



Journée Action Fédératrice Gaia

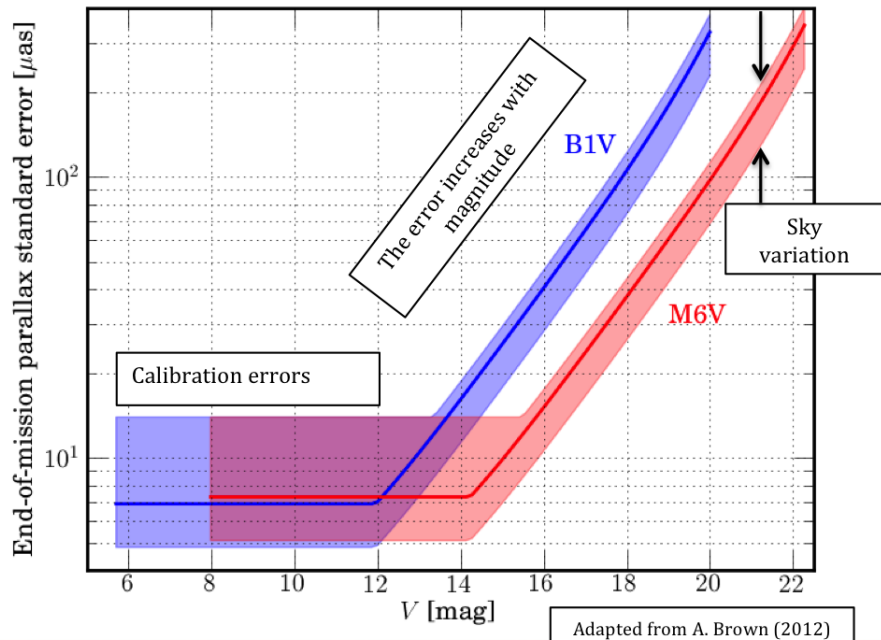
5 mai 2014

Gaia  
et observations spectroscopiques  
complémentaires

Catherine TURON, GEPI

# L'astrométrie avec Gaia

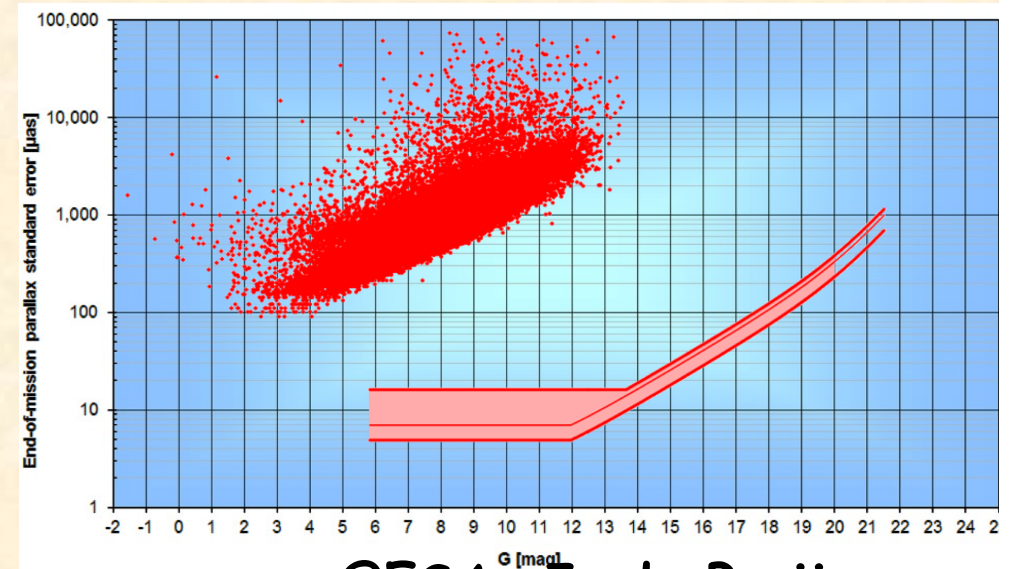
## un immense saut qualitatif et quantitatif



Magnitude [mag]	6 – 12	15	20
Precision [ $\mu\text{as}$ ]	5-14	9-26	100-330

Parallaxes trigonométriques à mieux que

- 0,1 % : ~ 100 000 stars (3 dans Hipparcos)
- 1 % : ~ 11 millions stars (719 dans Hipparcos)
- 10 % : ~ 100 millions stars (30 000 dans Hipparcos)



©ESA, J. de Bruijne

# Observations photométriques et spectroscopiques en parallèle aux observations astrométriques

Photométrie large bande:

G (350-1000 nm), BP, RP,  $G_{RVS}$

Spectro-photométrie jusqu'à  $G=20$

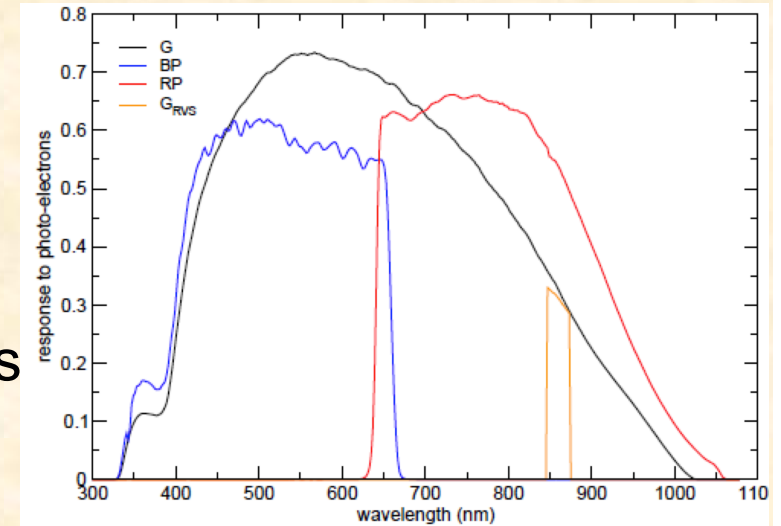
- tenir compte des aberrations chromatiques
- astrophysique des objets observés

Radial velocity spectrometer (RVS), pour

- mesurer les vitesses radiales, jusqu'à  $V = 17$
- obtenir les vitesses de rotation, les paramètres atmosphériques, les abondances et l'extinction jusqu'à  $V = 12-13$

**Les trois instruments observent à de multiples époques !**

Difficulté commune: auto-calibration.

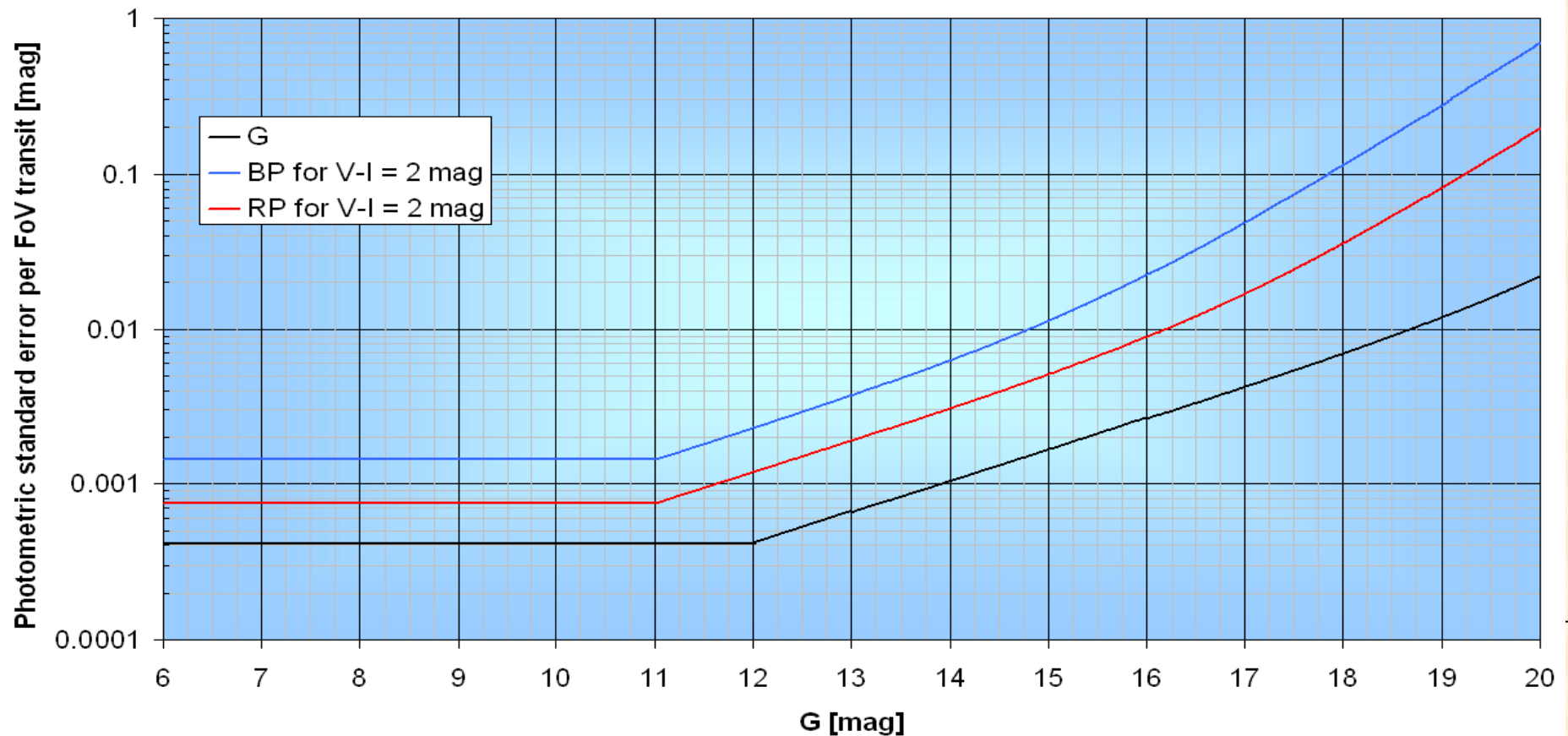


# Précision photométrique: $f(\text{magnitude, couleur})$

En fin de mission:

- de 1 à 3 milli-magnitudes pour la bande G,
- de 4 à quelques dizaines de milli-magnitudes pour les bandes BP et RP

Par transit:



# Spectroscopie

## Observation systématique sur tout le ciel

- magnitude limite fonction de la densité stellaire
- ~ 40 observations sur 5 ans (en moyenne)

## Paramètres stellaires et interstellaires

- |                               |                |                             |
|-------------------------------|----------------|-----------------------------|
| ◆ Vitesses radiales (15 km/s) | $V \leq 17$    | ~ $150 \times 10^6$ étoiles |
| ◆ Vitesses radiales (1 km/s)  | $V \leq 13$    | ~ $5 \times 10^6$           |
| ◆ Vitesses de rotation        | $V \leq 13-14$ | ~ $5-10 \times 10^6$        |
| ◆ Paramètres atmosphériques   | $V \leq 13-14$ | ~ $5-10 \times 10^6$        |
| ◆ Abondances (Mg, Ti, Si, N)  | $V \leq 12-13$ | ~ $2-5 \times 10^6$         |
| ◆ Extinction interstellaire   | $V \leq 13-14$ | 862 nm DIB                  |

## Diagnostiques

- ◆ Binarité/multiplicité, variabilité, ...

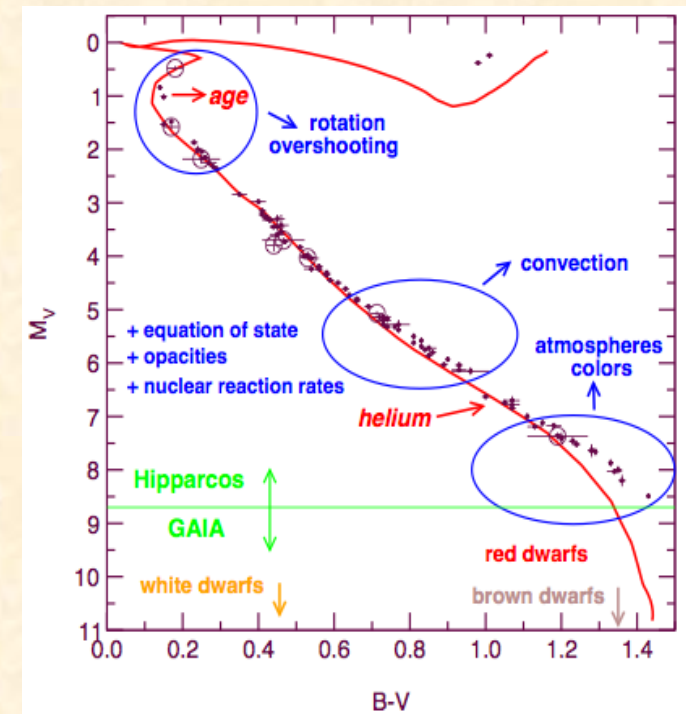
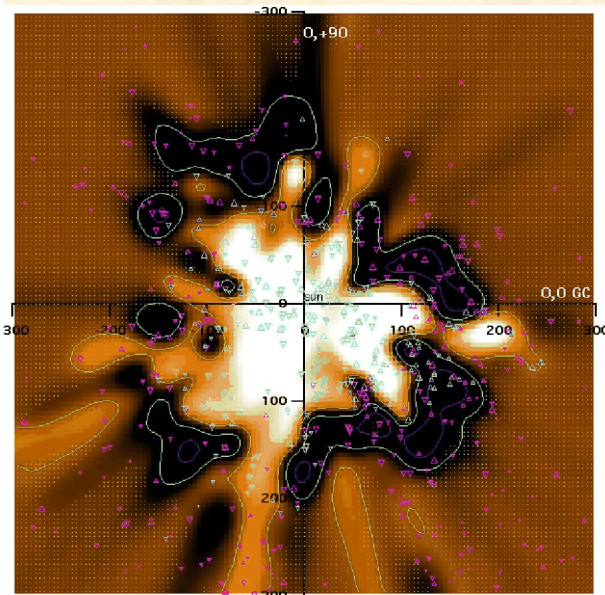
Astrométrie + BP/RP: paramètres atmosphériques ->  $V=18-20$ ,  
[Fe/H]  $\pm 0.1$  dex ->  $V=15$  (? 18),  $\pm 0.4$  dex ->  $V=18.5$  (? 20)

# Gaia et les relevés spectroscopiques (1)

Spectroscopie haute résolution ( $> 15000$ ) pour les étoiles avec l'astrométrie la plus précise

- abondances précises de nombreux éléments, sur tout le diagramme HR
- chemical tagging de très grands échantillons d'étoiles de toutes les populations
- signatures de l'absorption par du gaz dans différentes phases + DIBs

- tests des modèles de structure interne
- détermination des âges
- évolution chemo-dynamique de la Galaxie
- description 3D du MIS



Y. Lebreton-2009

# Gaia et les relevés spectroscopiques (2)

Spectroscopie --> G = 20

résolution  $\approx 5000$  sur 4m ou 20000 sur 8-10 m grand champ  
pour de très grands échantillons d'étoiles sans mesures RVS (G > 16-17)

- vitesses radiales précises (< 10 km/s)
- métallicité et éléments alpha (<0.3 à 0.5 dex)

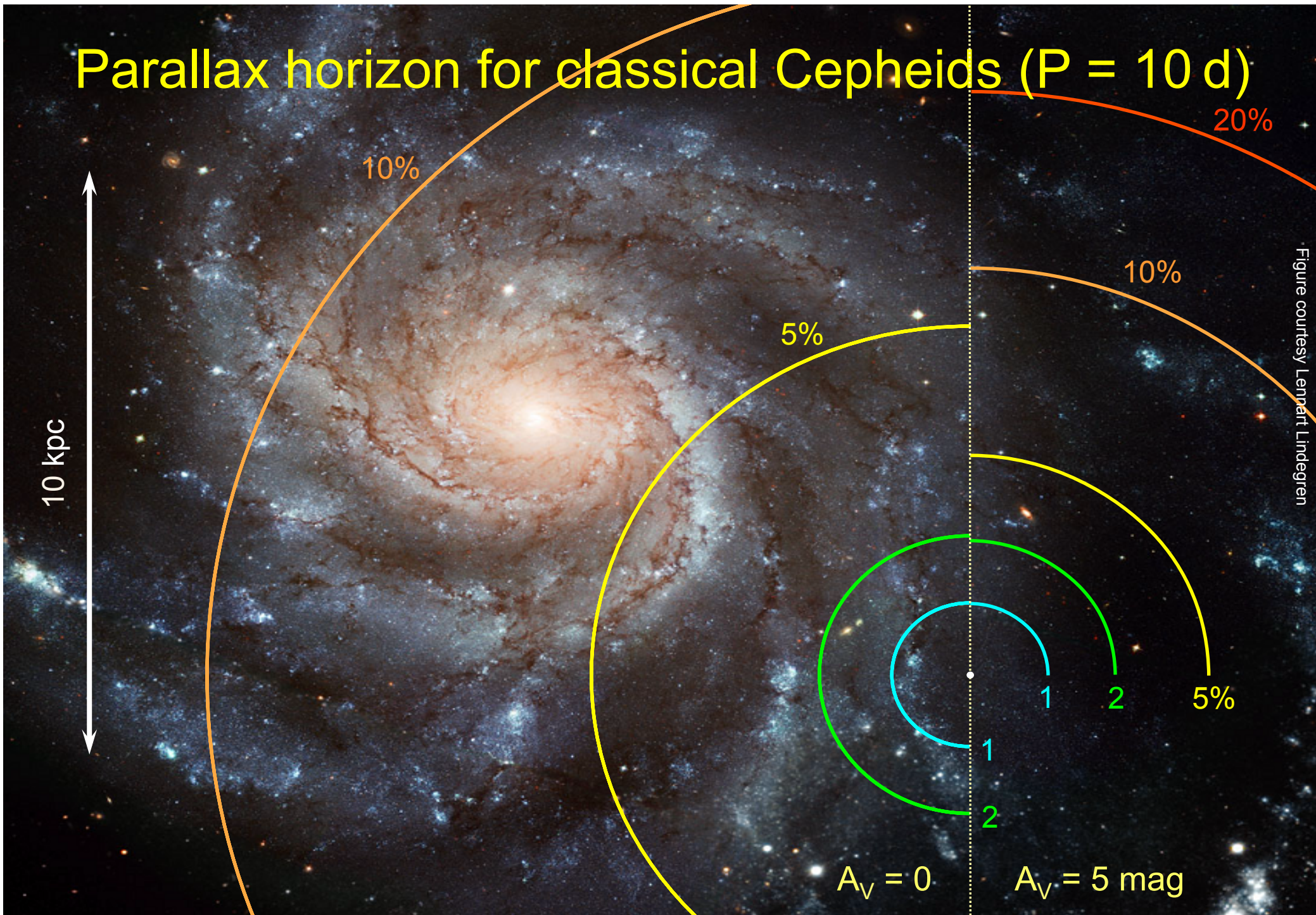
## Caractérisation in situ

- des parties externes de la Galaxie, disque et halo
- des parties centrales de la Galaxie, bulbe et barre
- du bas du diagramme HR, naines rouges, sous-naines, naines blanches
- des étoiles brillantes dans les galaxies du Groupe Local

6-D + chimie

--> structure, dynamique formation et évolution de la Galaxie

# Parallax horizon for classical Cepheids ( $P = 10$ d)





# L'importance de la spectroscopie en complément à Gaia

## Spectroscopie + astrométrie --> comprendre la formation et l'évolution de la Galaxie

- détermination des âges (parallaxe + métallicité + ...)
- abondances = marqueurs des différentes populations stellaires et des conditions de leur formation
- **abondances = traces fossiles de l'évolution galactique**
- vitesses radiales pour les étoiles non observées par le RVS -> vitesse spatiale, **6D dans l'espace des phases + chimie**

## Importance de grands échantillons d'étoiles

- pour valoriser **– aussi en Europe –** les potentialités extraordinaires de Gaia ... **et l'investissement majeur de la France**
- pour échantillonner les étoiles de tous âges et à tous stades évolutifs, même les plus rares, **dans toutes les structures et sous-structures de la Galaxie et du Groupe Local proche**

oct. 2008

## International context

oct. 2008

Europe should organise itself to maximise the return from European missions

- **Near Field cosmology, Galactic archeology: Gaia + g-b spectro**
  - ♦ **WF MOS** (Subaru-Gemini): second science driver (after dark energy)  
10<sup>6</sup> stars. FOV: 1.5 deg. **R=3000** for 3000 fibres, **R=40 000** for 1500, 0.39-1 $\mu$ m
  - ♦ **HERMES** (AAO): first science driver. 1.2 x 10<sup>6</sup> stars. Survey down to V = 14 over half the southern sky (10,000 deg<sup>2</sup>, |b| > 30). At V=14, **R=30 000**, expect SNR=100 per resolution element in 60 minutes. FOV: 2 deg, 400 fibres.

**Chemical (Element) Tagging** will be hugely important for GAIA science, particularly for V > 15 because GAIA performance is tailing off for faint stars with each successive descope.

**HERMES** can help with high res, low SNR spectra down to V~18 (e.g. Carney et al 1987)

But we should not stop here...

WF MOS on Subaru will also be important to disentangling GAIA data

**Australia has a huge opportunity to retain its leading role in Near Field Cosmology.**

**J. Bland-Hawthorn, 26/02/08**

## Relevés spectroscopiques: 6 ans plus tard

**Gaia-ESO survey:** 300 nuits sur 5 ans sur VLT – FLAMES  
100 000 étoiles dont  $\approx 5000$  avec abondances détaillées.

Très petits nombres par rapport aux 100 millions d'étoiles Gaia avec astrométrie excellente.

**GYES:** proposé sur le CHFT. Non retenu.

**HERMES (AAT):** début survey GALAH février 2014.

1 million d'étoiles,  $R = 28\,000$  + un mode à  $R = 50\,000$ .

Période propriétaire 1.5 ans à 2 ans (données observées de janvier à juillet 2014 publiques en janvier 2016)

**PFS-Subaru:** en construction, 100 nuits pour archéologie galactique  
FOV  $1.77 \text{ deg}^2$ ,  $R = 2300$  à  $4200$ , Période propriétaire ( $\approx$ SDSS ?)

**!! Gaia aucune période propriétaire !!**

# Instrumentes en projet (actuellement)

**MOONS** (PI Edinburgh, Co-PI H. Flores Paris-GEPI)

- VLT, multi-objets infra-rouge champ = 25 arcmin
- **Zones denses et absorbées: centre et plan Galactique**

**4-MOST** (PI AIP Potsdam)

- VISTA, multi-objets visible grand-champ
- Il n'y a plus d'implication de la communauté française Gaia/Voie Lactée

**WEAVE** (PI Oxford)

- WHT Canaries (hémisphère nord), multi-objets (1 000 fibres), moyenne (R=4000/7000) et haute (R=20000) résolution, grand champ (2 degrés).
- **Parfaitement adapté pour collecter à la fois vitesses radiales et abondances chimiques complémentaires à Gaia.**
- Participation française: repose sur une demande de financement à la région Ile-de-France.

## Instrument en projet (prochaine décennie)

Mauna-Kea Spectroscopic Explorer (**MSE** – ex-ngCFHT)

- Télescope 10 m dédié à 1 instrument: spectrographe basse (R=2000), moyenne (R=6500) et haute résolution (R=20000) pour grands relevés Galactiques.

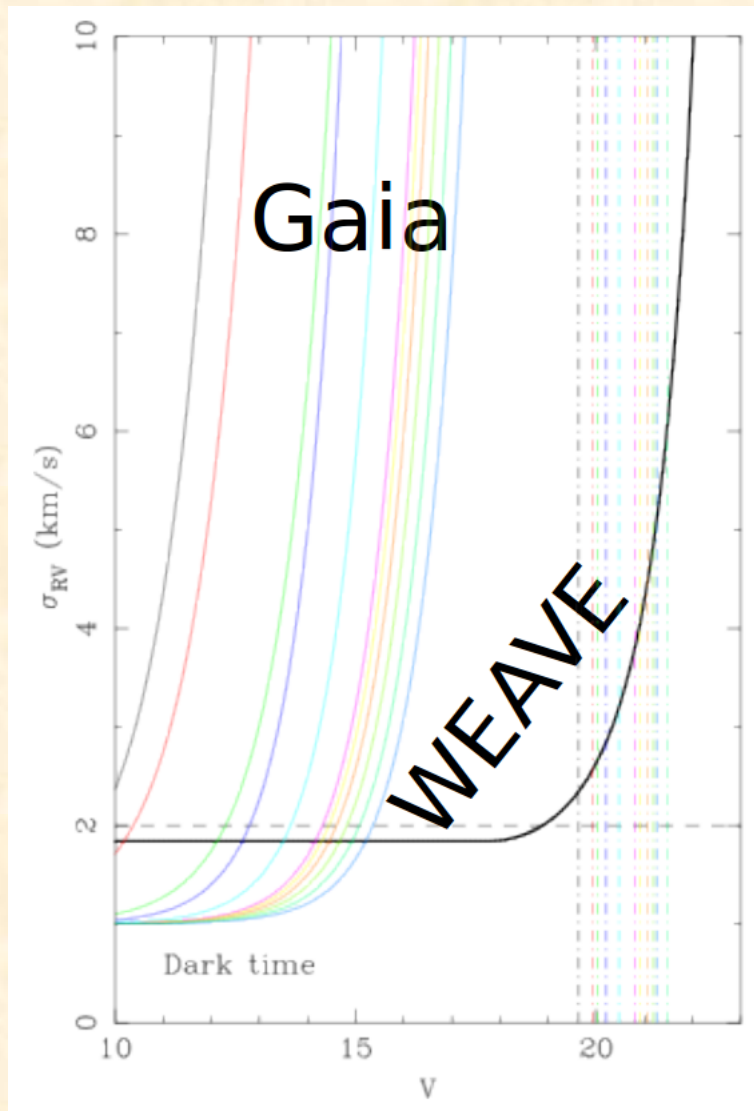
**Parfaite synergie avec Gaia au moment de la sortie du catalogue final.**

# WEAVE

- Vr haute précision: relevé à  $R=5,000$  d'étoiles  $15 < V < 20$
- Abondances chimiques détaillées: relevé à  $R=20,000$  d'étoiles  $12 < V < 17$

Telescope, diameter	WHT, 4.2m
Field of view	2° diameter (3.1 degree <sup>2</sup> )
Number of fibers	1000
Fiber size	1.3"
Number of small IFUs, size	~25, 9"x12" (1.3" spaxels)
Large IFU size	~1.5'x1' (2.6" spaxels)
LR resolution	5 000 (at band center)
LR wavelength coverage	370–1000 (nm)
HR resolution	20 000 (at band center)
HR wavelength coverage	388-435, 600–678 (nm)

# WEAVE: performances



**Basse résolution:  $R = 5000$**

$\sigma(v_r) < 3$  km/s à  $V=20$

en 1hr de dark time ( $V=19$  in bright time)

→ chemical tagging

→ chemo-dynamics

**Haute résolution:  $R = 20\ 000$**

$S/N > 80$  / resolution element à  $V=17$

en  $\sim 2$  heures

→ abondances à  $\sim 0.1$  dex

→ chemical labelling

**Parfaitement complémentaire à Gaia**

# MSE = Mauna-Kea Spectroscopic Explorer (ex-ngCFHT)

Télescope de 10m dédié à la spectroscopie sur l'un des meilleurs sites de la planète

FoV = 1.5 deg<sup>2</sup>, 800 - 3200 fibres, résolutions 2000, 6500 et 20000

Archéologie galactique: survey sur 10000 deg<sup>2</sup>,

- **R=6500**, 381-439 nm et 770-889 nm, pauses de 15 min, 3000 sources par champ, mag lim:  $g \approx 21.5 @S/N=5$   
--> en un an, **1.8 million de sources**
- R = 20000, 426-491 nm et 585-675 nm, pauses de 1 heure, mag lim:  $g \approx 19.5 @S/N=20$   
--> en un an, **> 400 000 sources**

**En 10 ans, complément à Gaia pour 20 millions de sources MR, et 5 millions HR --> exploration détaillée du halo et du disque externe.**

# Autres relevés spectroscopiques

## **APOGEE (2011-2014) - N, et APOGEE-2 (2014-2020) - N et S**

Télescopes 2.5 m, 300 fibres, FOV= 7 deg<sup>2</sup> (N) 3.5 deg<sup>2</sup> (S), R=22500, 1.51-1.70 mm, H > 12.2

Vr à 100 m/s, 15 éléments à 0.1 dex

APOGEE: 100 000 géantes rouges, APOGEE-2: 300 000 étoiles.

## **eBOSS (2014-2020) = Extended BAO Spectroscopic Survey**

1000 fibres, FOV = 7 deg<sup>2</sup>, 360-1000 nm, R = 2000

## **DESI = Dark Energy Spectroscopic Instrument, sur 4m Mayall**

Projet DOE pour 2018-2022, FOV = 7 deg<sup>2</sup>, 500 fibres x 10 spectros x 3 voies, survey spectro 14 000-18 000 deg<sup>2</sup>  
R = 1500 (bleu), 3000 (rouge), 4000 (NIR)



# Conclusions

- L'instrument en cours de développement le plus polyvalent pour maximiser le retour scientifique de Gaia est WEAVE. Le financement par la région Ile-de-France est donc particulièrement important pour permettre la participation de la France à ce projet.
- Le Mauna-Kea Spectroscopic Explorer sera en parfaite synergie avec Gaia au moment de la sortie du catalogue final.
- Pour la communauté Gaia-Galaxie, il est essentiel que le rôle clef de ces 2 instruments pour maximiser le retour scientifique de la mission Gaia, soit clairement mis en évidence dans la prospectiv  
INSU.



Merci pour  
votre  
attention

