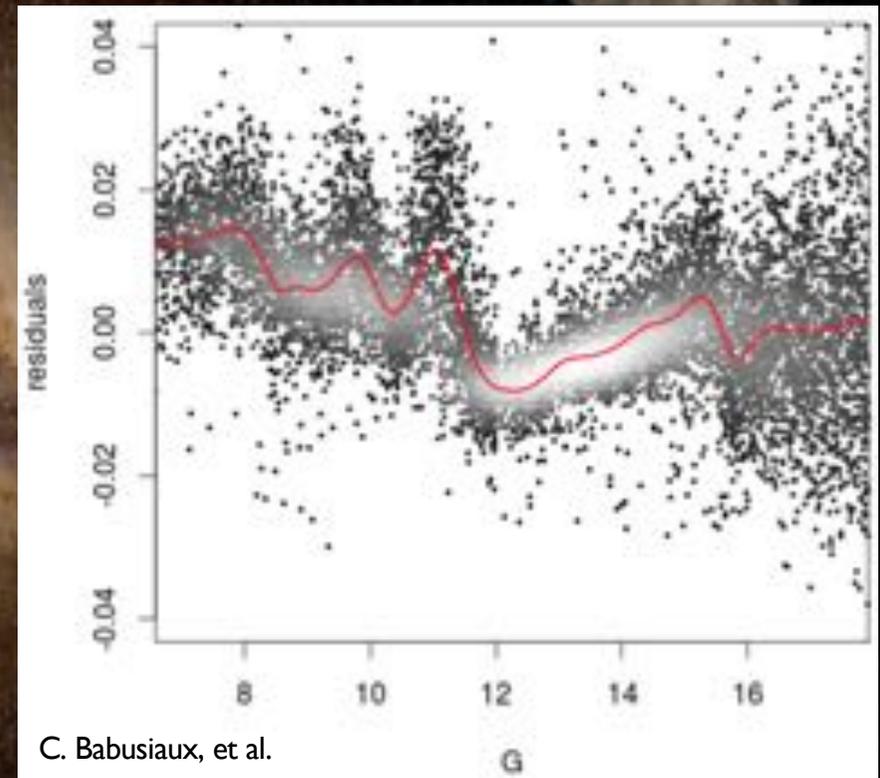
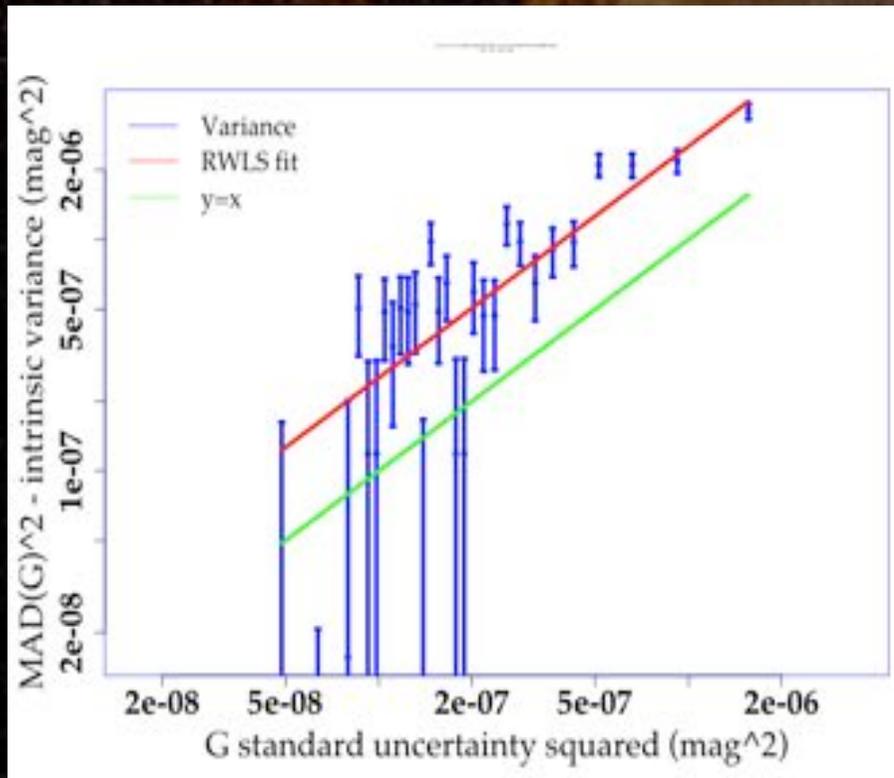
χ^2 of (Gaia - Hipparcos) proper motion



C. Babusiaux, et al.

Photométrie G

- ❑ Les incertitudes semblent pour la plupart correctement estimées



C. Babusiaux, et al.

- ❑ Mais il y a peut-être des systématiques pour les + brillantes

Comment éviter les biais en utilisant ces données

Utiliser le Catalogue à bon escient

Des données de nature statistique

❑ Les erreurs aléatoires

- ❑ Peuvent être assumées gaussiennes, avec la dispersion indiquée
- ❑ Il faut bien sûr s'attendre aux effets statistiques classiques
 - Les distances + magnitudes absolues ont des erreurs asymétriques
 - Bien visible au delà, par ex., d'une erreur relative $\sigma/\varpi > 20\%$

❑ Les erreurs systématiques

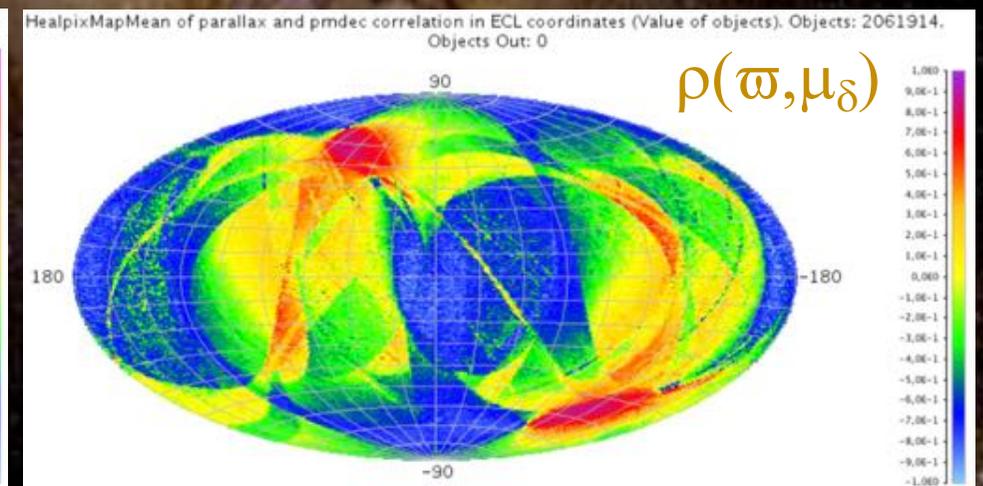
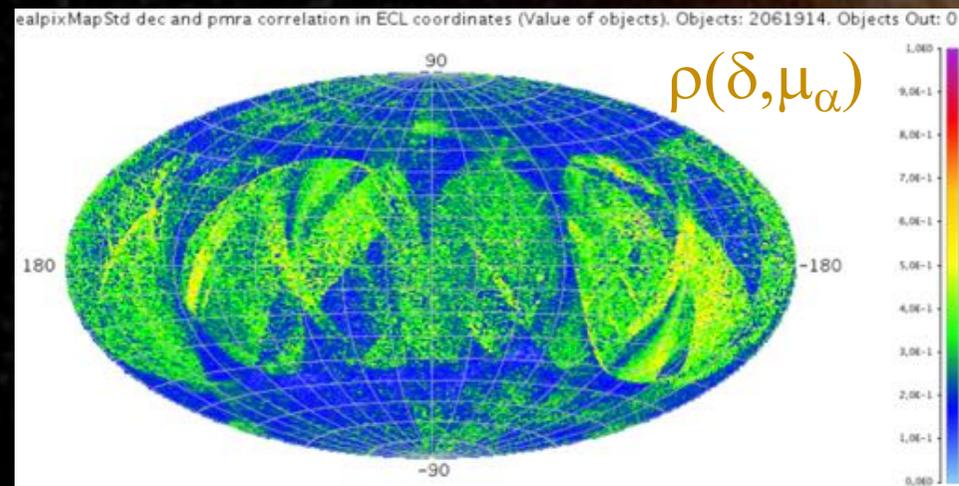
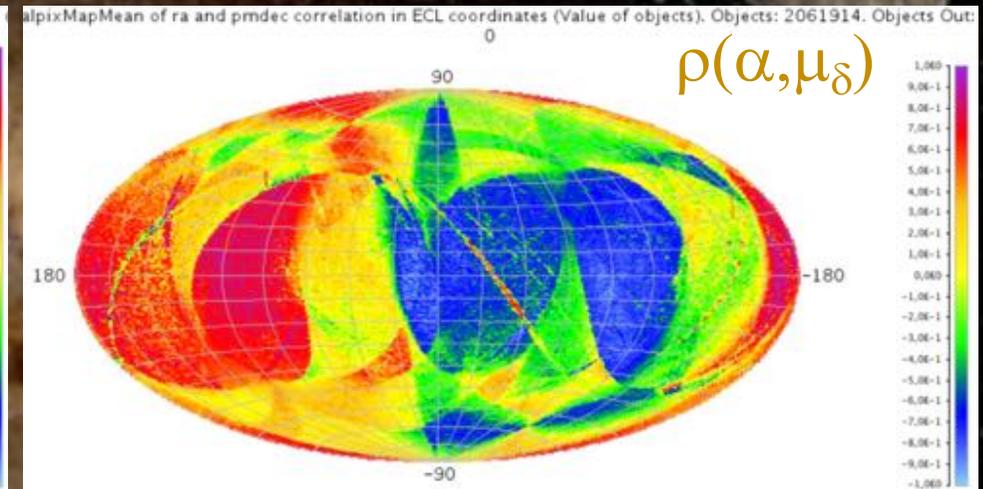
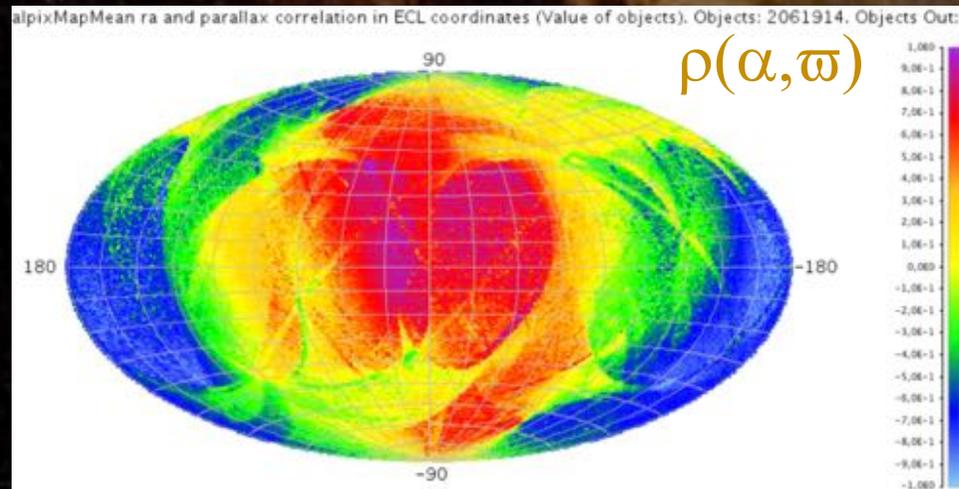
- ❑ Il faut s'attendre à des effets locaux, ou avec couleurs, magnitudes...
 - Comprendre les parallaxes: $\varpi = x \pm \sigma$ (rand.) ± 0.3 (syst.) mas
- ❑ Systématiques sont au même niveau que les aléatoires
 - À utiliser individuellement de préférence
 - Pas de gain en \sqrt{n} en moyennant dans par ex. LMC, SMC, amas

❑ La complétude

- ❑ Obtenir des échantillons complets sera difficile
- ❑ Donc la meilleure utilisation parallaxe/p.m. pour DR1 est individuelle

Corrélations

- Des corrélations significatives entre paramètres astrométriques
Par ex. les effets sur les parallaxes seront présentes dans p.m.



Détecter des étoiles à problèmes

❑ ? Comment détecter ?

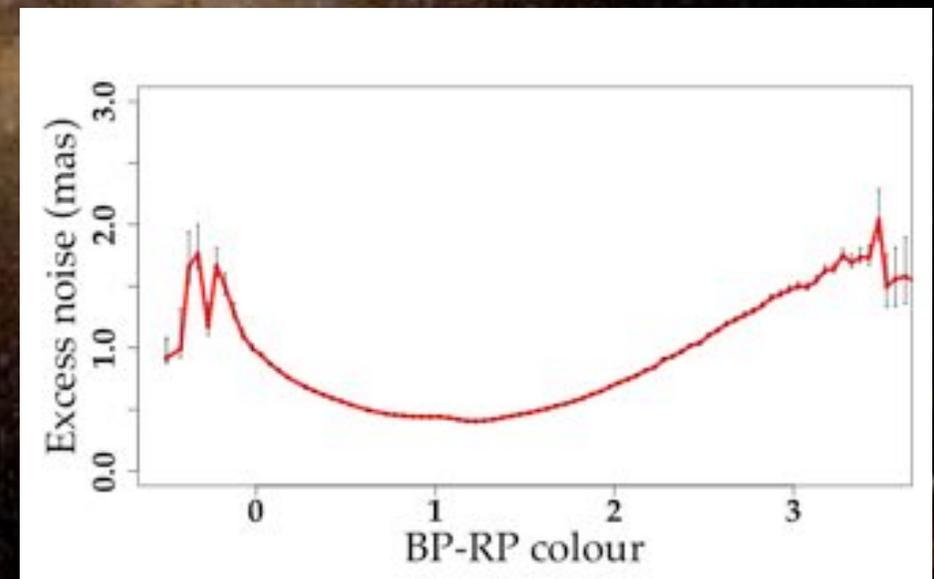
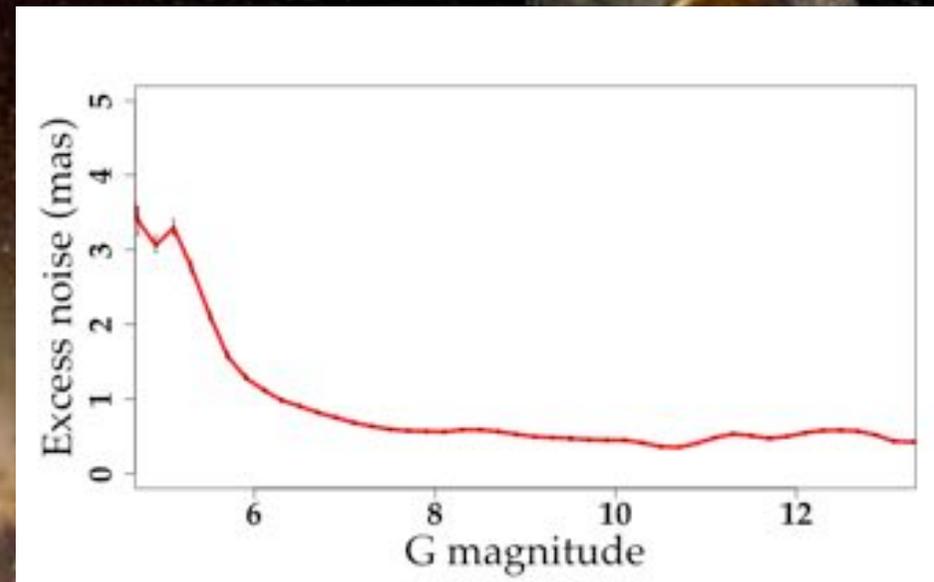
- ❑ Doubles résolues
- ❑ Binaires non résolues
- ❑ Mauvais ajustement de PSF
- ❑ Problèmes d'attitude
- ❑ Et autres pb de calibrations

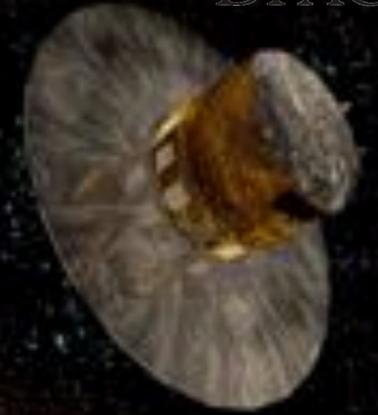
❑ excessNoise peut aider

- ❑ La dispersion qui doit être ajoutée pour avoir un bon ajustement
- ❑ Valeur médiane ~ 0.5 mas

❑ D'autres champs utiles

- ❑ Corrélations, scanDirection, ...

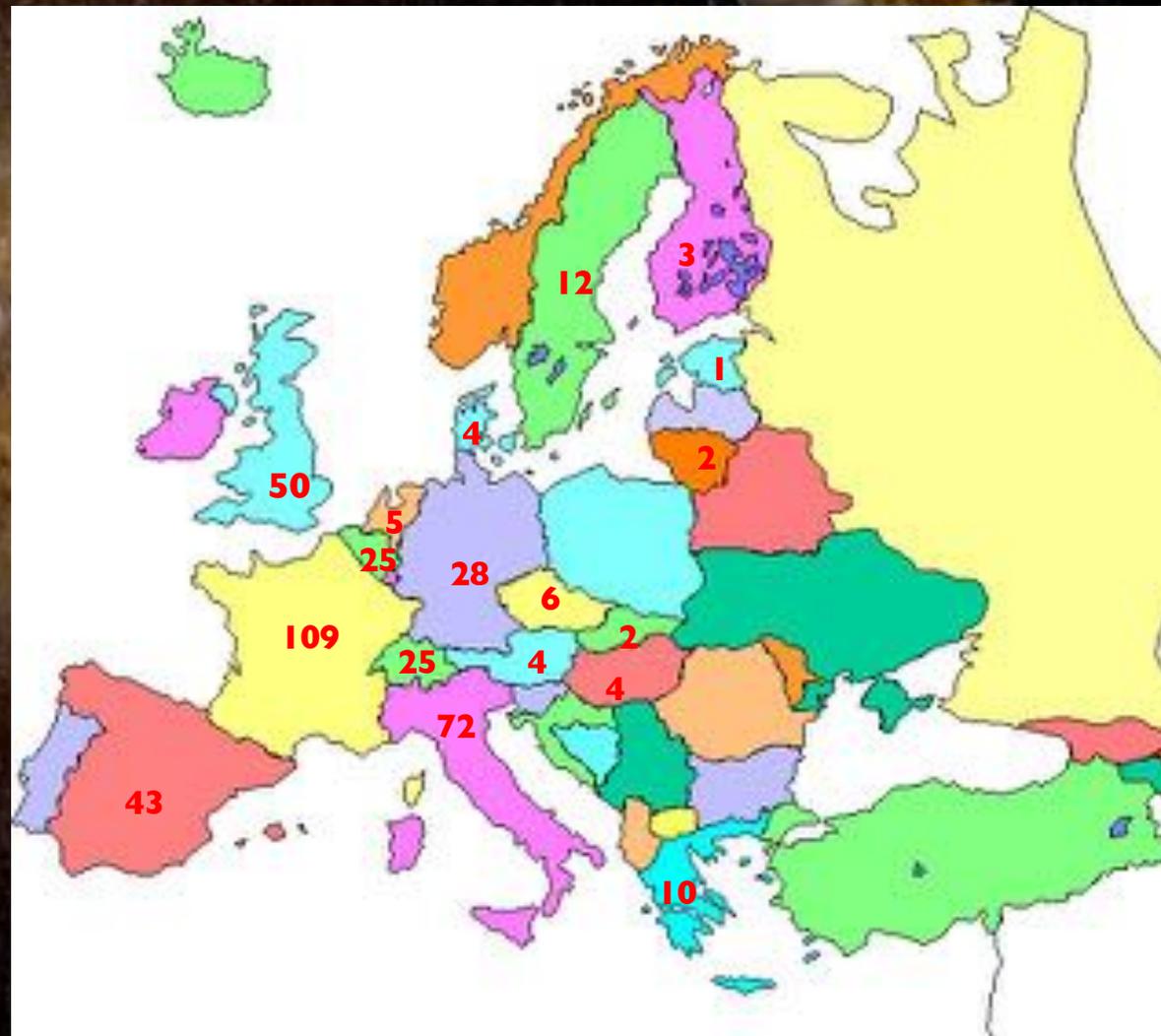




Organisation

Segment sol scientifique

- ❑ DPAC formé il y a 10 ans!
- ❑ ~450 scientifiques et ingénieurs européens
- ❑ 160 instituts
- ❑ 24 pays + l'ESA
- ❑ 6 centres de traitement de données



L'ObsPM dans le DPAC

□ GÉPI

- CU2 : responsabilité des simulations Gibis, des données spectroscopiques, des étoiles non simples, traitement à bord du satellite
- CU4 : étoiles multiples
- CU6 : responsabilité du traitement des données spectroscopiques
- CU8 : modèles stellaires (âges)
- CU9 : responsabilité de la validation du Catalogue

□ IMCCE

- CU2 : simulations des SSO (objets du système solaire)
- CU3 : REMAT (relativité), éphémérides
- CU4 : responsabilités de plusieurs WP (objets du système solaire) + exoplanètes + Gaia-FUN (suivi sol)
- CU6 : spectroscopie des SSO
- CU9 : validation du Catalogue (SSO)
- Éphémérides planétaires & satellitaires

□ SYRTE

- CU3 REMAT (relativité)
- CU3 GBOT (suivi sol du satellite)
- Système de référence
- CU9 : validation du Catalogue (quasars)
- Alertes scientifiques

□ LERMA

- CU8 Modèles d'atmosphères

Personnel impliqué

ETP des membres de l'OP dans le DPAC				
(en italique : responsables de CU, de DU ou membres de comités de pilotage)				
Nom, prénom	Dept	Grade	% ETP	CUX
<i>ARENOU Frédéric</i>	GEPI	IR HC	0+10+60	2,4,9
ARLOT Jean-Eudes	IMCCE	ACE	40	4
<i>BABUSIAUX Carine</i>	GEPI	AA	10+20	2, 9
BARACHE Christophe	SYRTE	IR1	10+20	3, 9
<i>BERTHIER Jérôme</i>	IMCCE	IR1	20+10	4, 9
<i>BOUQUILLON Sébastien</i>	SYRTE	AA	50	3
CARLUCCI Teddy	SYRTE	ASI	50	3
CARRY Benoît	IMCCE	AA	10+20	4, 9
CORREIRA DE MATOS DAVID Pedro	IMCCE	IE	70+30	4, 9
DI MATTEO Paola	GEPI	AA	10	9
FINDEISEN Krzysztof	GEPI	Post-doc	100	9
FOUCHARD Marc	IMCCE	MdC	10	4
HAIGRON Régis	GEPI	IE	50	6
<i>HESTROFFER Daniel</i>	IMCCE	A	20+10	4, 9
<i>KATZ David</i>	GEPI	AA	50	6
KOVALENKO Irina	IMCCE	Thèse	60	4
KUDRYASHOVA Maria	IMCCE	Post-doc	100	9
LAINÉY Valéry	IMCCE	AA	20	4
<i>LEBRETON Yveline</i>	GEPI	A	10	8
LECLERC Nicolas	GEPI	IE	100	2-9
LE PONCIN LAFITTE Christophe	SYRTE	AA	10+20	3, 9
MANCHE Hervé	IMCCE	IE	10	4
MAQUET Lucie	IMCCE	AA	15	4
MARCHAL Olivier	GEPI	CDD CNES	100	6
MARTINS Olga	GEPI	TCS	40	2-9
NORMAND Jonathan	IMCCE	IE	15	9
<i>PANUZZO Pasquale</i>	GEPI	IR2	100	6
PLUM Guillaume	GEPI	CDD CNES	100	6
RAMBAUX Nicolas	IMCCE	MdC	20+10	4, 9
RUIZ-DERN Laura	GEPI	Thèse	80	9
<i>SARTORETTI Paola</i>	GEPI	IR	100	6
SHIH I-Chun	GEPI	CDD CNES	100	9, 4
SOUCHAY Jean	SYRTE	A	20	3, 9
TARIS François	SYRTE	ITRF	50	3, 9
<i>THUILLOT William</i>	IMCCE	ACE	20	4
TURON Catherine	GEPI	A Emérite	60	2-9

□ Actifs dans le DPAC

□ ETP > 10%

□ 38 personnes (Ast+ITA)

□ ~20 ETP

□ Par Département: pers/ETP

➤ GEPI: 18 / 12.6

➤ IMCCE: 14 / 5.3

➤ SYRTE: 6 / 2.3

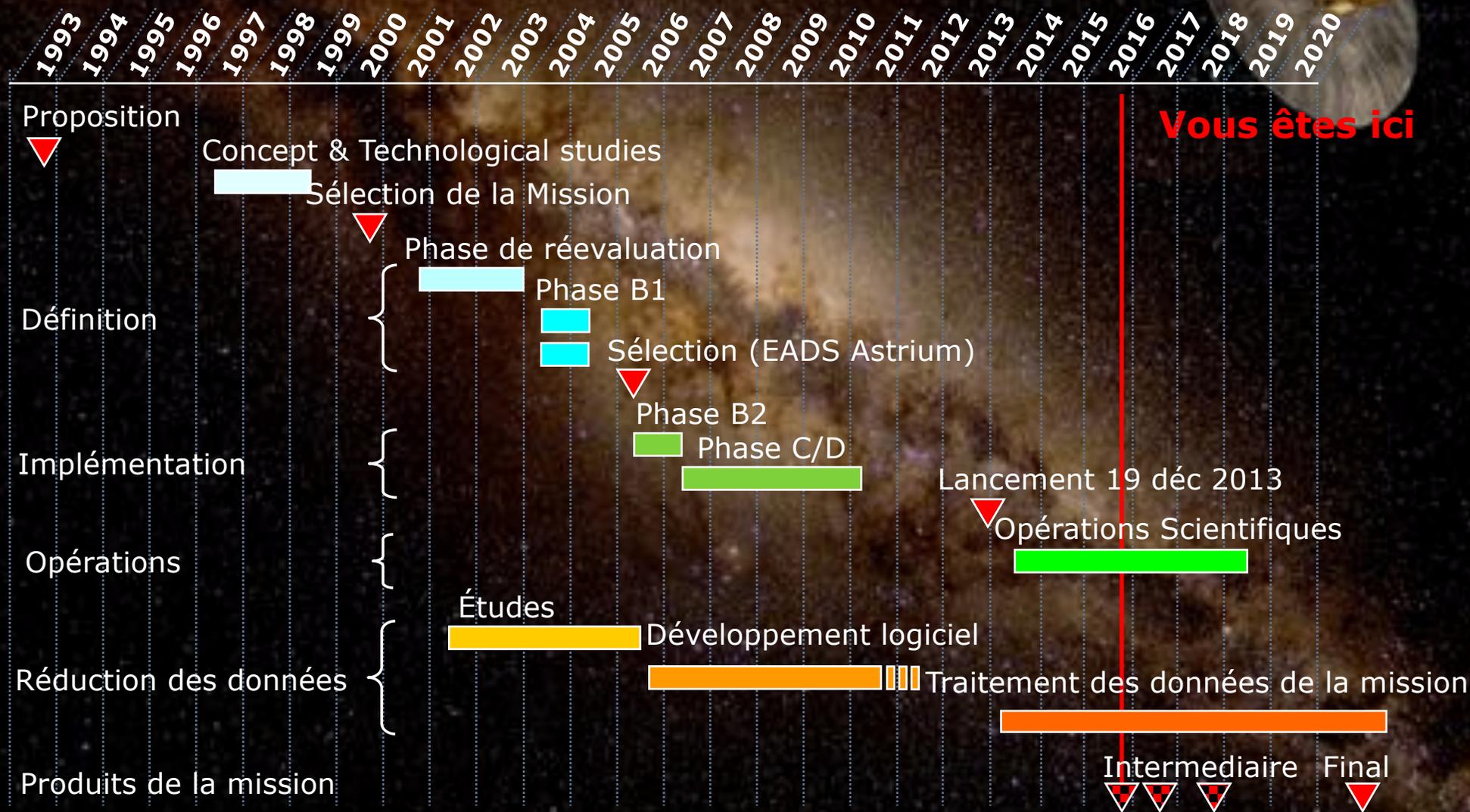
□ Deuxième cercle

□ Action de synergie interne

□ ETP DPAC ou non

□ 64 personnes

Gaia: calendrier



Mieux qu'hier, moins que demain

- ❑ Gaia DR1: l'état du ciel au début du XXI^{ème} siècle
- ❑ Gain par rapport à Hipparcos
 - ❑ Un facteur 20 en nombre de parallaxes - et 3 fois meilleures
- ❑ La qualité va s'améliorer aux prochaines releases
 - ❑ Les problèmes sont identifiés, parfois déjà corrigés
- ❑ La quantité et le contenu également, dans un an environ
 - ❑ Un milliard de parallaxes
 - ❑ La photométrie $G/G_{BP}/G_{RP}$
 - ❑ Des vitesses radiales pour les plus brillantes
 - ❑ De la classification

... au travail !

