

# Forum Gaia DR1

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

*Action Fédératrice Gaia  
de l'Observatoire de Paris*

# En opération

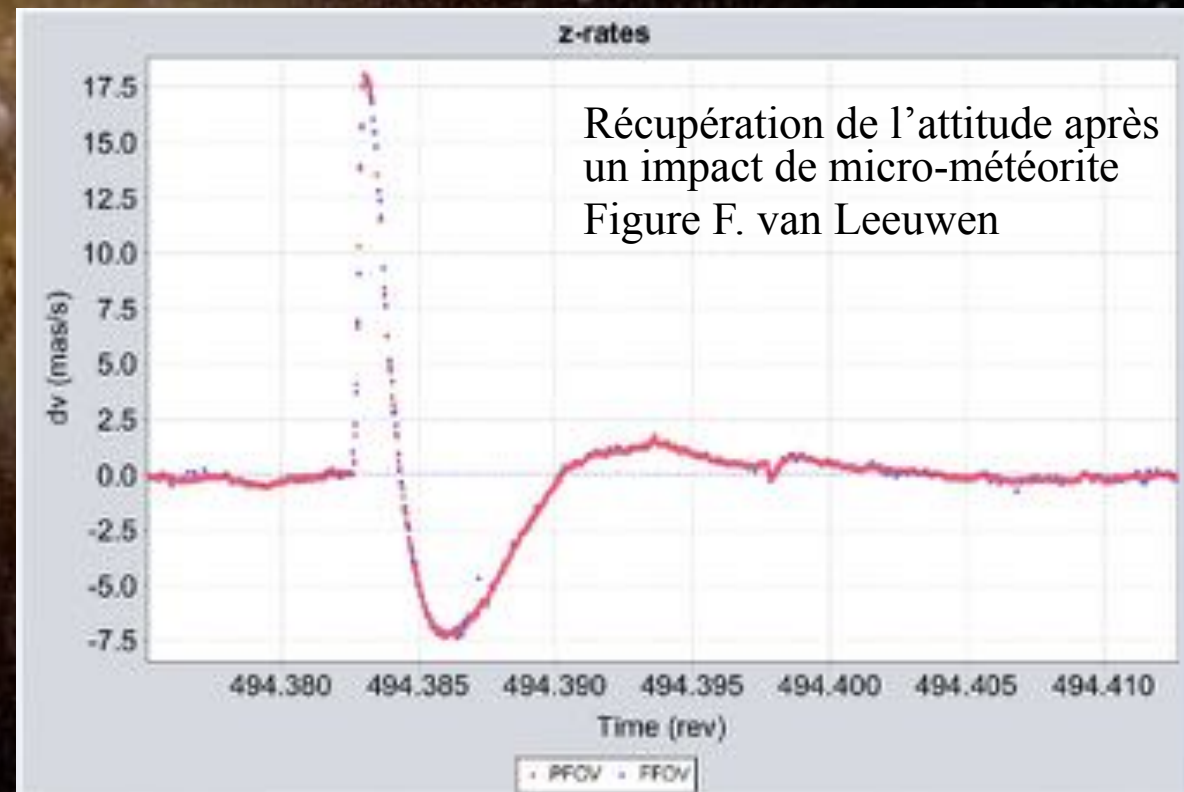


- ❑ En mode routine depuis le 25 juillet 2014
  - ❑ Ce mode a commencé avec un mois de balayage des pôles éclipitiques avant de passer au mode de balayage nominal
  
- ❑ Données (à la date de juillet dernier)
  - ❑ 440 milliards de mesures astrométriques
  - ❑ 107 milliards de mesures photométriques
  - ❑ 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)

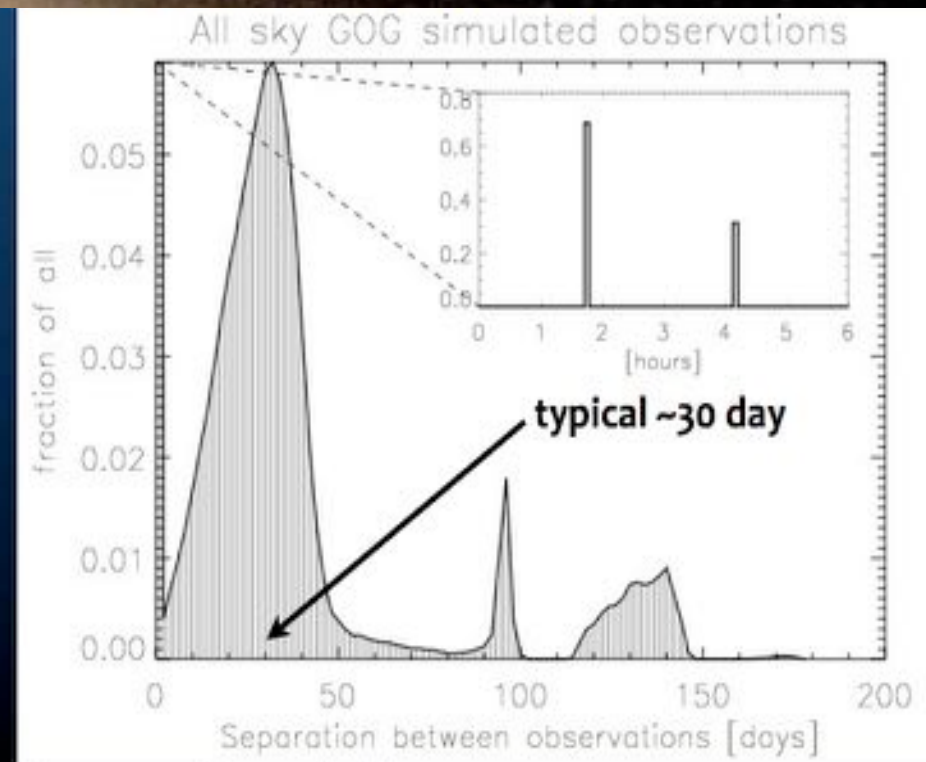
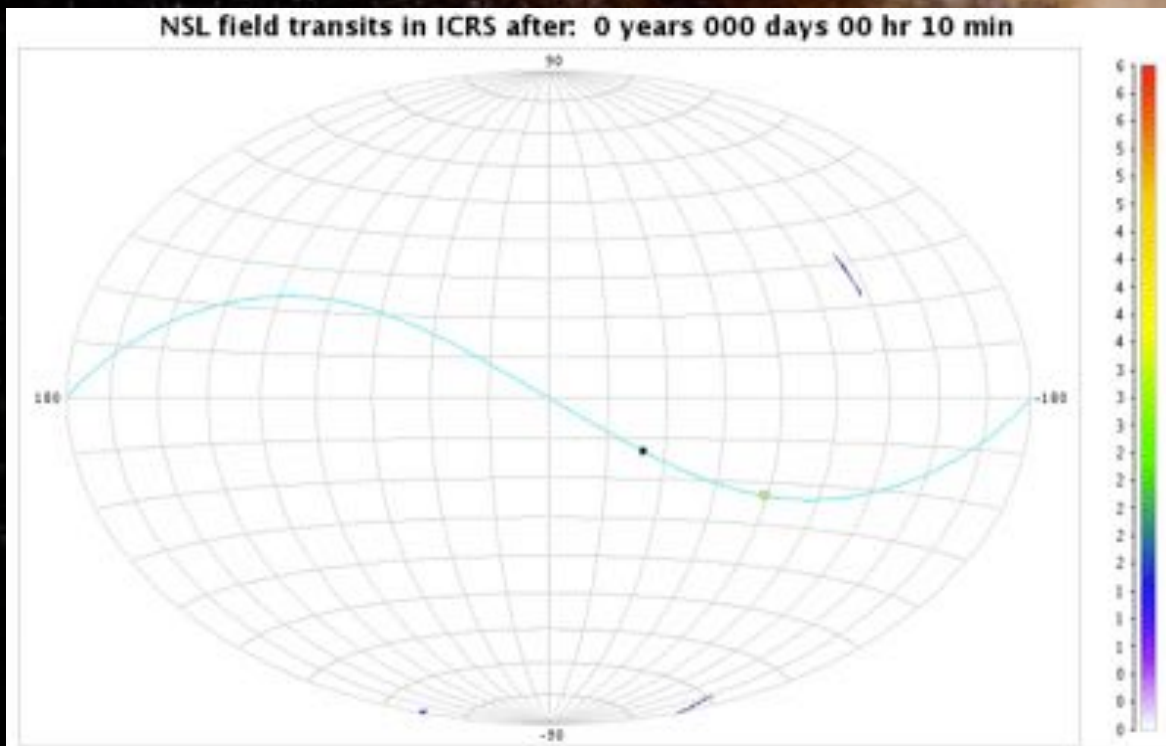
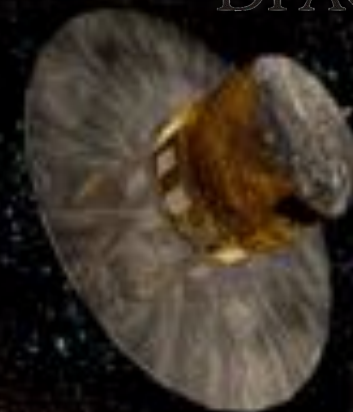


Figure courtesy: Lukasz Wyrzykowski



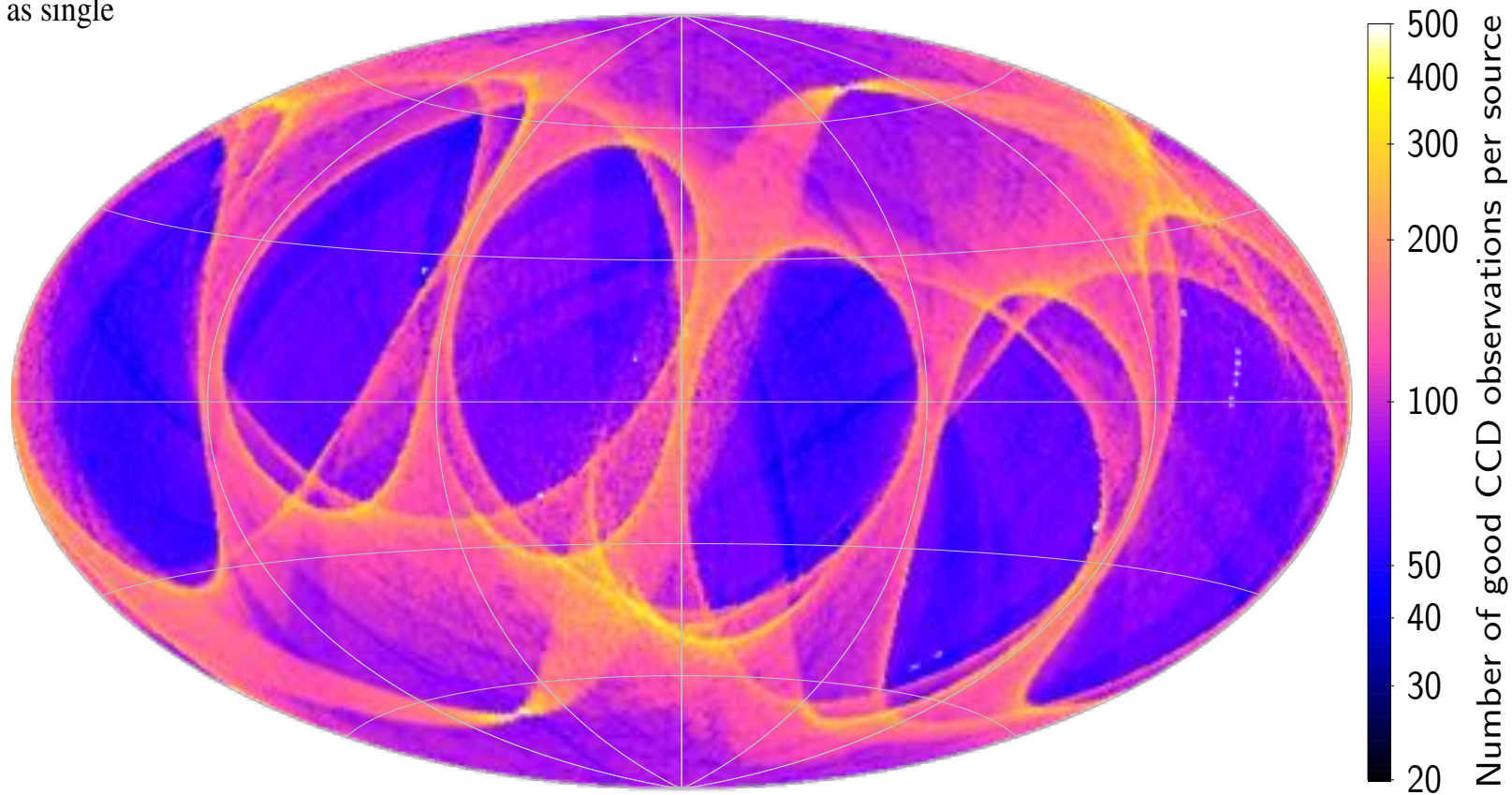
DR1

# 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

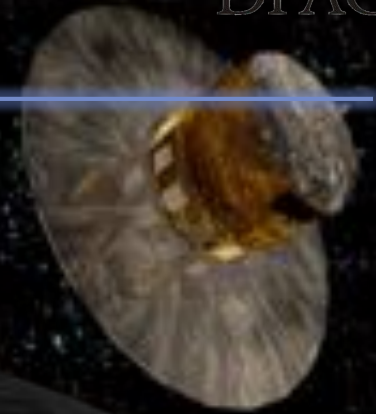
TGAS Mean no. observations per source (pixel  $\sim 1 \text{ deg}^2$ )



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

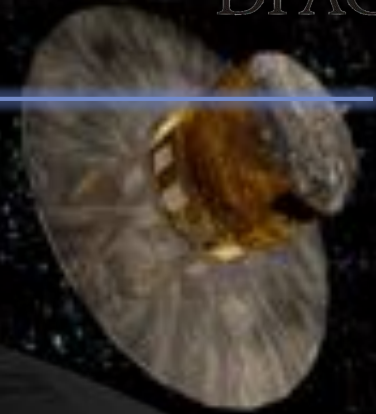
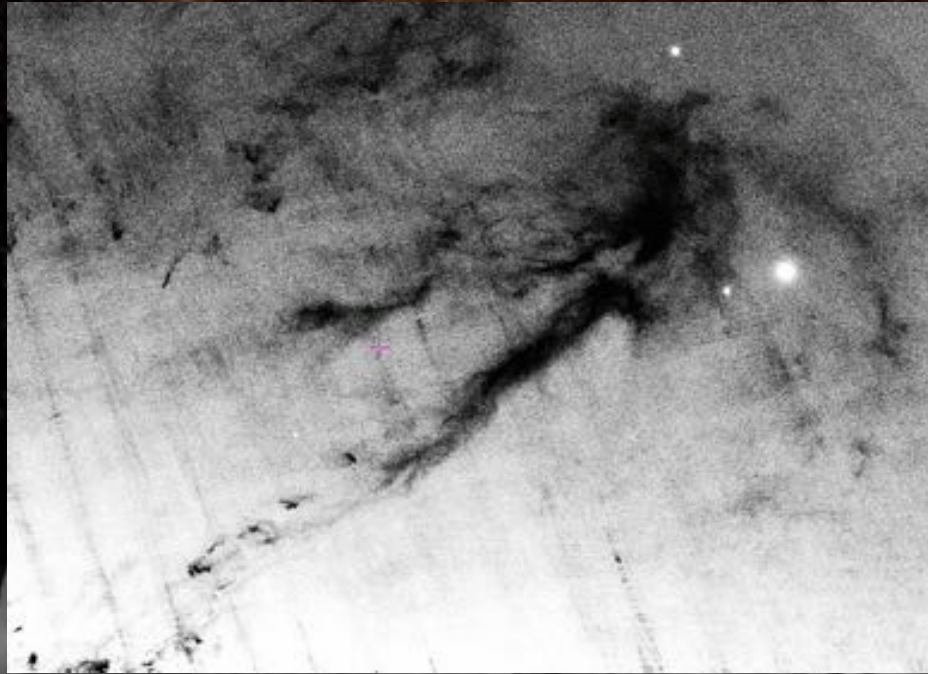
# Contenu du Catalogue

- 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



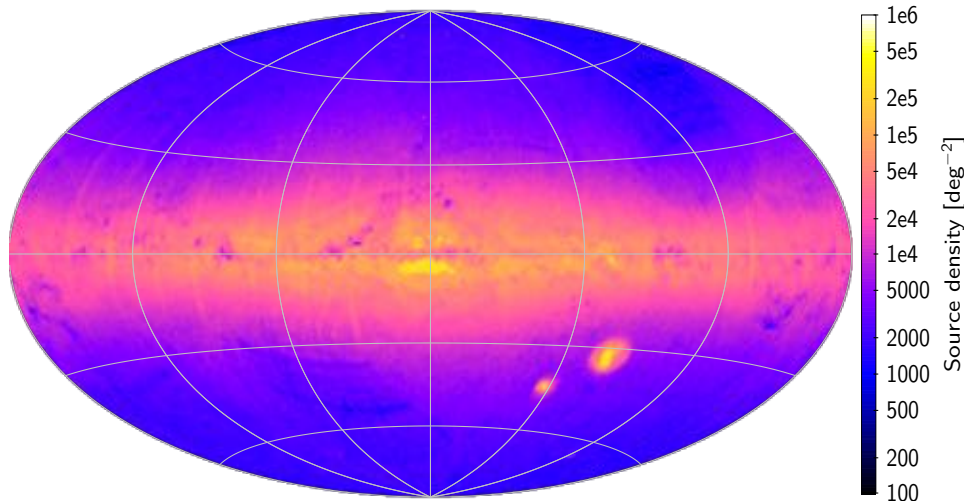


# De bonnes résolutions

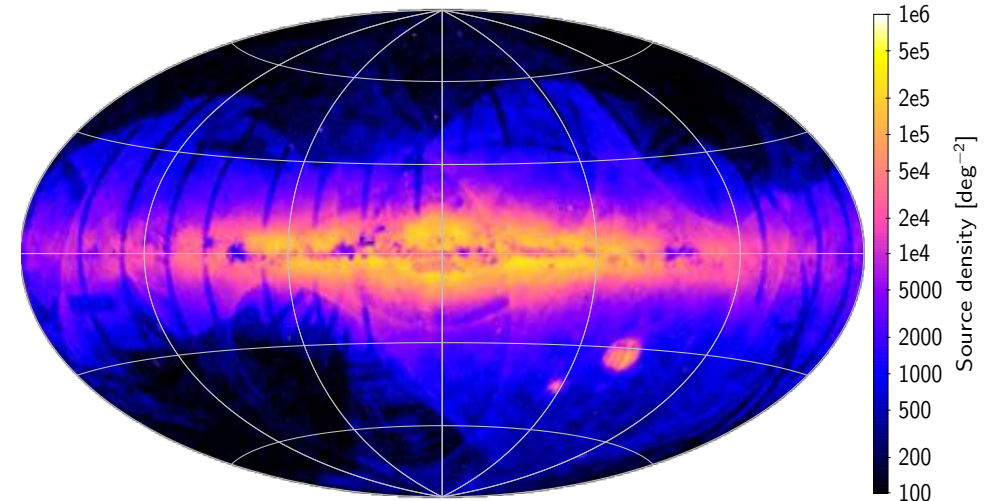


# Positions DR1

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.

- $(\alpha, \delta)$  for  $\sim 1.1$  billion sources to  $G = 20.7$
- Epoch J2015.0, alignment to ICRF  $< 0.1$  mas, rotation  $< 0.03$  mas yr $^{-1}$
- Typical position uncertainty  $\sim 10$  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

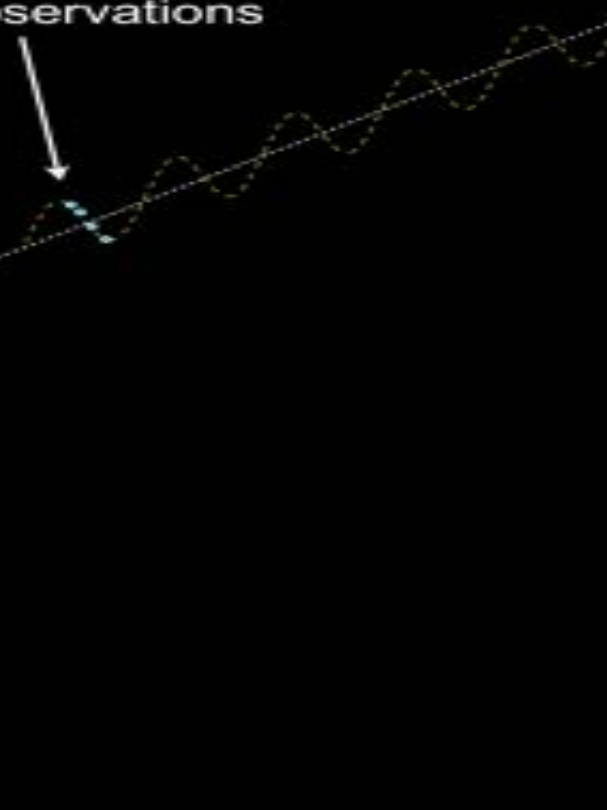
# La solution TGAS



- 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)



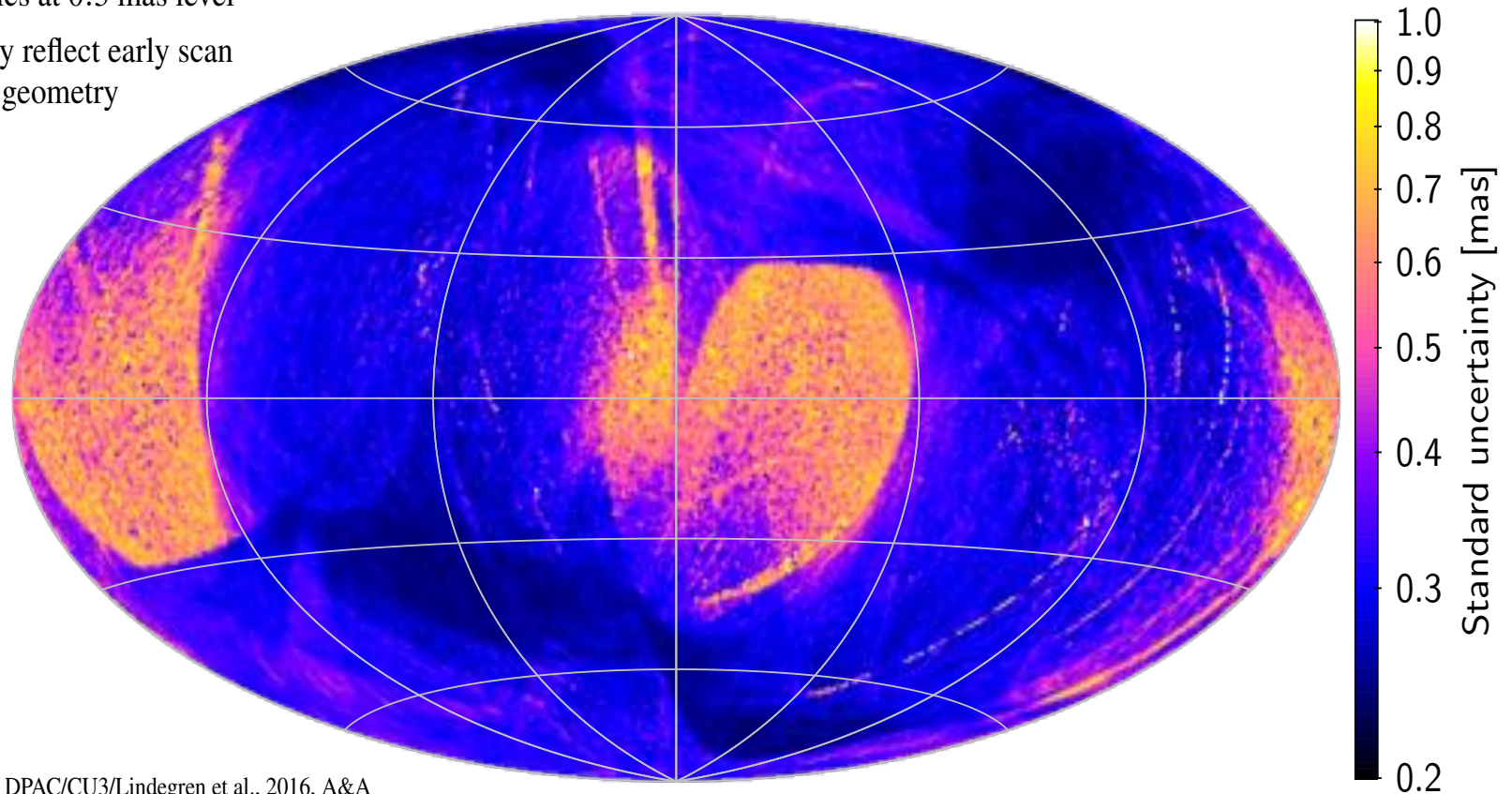
# Précision des parallaxes

- 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  $\sim 0.84 \text{ deg}^2$



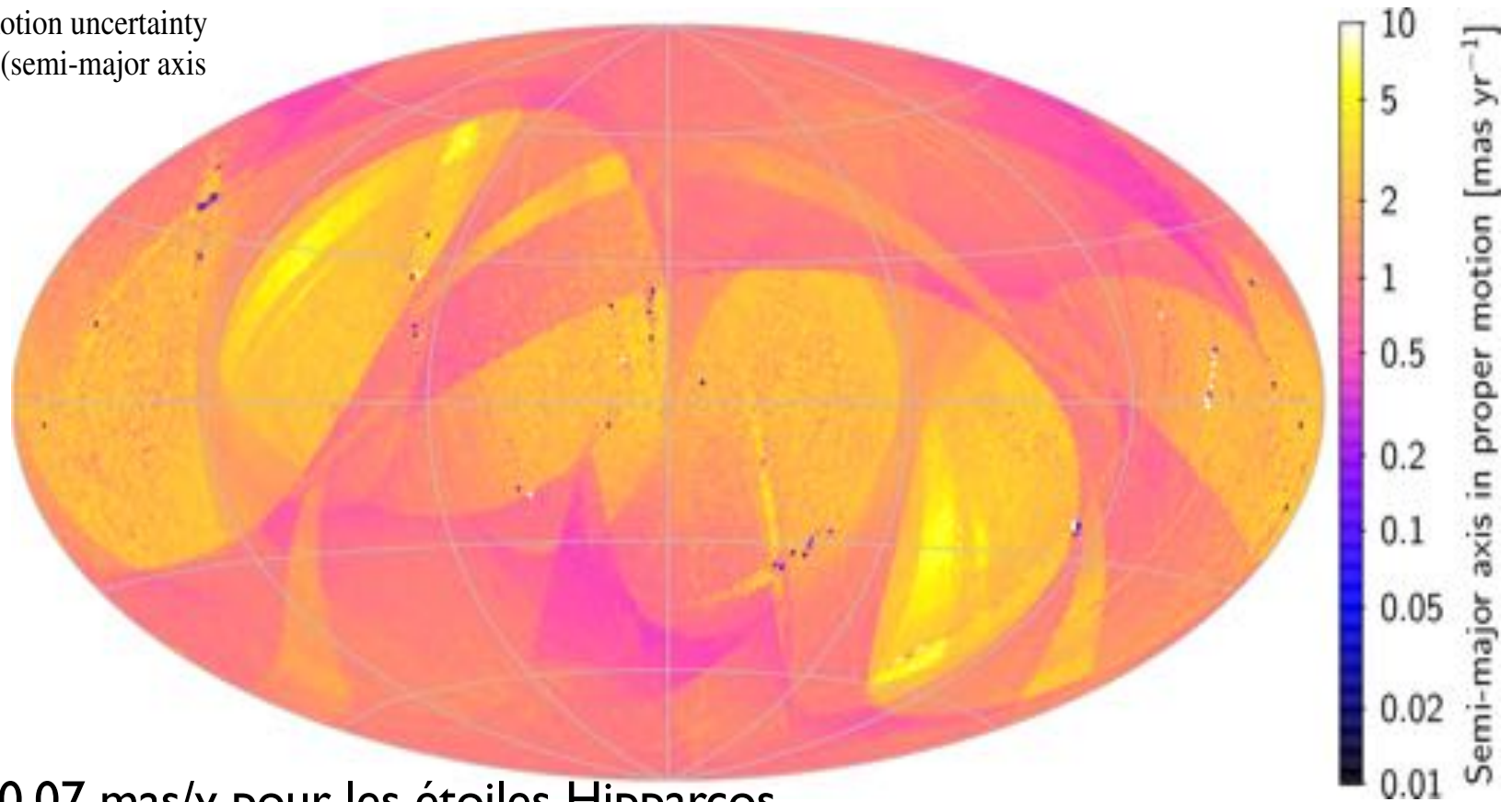
DPAC/CU3/Lindgren et al., 2016, A&A

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)

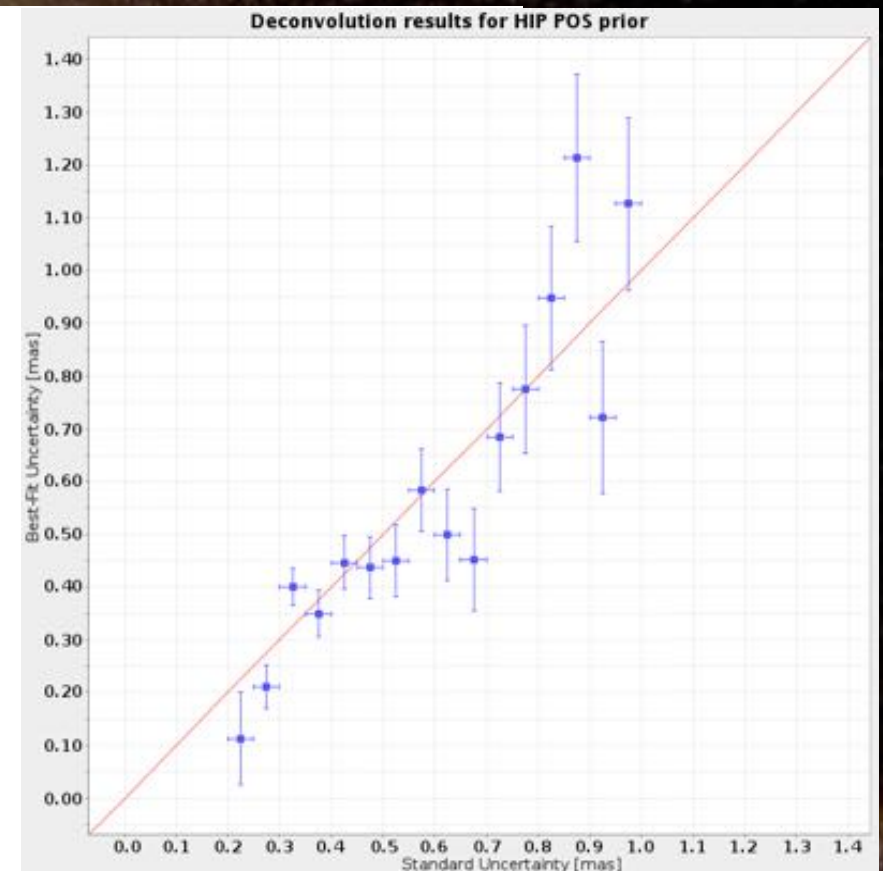
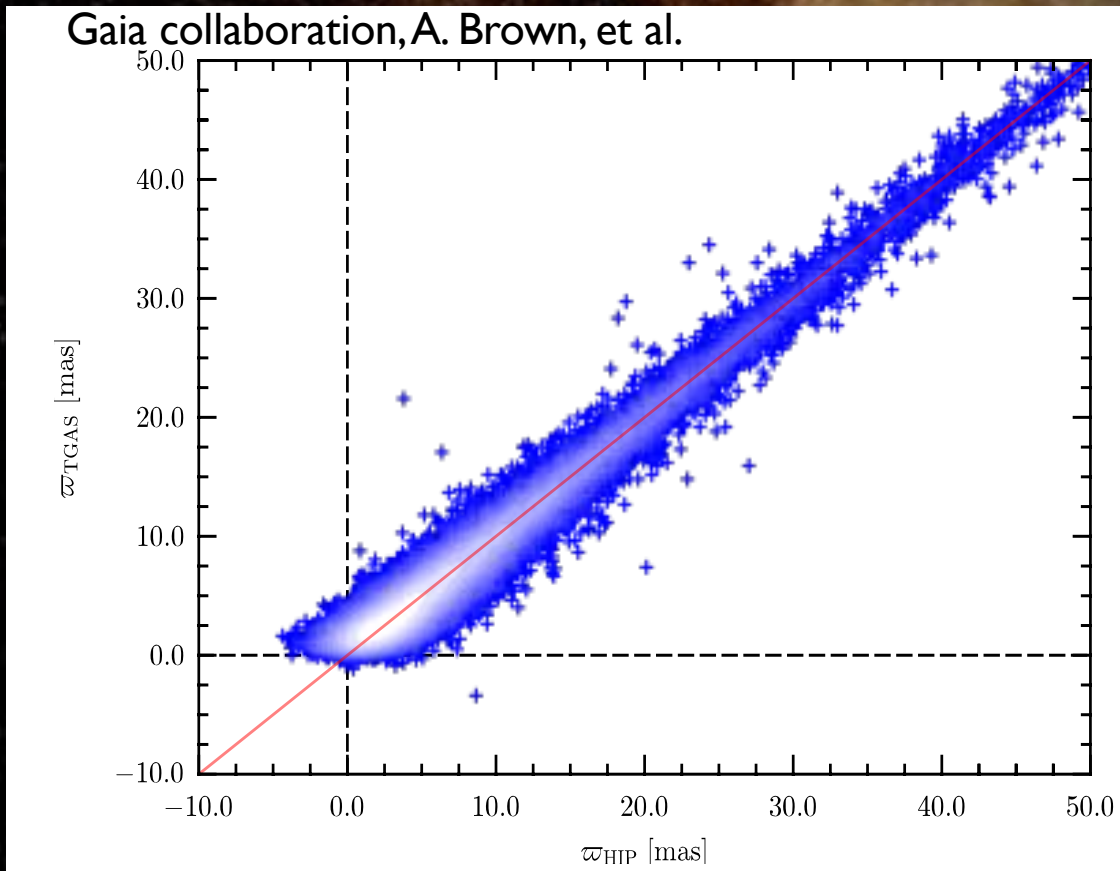


**NB: précision 0.07 mas/y pour les étoiles Hipparcos**

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

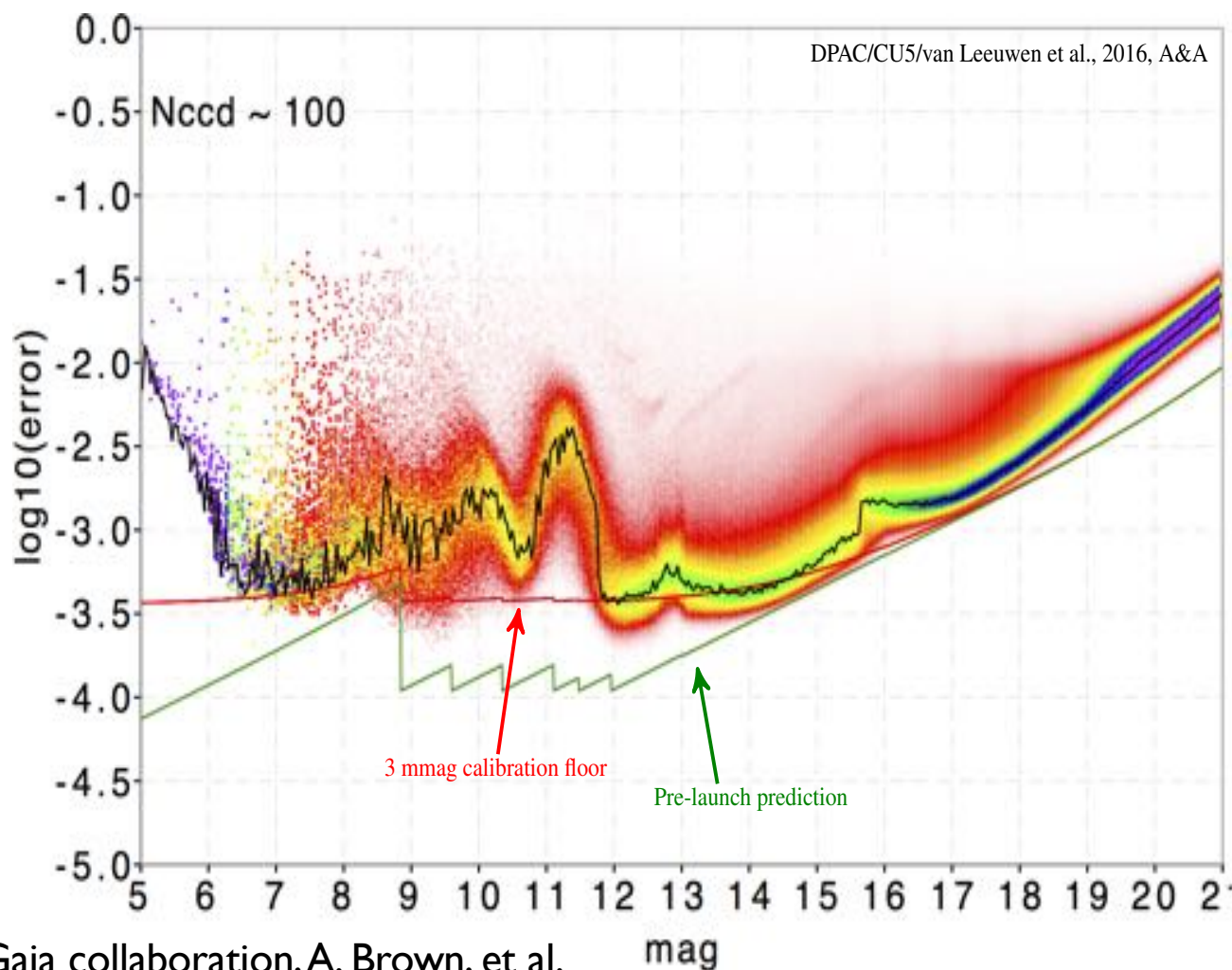
# Qualité des parallaxes

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



# Photometric precision

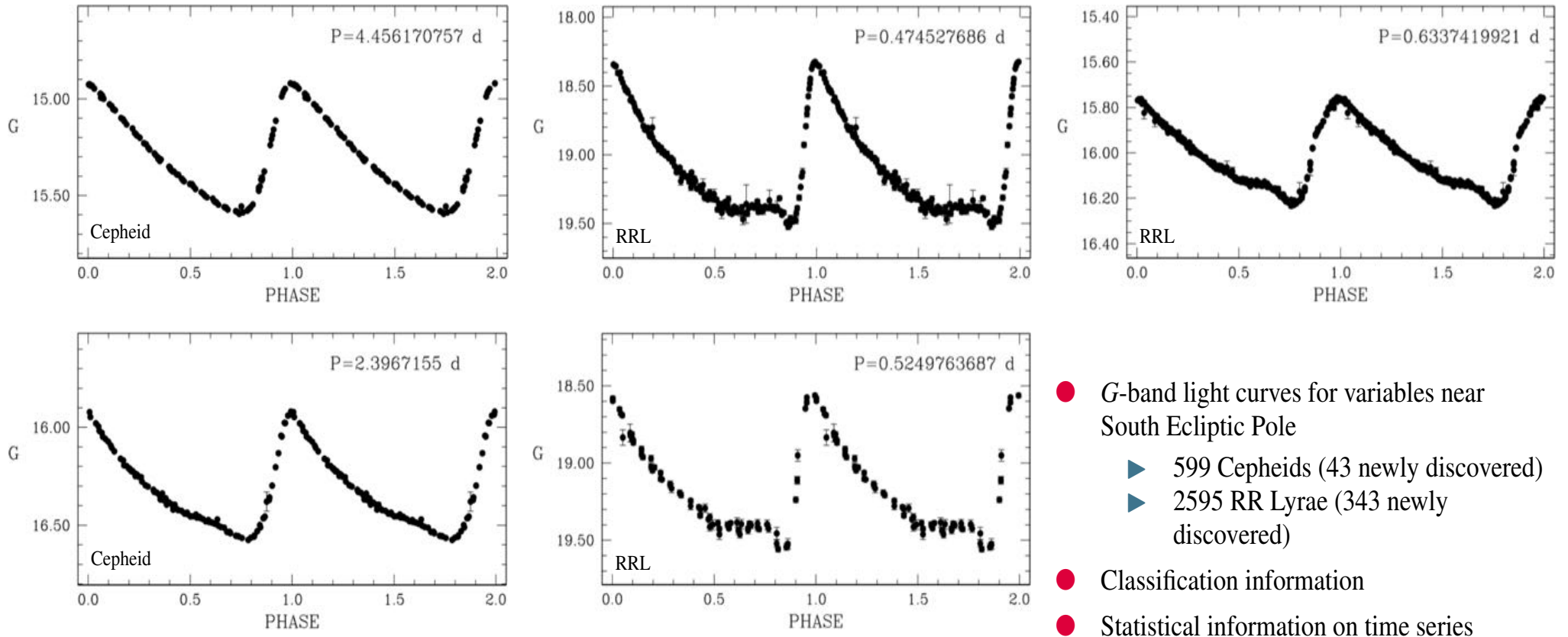
Error on the weighted mean  $G$  value for sources with  $\sim 100$  CCD transits



Gaia collaboration, A. Brown, et al.

- 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  $\sim 3$  mmag level
- ◆ Bright end features related to on-board instrument configuration changes
  - ▶ will be calibrated out in future releases

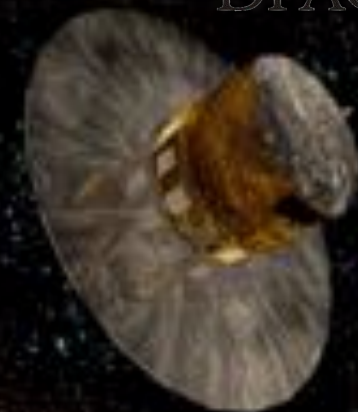
# Variable stars



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

Gaia collaboration, A. Brown, et al.



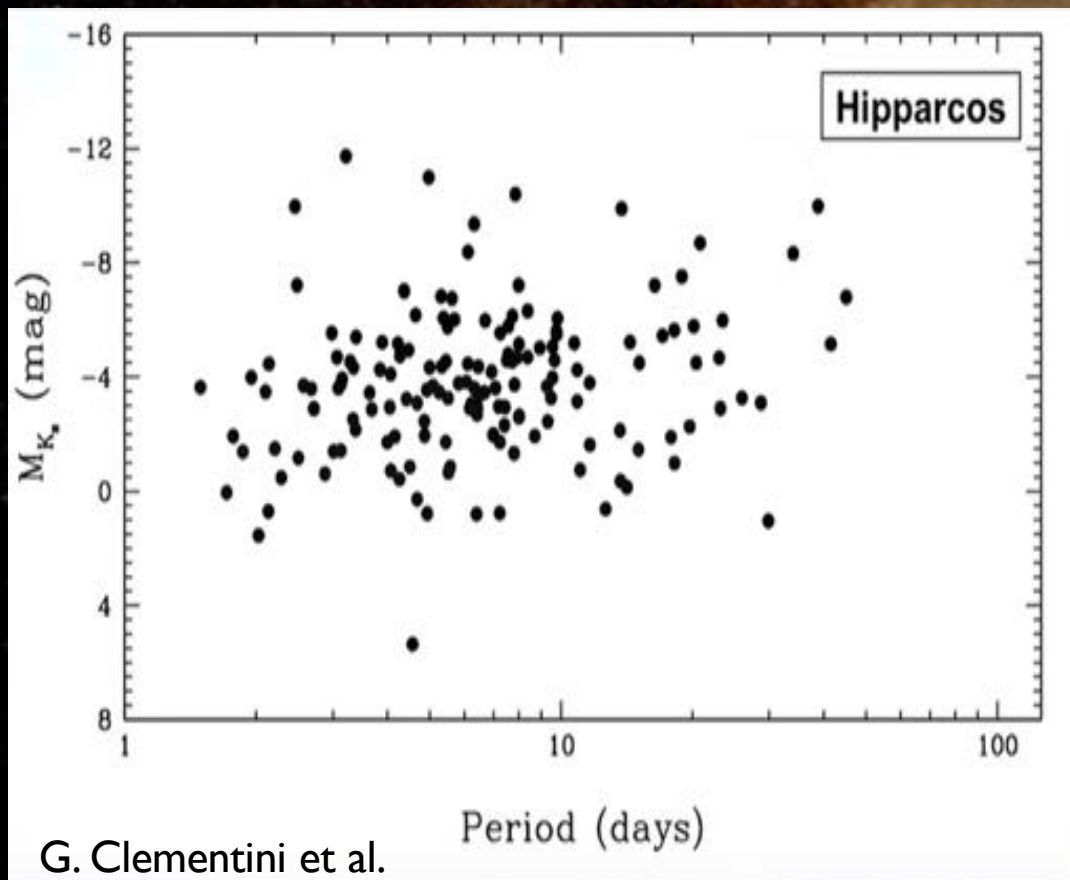


L'exploitation scientifique n'a pas encore débuté...

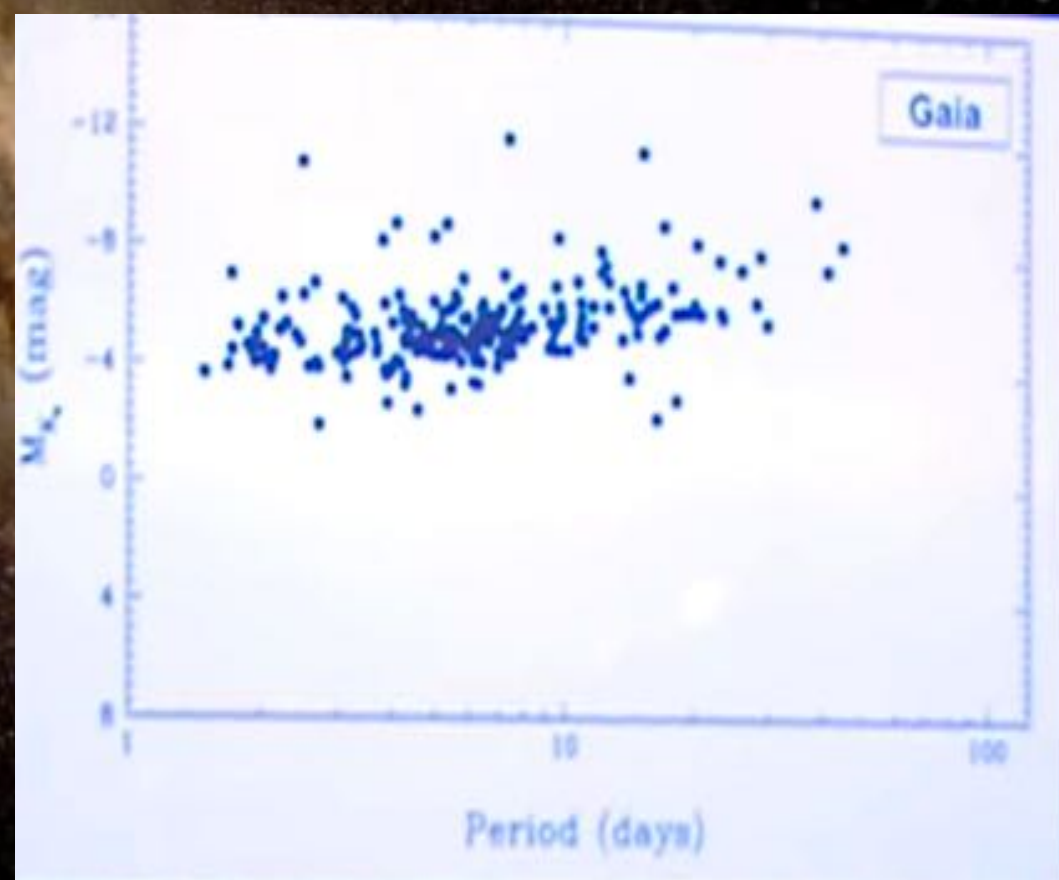
**Un petit aperçu des performances**

un petit aperçu des performances

# Céphéïdes: Gaia vs Hipparcos

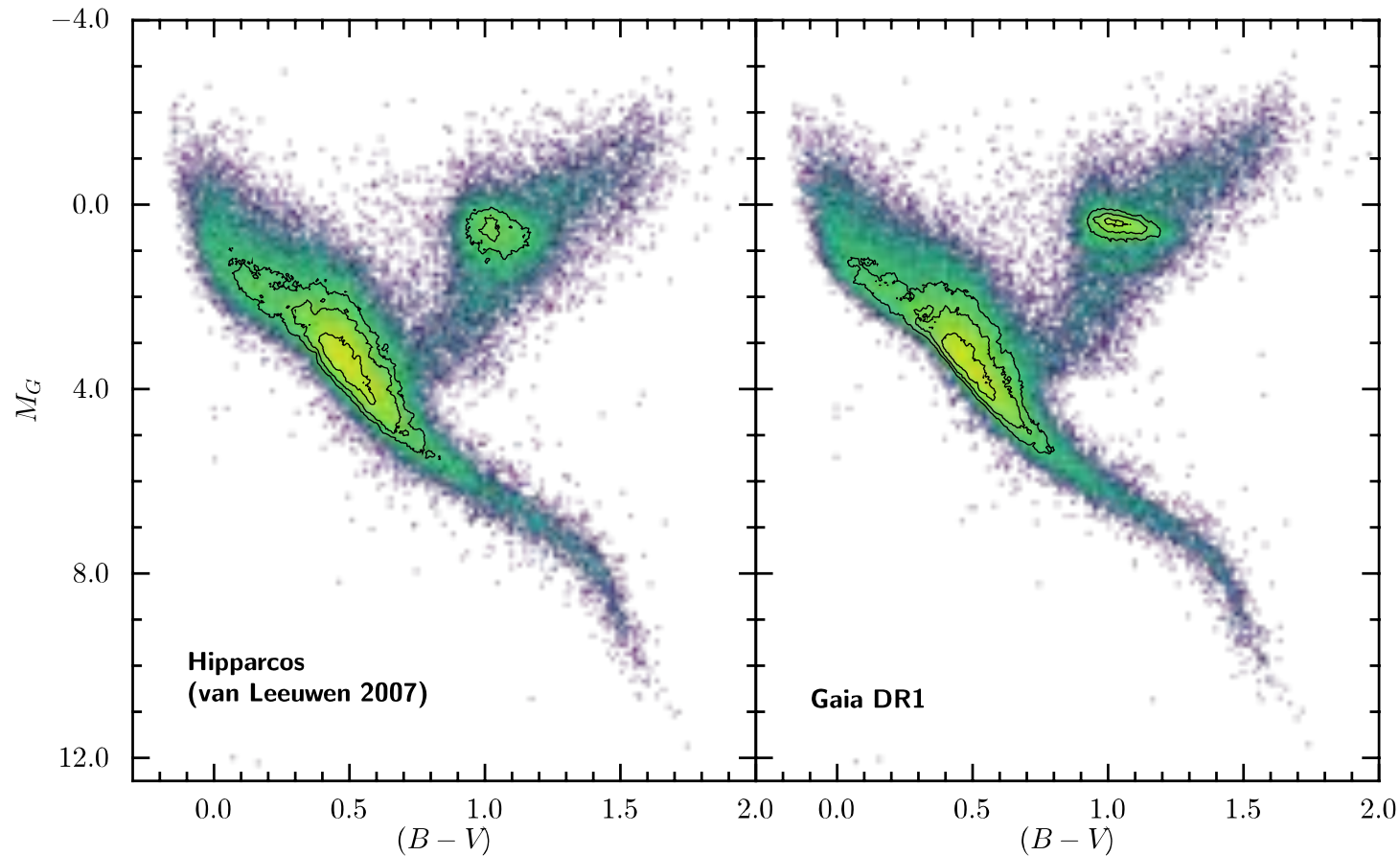


G. Clementini et al.



# Diag. H-R comparé à Hipparcos

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



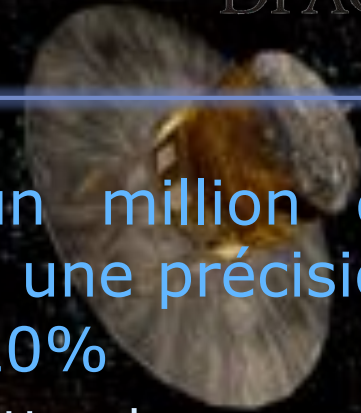
Gaia collaboration, A. Brown, et al.

All stars from Hipparcos Catalogue

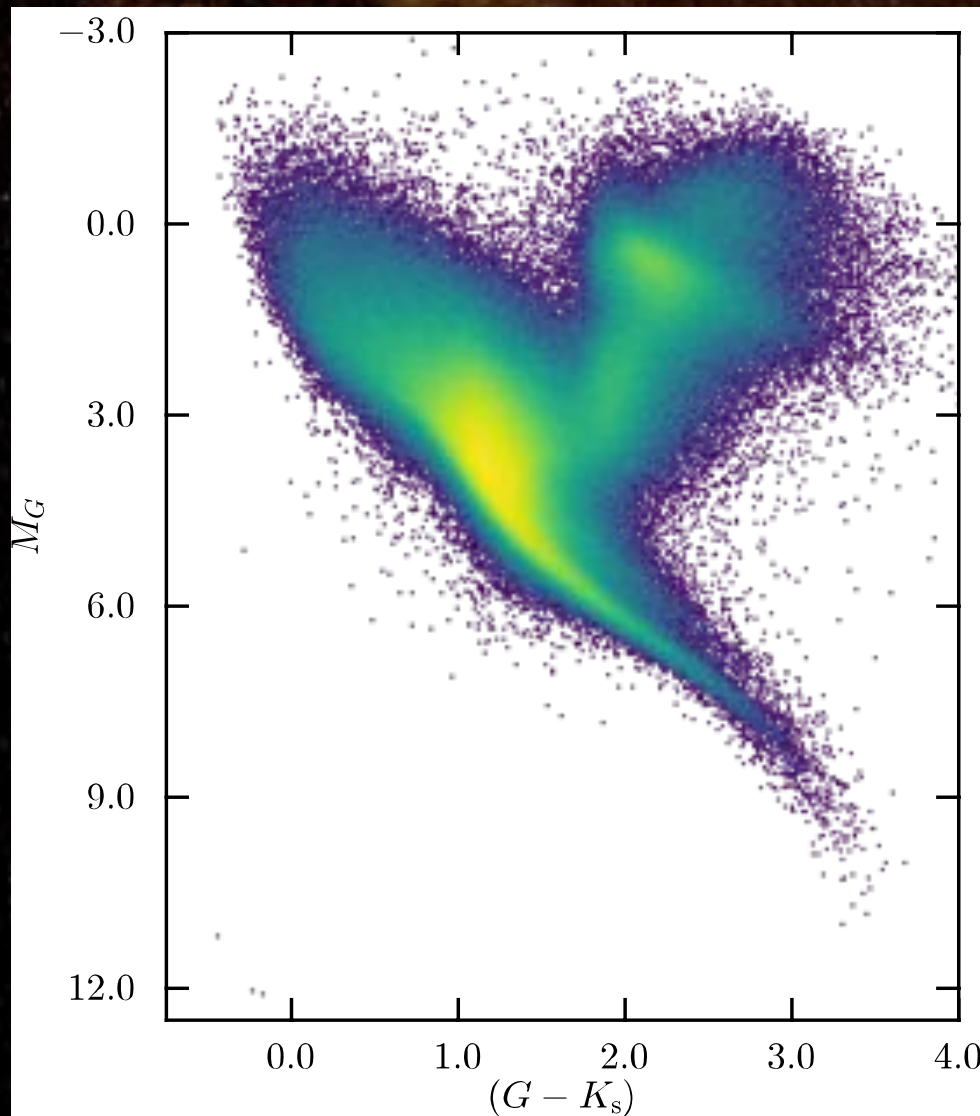
Parallaxes avec  
une précision  
meilleure que  
20% à la fois  
dans Hipparcos  
et dans TGAS

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

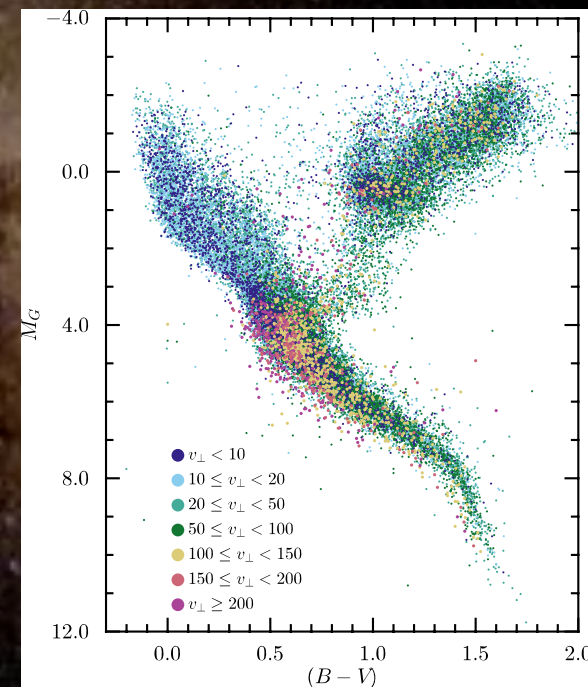
# Un million de parallaxes



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

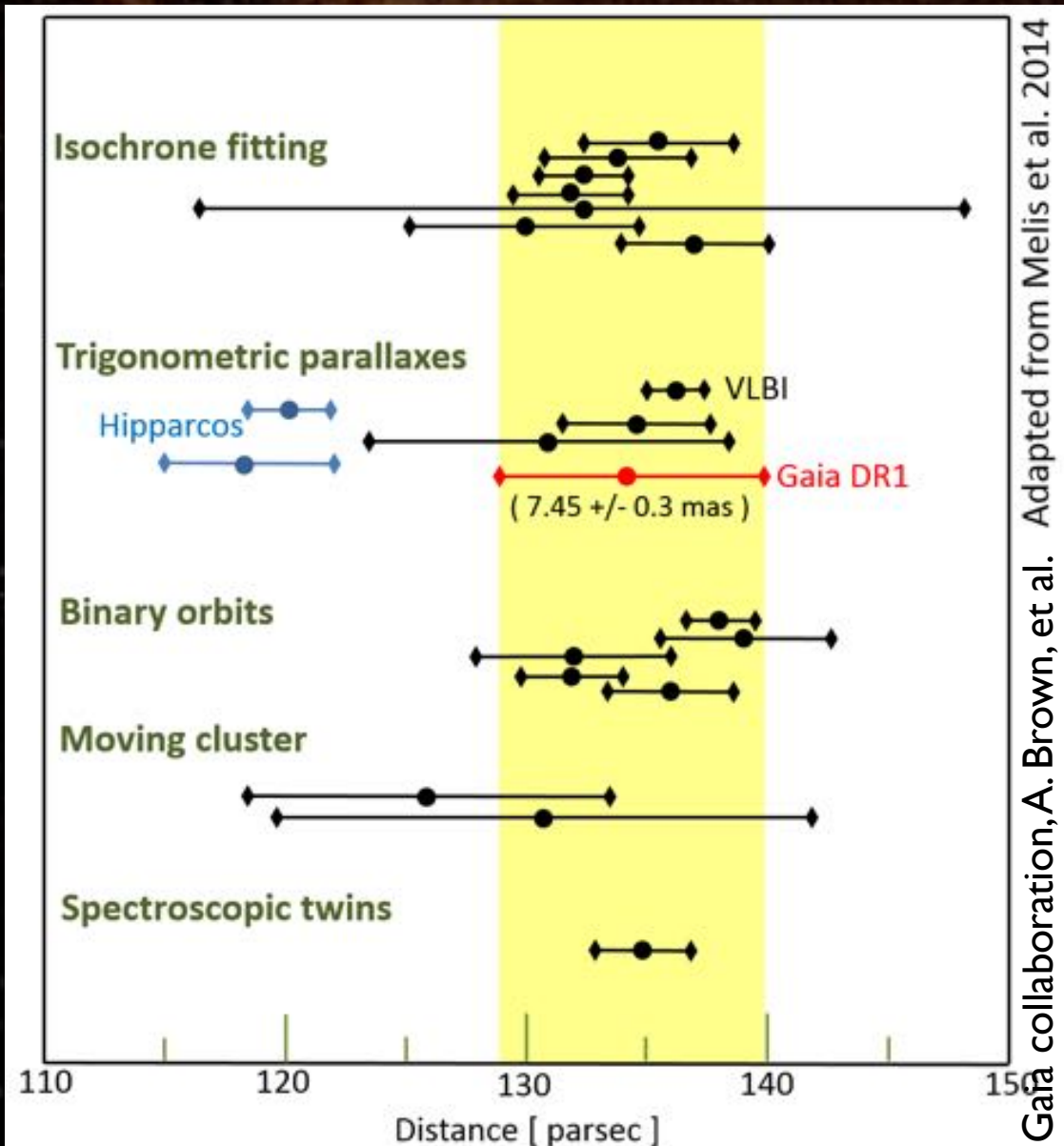


Gaia collaboration, A. Brown, et al.

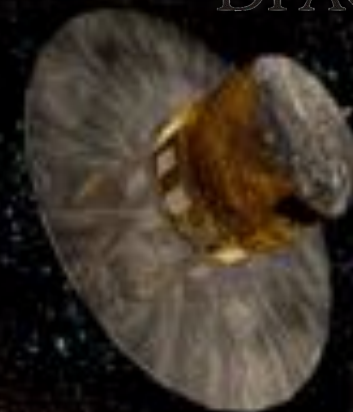


Codé par vitesse tangentielle, 41 000 étoiles < 100pc

# Les Pléiades



- Calcul (simpliste) de la distance des Pleiades
  - $134 \pm 6$  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

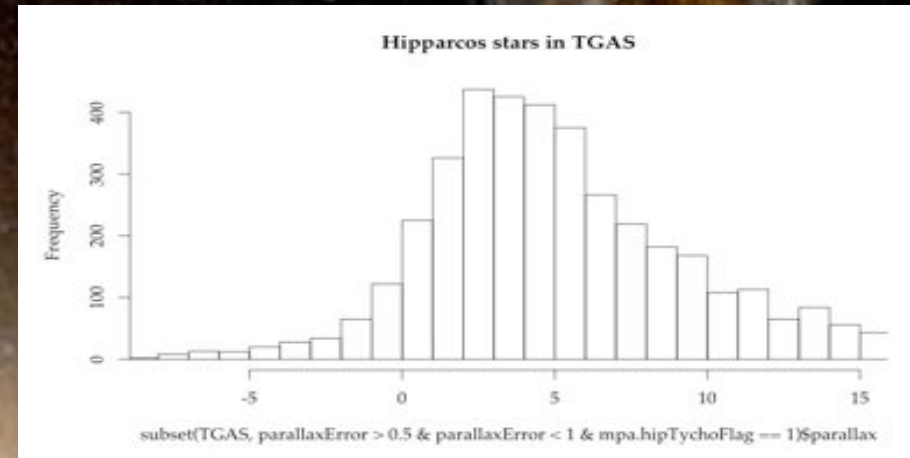
Les limites (connues) du Catalogue

# Quelques problèmes déjà réglés

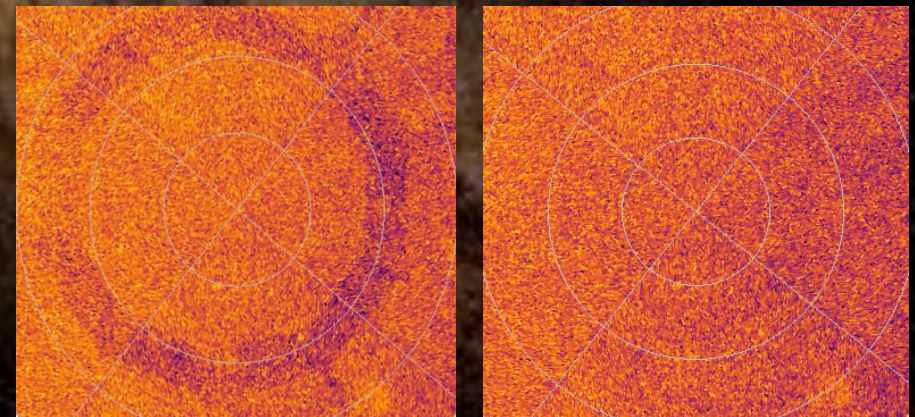
- ❑ À partir de données préliminaires
  - ❑ Problèmes cosmétiques
  - ❑ Étoiles dupliquées
  - ❑ Dispersion supplémentaire parallaxes

- ❑ 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)

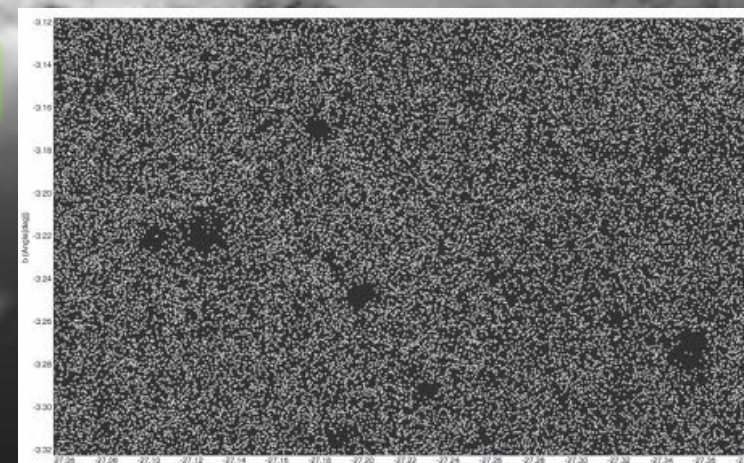
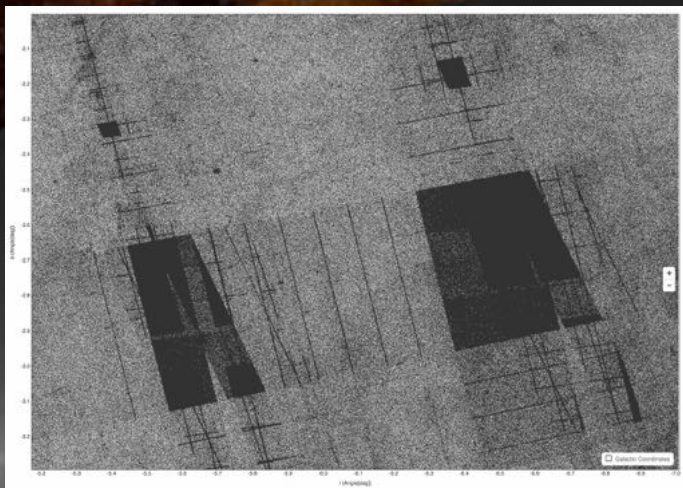
# Compromis pour la DR1

- ❑ 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

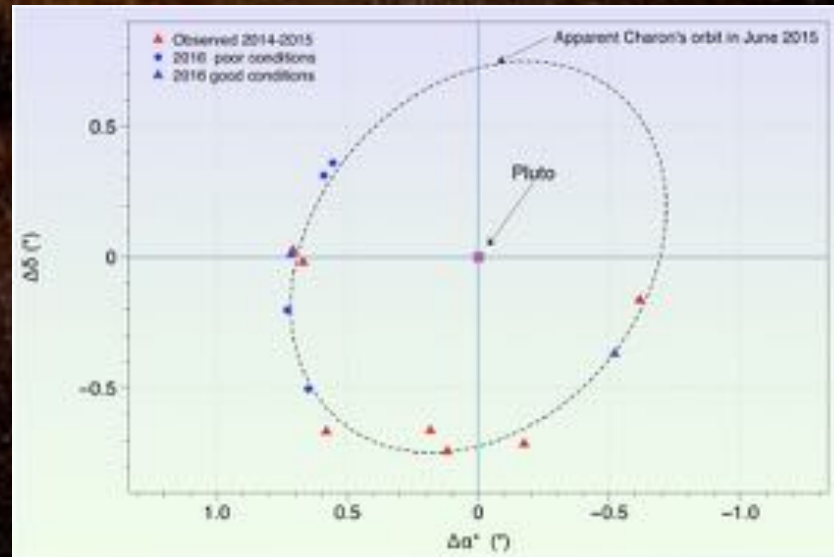
- Loi de balayage + sélection des sources  $> 5$  observations



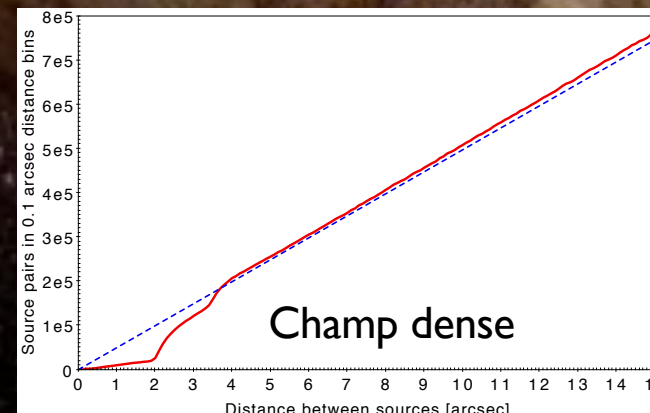
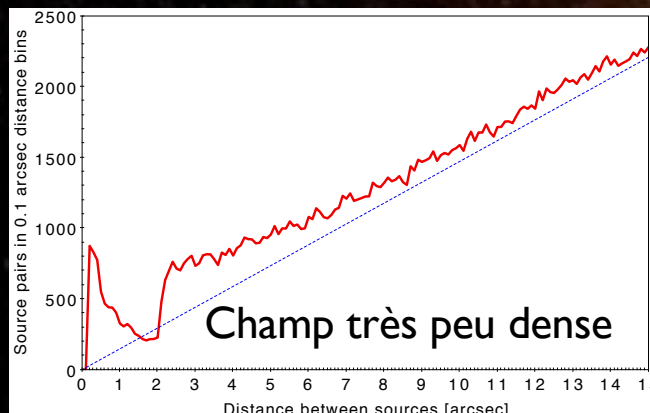
- Champs denses : ressources à bord

# Incomplétude: résolution angulaire

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

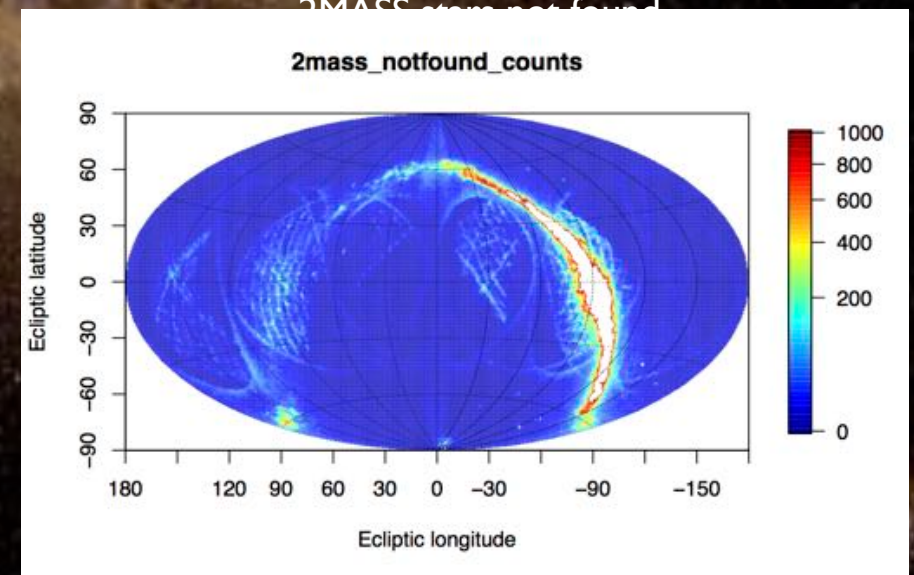
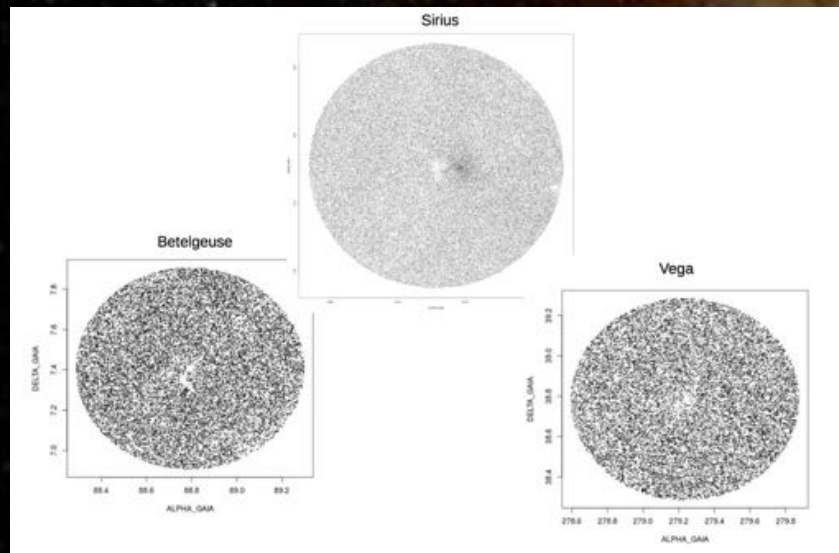
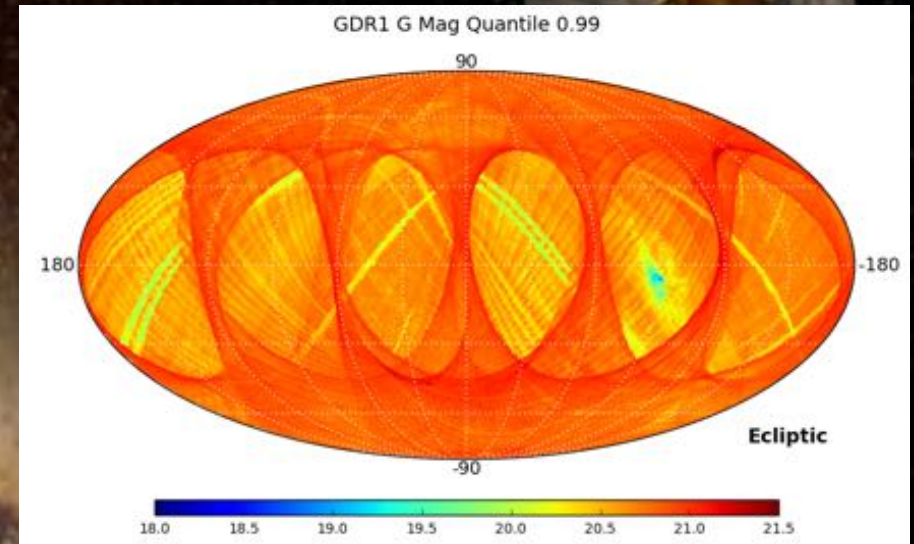


- Pour la DR1, grande incomplétude à faible séparation ( $\rho < 2''$ )



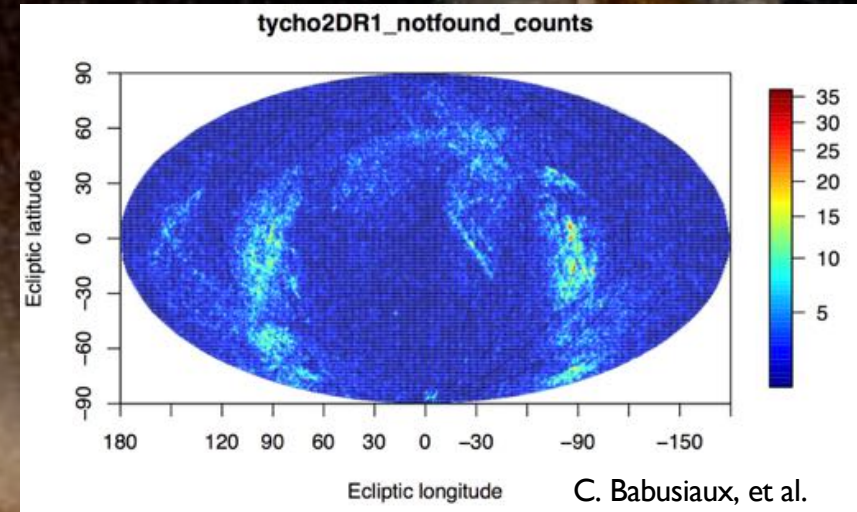
# Completeness in whole Catalogue

- ❑ 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



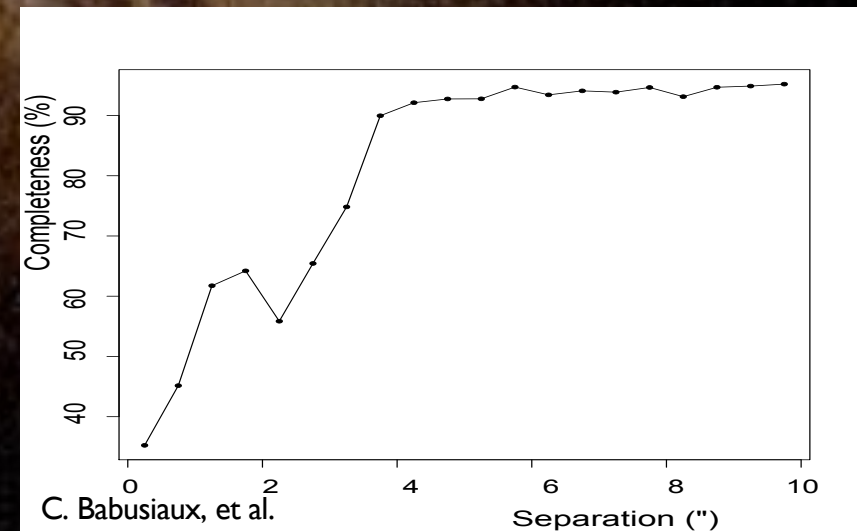
# Completeness in TGAS subset

- ❑ 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)

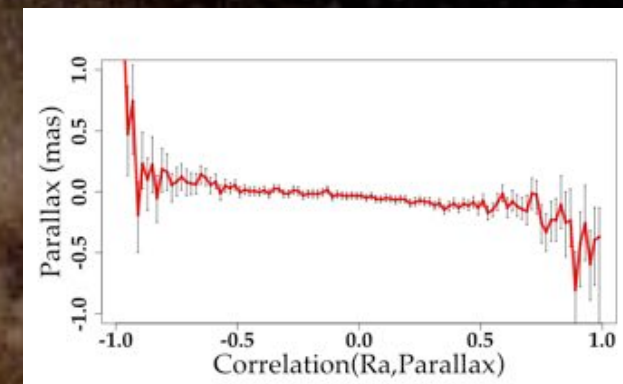
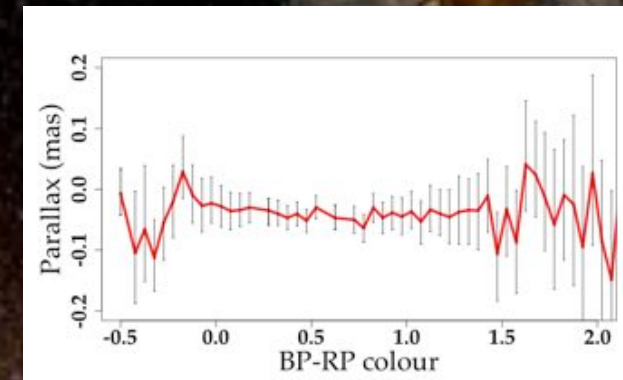
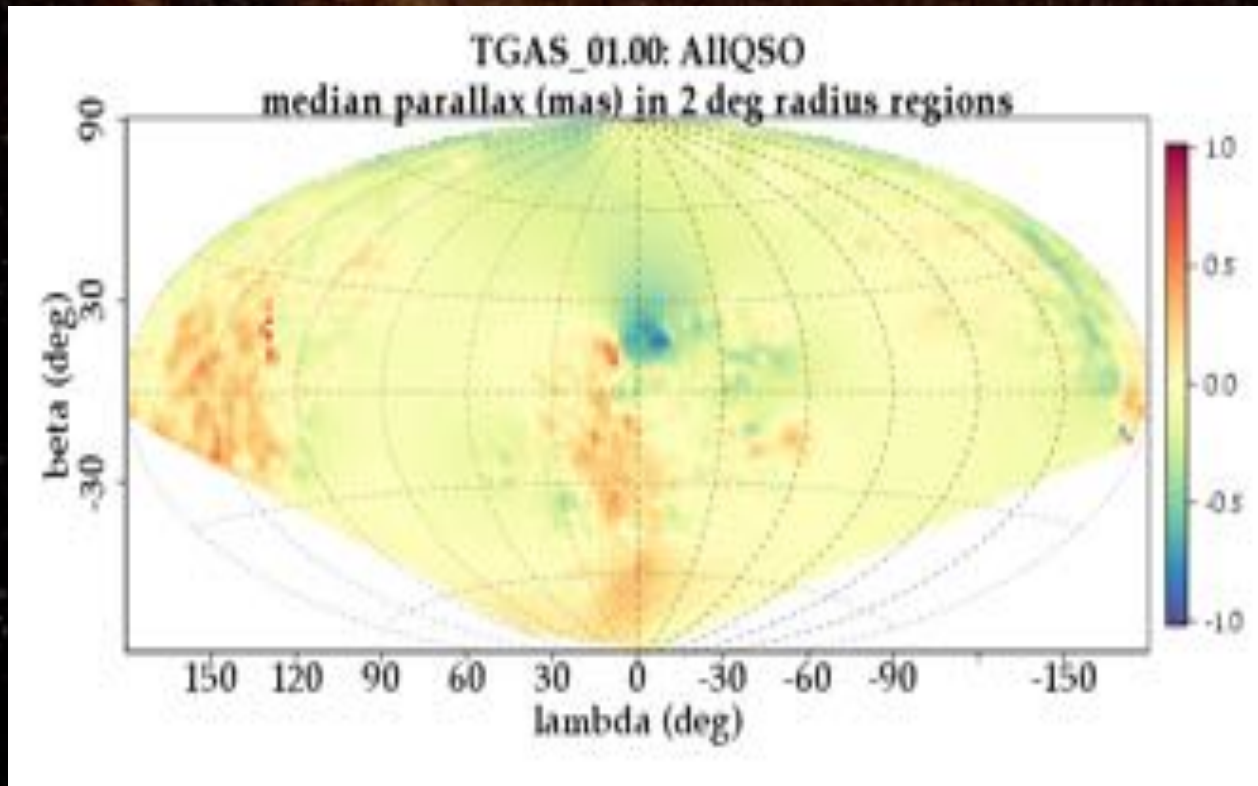


Tycho-2 stars not present in TGAS

WDS double stars completeness vs separation



# Exactitude des parallaxes



- Une solution astrométrique spéciale faite pour 130 000 QSOs
  - Les parallaxes devraient être  $\sim 0$ , 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):  $-0.04 \text{ mas} \neq 0$

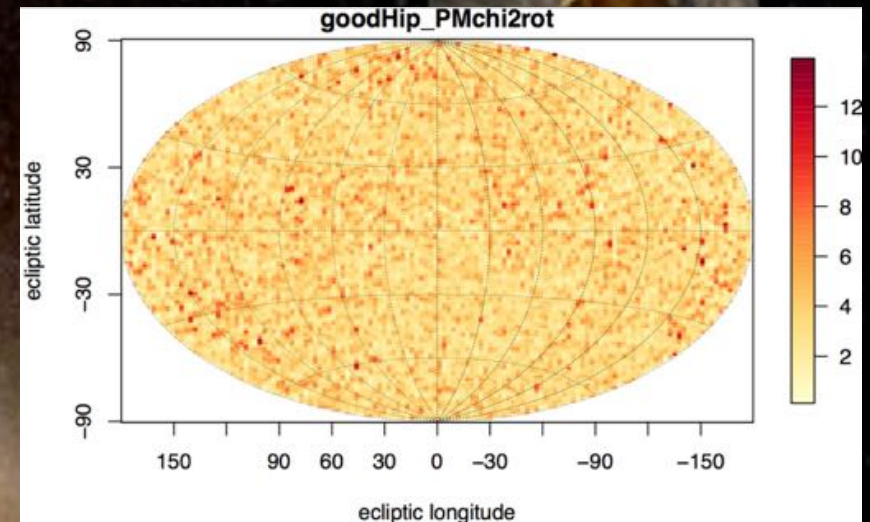
# Autres estimations du point zéro

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

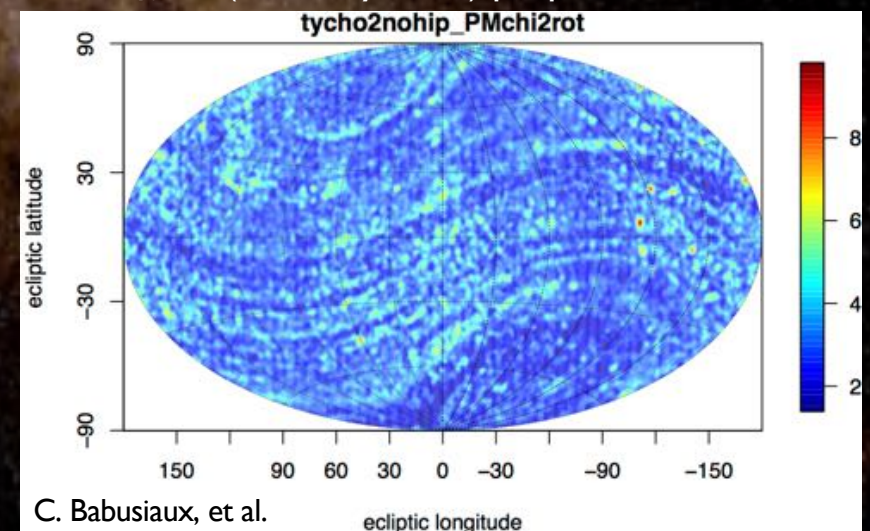
□ On voit les problèmes locaux avec LMC vs SMC vs la médiane ciel

# Proper motions

- ❑ Compared to Hipparcos p.m.
  - ❑ G-H =  $0 \pm 0.004$  mas/yr, OK!
- ❑ Compared to Tycho-2 p.m.
  - ❑ Hipparcos stars:  $-0.009 \pm 0.005$
  - ❑ Non-Hip stars:  $0.08 \pm 0.002$  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:  $0.008 \pm 0.006$  mas/yr (36\*)



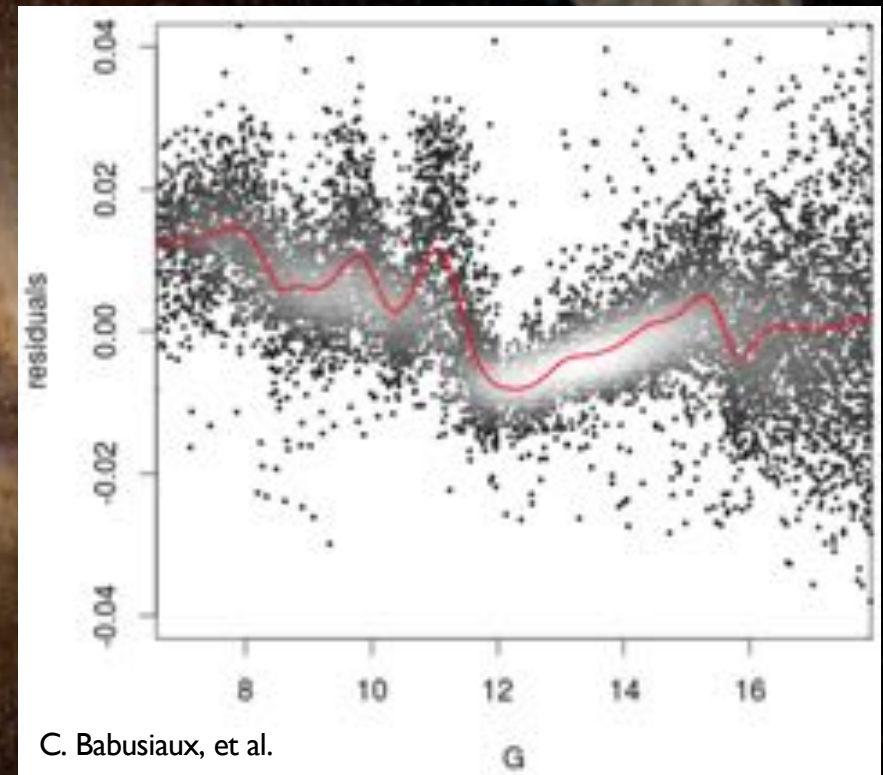
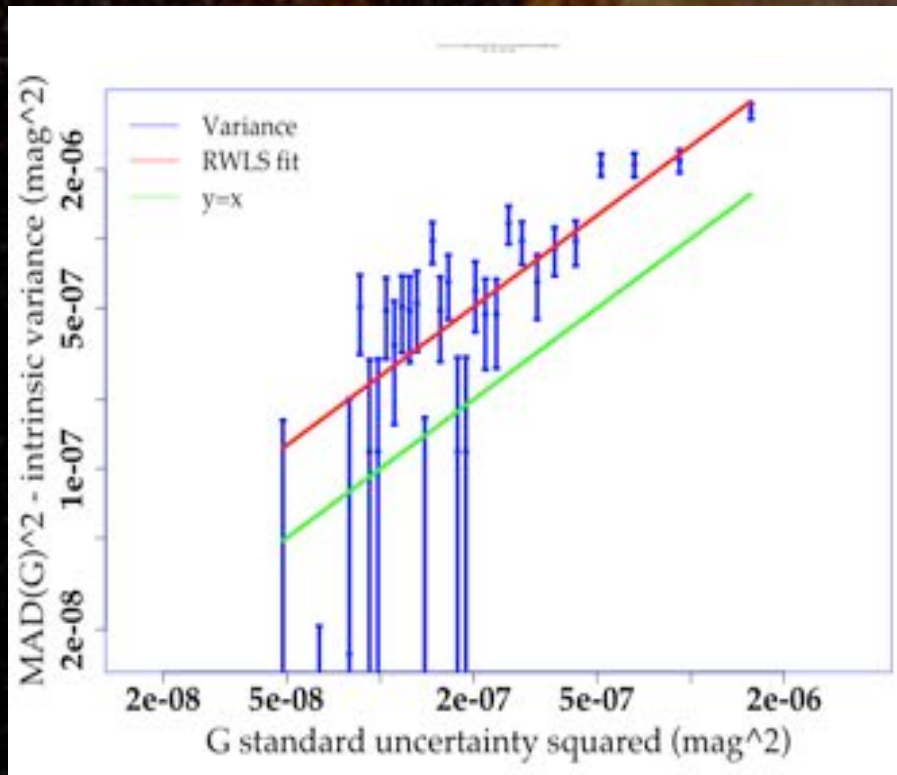
$\chi^2$  of (Gaia - Hipparcos) proper motion



C. Babusiaux, et al.

# Photométrie G

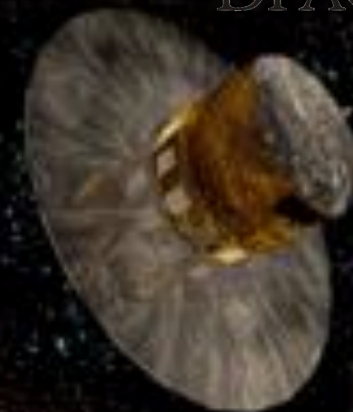
- ❑ Les incertitudes semblent pour la plupart correctement estimées



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**

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

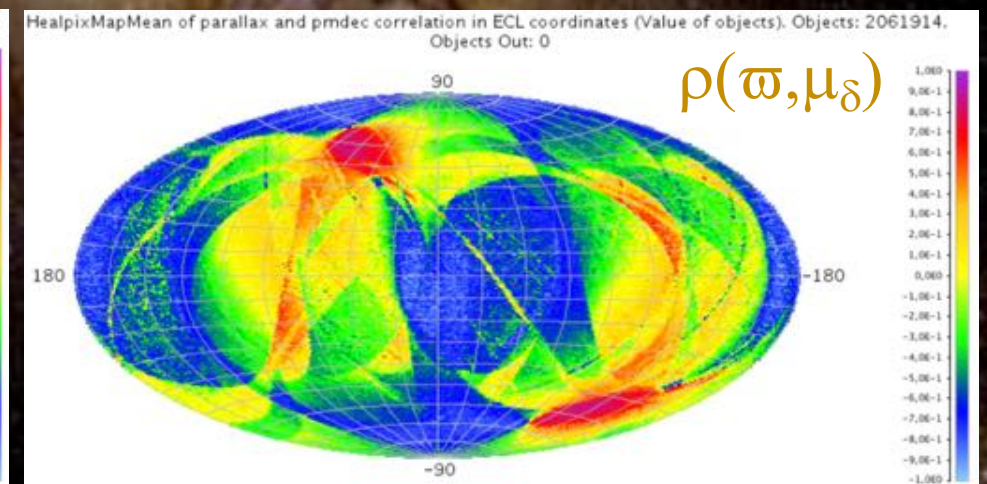
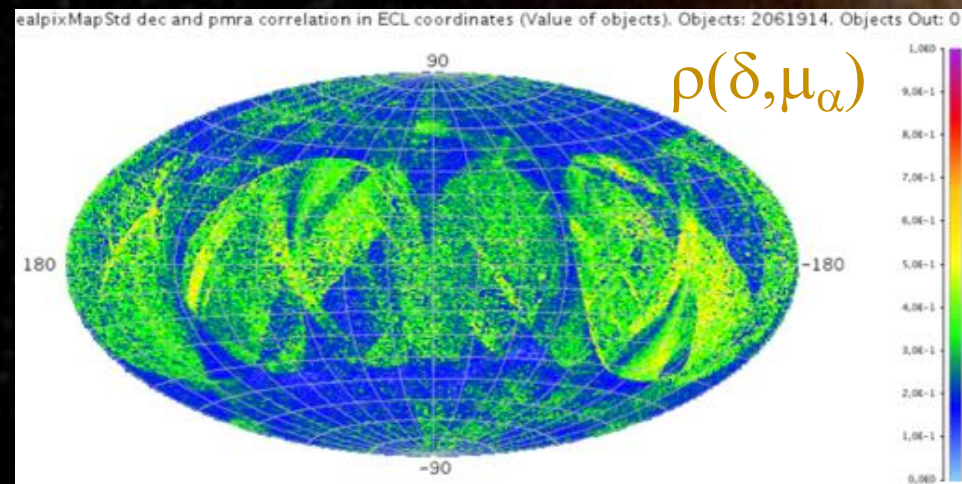
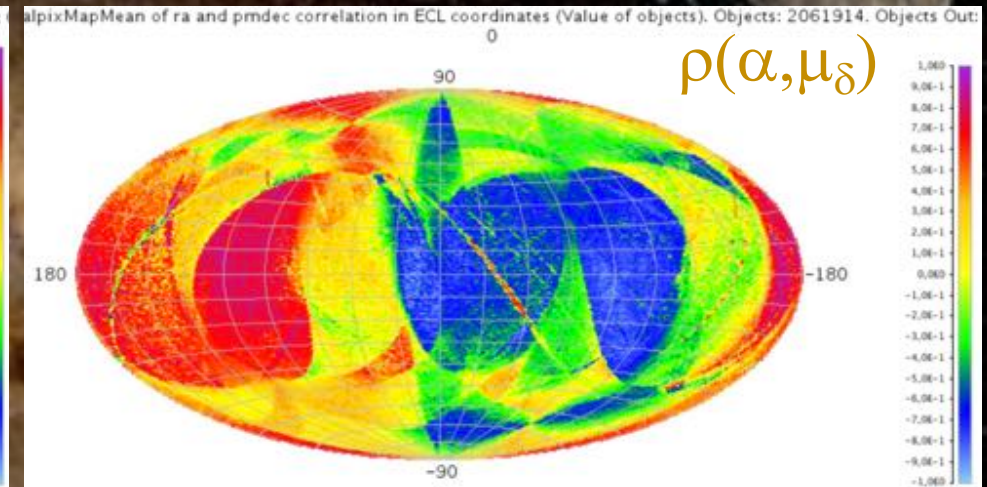
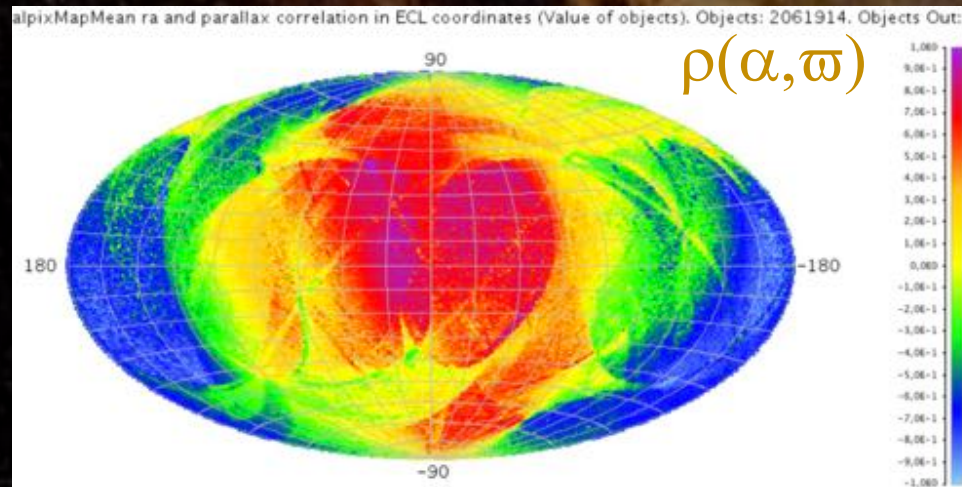
- ❑ Il faut s'attendre à des effets locaux, ou avec couleurs, magnitudes...
  - Comprendre les parallaxes:  $\varpi = x \pm \sigma$  (rand.)  $\pm 0.3$  (syst.) mas
- ❑ Systématiques sont au même niveau que les aléatoires
  - À utiliser individuellement de préférence
  - Pas de gain en  $\sqrt{n}$  en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

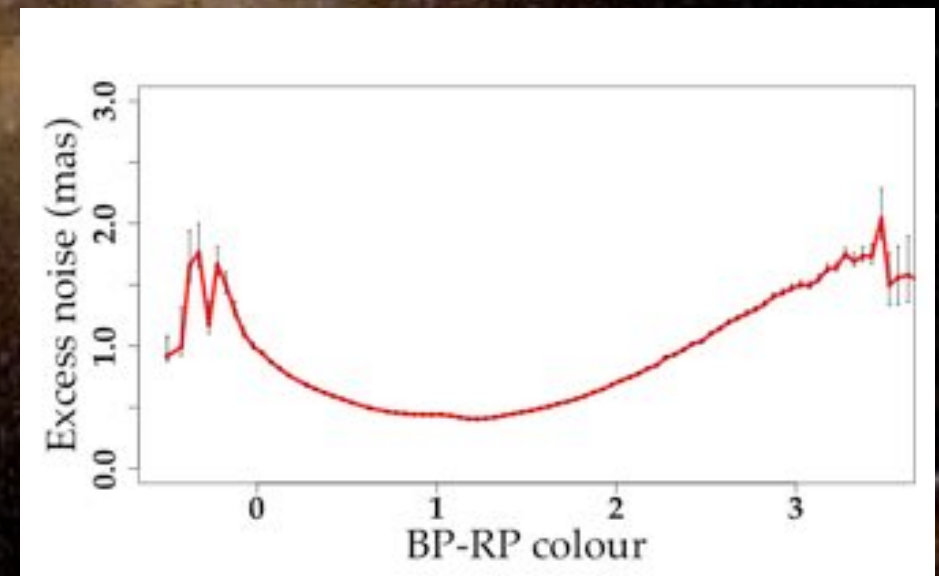
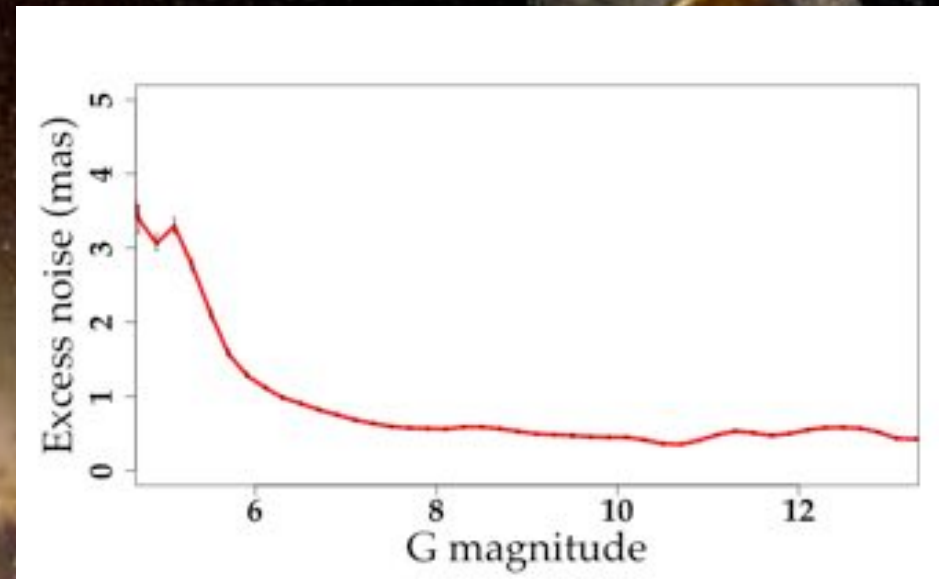
- ❑ Doubles résolues
- ❑ Binaires non résolues
- ❑ Mauvais ajustement de PSF
- ❑ Problèmes d'attitude
- ❑ Et autres pb de calibrations

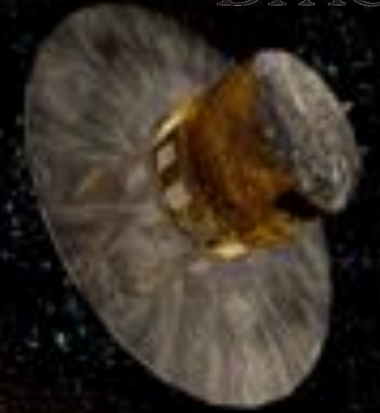
## ❑ `excessNoise` peut aider

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

## ❑ D'autres champs utiles

- ❑ Corrélations, `scanDirection`, ...





# Organisation



# 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

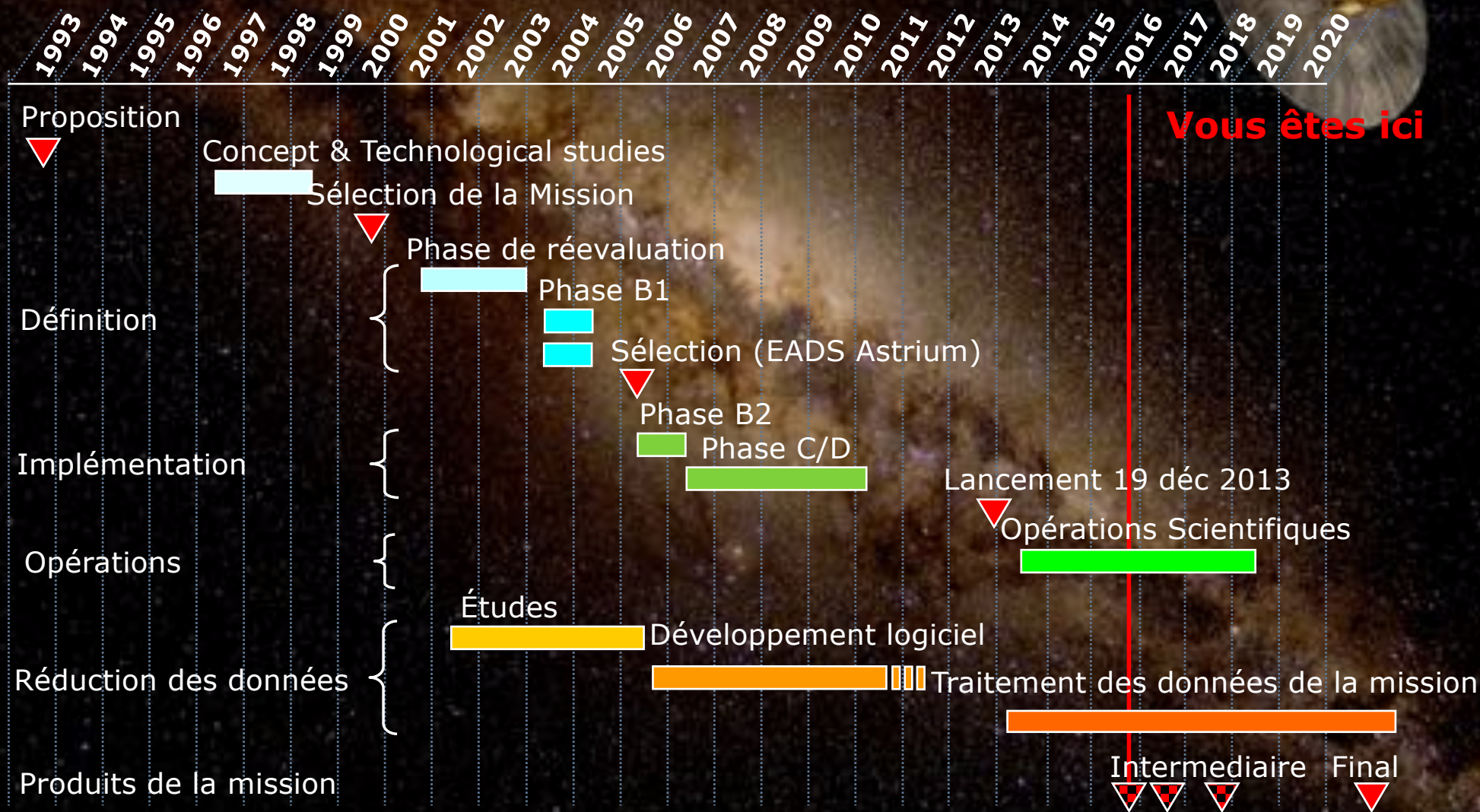
□ Action de synergie interne

□ ETP DPAC ou non

□ 64 personnes



# Gaia: calendrier



# Mieux qu'hier, moins que demain

- ❑ Gaia DR1: l'état du ciel au début du XXI<sup>ème</sup> 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 !  
... an travail !

