

*Quelques chiffres sur les performances de Gaia*

*La Voie Lactée en tant que galaxie*

*Sur la définition des populations stellaires*

*Évolution du disque*

*Gaia*

*La Galaxie*

*M. Haywood*

*GEP1, Observatoire de Paris*

# Mission requirements

- A Stereoscopic Census of Our Galaxy
- Astrometry ( $V < 20$ ):
  - completeness to 20 mag (on-board detection)  $10^9$  stars
  - parallax accuracy: 7  $\mu$ arcsec at  $<10$  mag; 12–25  $\mu$ arcsec at 15 mag; and 100–300  $\mu$ arcsec at 20 mag
- Photometry ( $V < 20$ ):
  - astrophysical diagnostics (low-dispersion photometry) + chromaticity
  - 8–20 mmag at 15 mag:  $T_{\text{eff}} \sim 200$  K,  $\log g$ , [Fe/H] to 0.2 dex, extinction
- Radial velocity ( $V < 16.5\text{--}17$ ):
  - third component of space motion, perspective acceleration
  - $<1$  km/s at 13–13.5 mag and  $<15$  km/s at 16.5–17 mag



# Les performances de Gaia concernant la physique galactique

L'horizon parallactique de Gaia (kpc) :

Type of star	no extinction ( $A_V = 0$ )					$A_V = 5$ mag				
	1%	2%	5%	10%	20%	1%	2%	5%	10%	20%
G0V ( $M_V = +4.4$ )	0.8	1.1	1.8	2.5	3.5	0.3	0.5	0.7	1.0	1.4
K5III ( $M_V = -0.1$ )	1.3	2.6	4	7.5	11	1.0	1.5	2.4	3.5	5
Cepheid ( $P = 10^d$ , $M_V = -4.1$ )	1.2	2.4	6	12	22	1.2	2.3	3.8	7	10

Lindegren (2008)

## Erreurs sur les mouvements propres ( $A_V=0$ ), étoile G0V

V magnitude	6-13	14	15	16	17	18	19	20
parallax [ $\mu\text{as}$ ]	8	13	21	34	55	90	155	275
proper motion [ $\mu\text{as yr}^{-1}$ ]	5	7	11	18	30	50	80	145
position at mid-epoch ( $\simeq 2015$ ) [ $\mu\text{as}$ ]	6	10	16	25	40	70	115	205

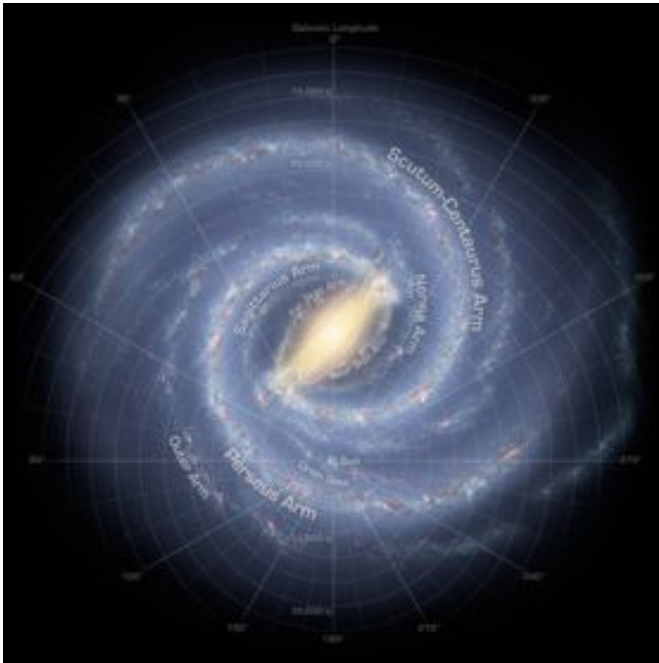
Soit  $< 1\text{km/s}$  à  $4\text{kpc}$ , ou  $< 4\text{km/s}$  à  $10\text{kpc}$

# Quelques uns des retours potentiels de Gaia pour la structure galactique...

- Mesure du potentiel galactique
- Corotation, bras spiraux, vitesse angulaire des bras
- Identification de nouveaux courants cinématiques
- Mesure de la courbe de rotation
- Identification et caractérisations des structures existantes (barre, anneau) dans le plan galactique
- Caractérisation (âge, membres) d'un nombre d'amas ouverts considérables, détection de nouveaux amas.
- Ceinture de Gould
- Mesure fine de la parallaxe et mouvements propres de plus d'amas globulaires (et révision de l'échelle des âge des amas globulaires)
- Mesure du SFR et IMF dans différentes régions du disque
- Mesure de l'âge de chaque population
- Cartographie âge-métallicité-cinématique dans le halo, disque mince, disque épais
- Structure du gauchissement et érasement du disque
- Cartographie 3D de l'extinction
- Distance au centre galactique
- Taille du disque galactique
- Structures dans le halo
- Etc...

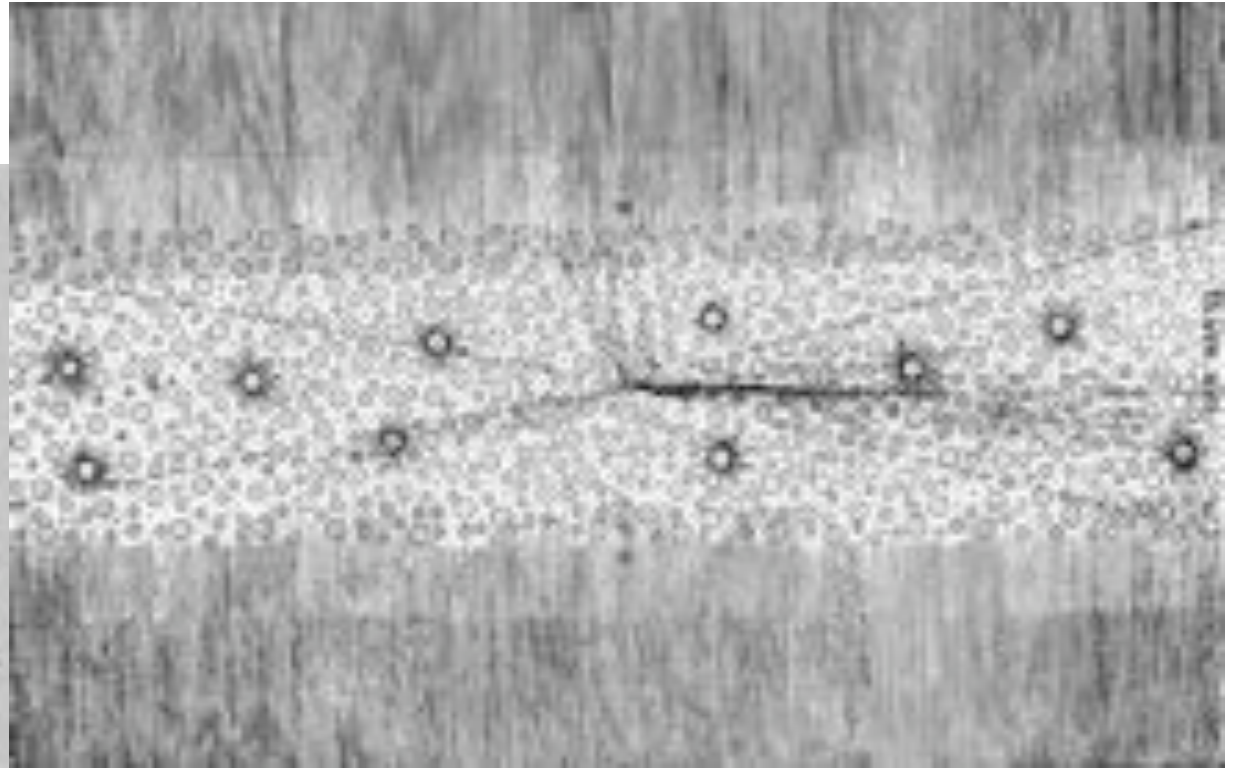
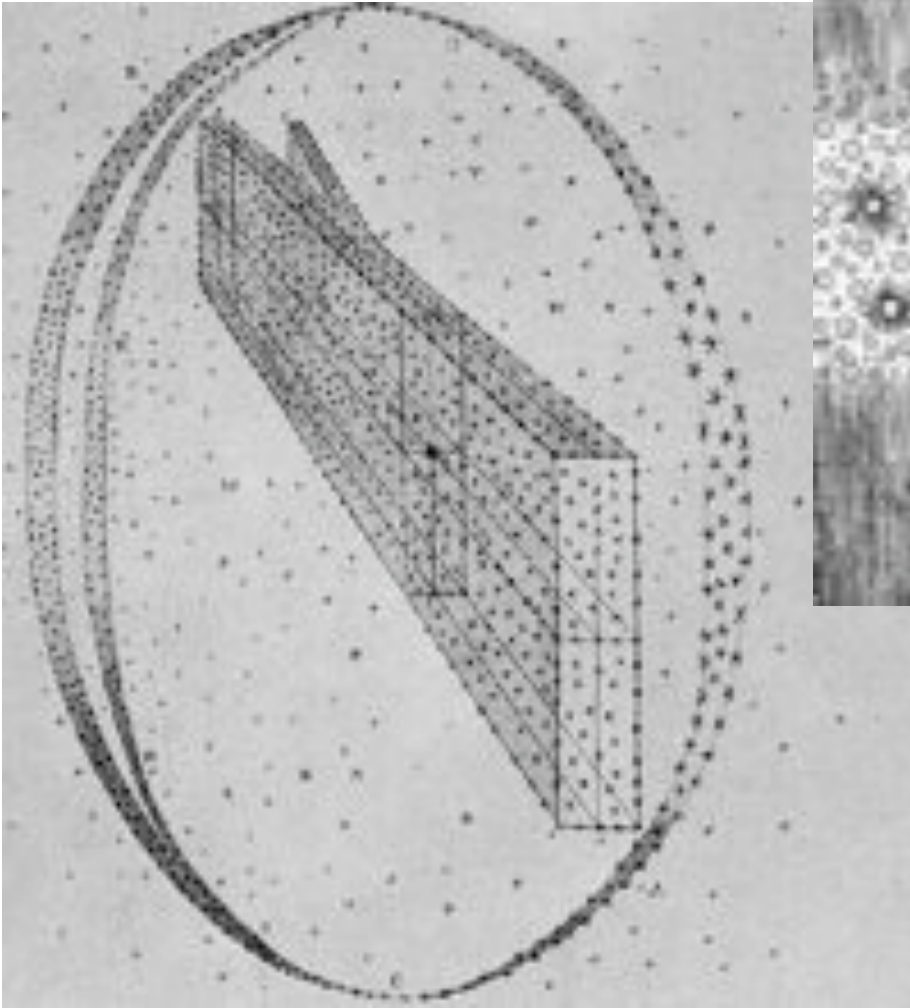
# *Gaia nous dira-t'il à quel type de galaxie nous appartenons ?*

- A quoi ressemble notre Galaxie ?
- Quel type ? SBab SBab(r)? (de Vaucouleurs & Pence, 1978)
- Combien de bras spiraux ? 2 ? 3 ? 4 ?
- Quel bulbe ? Pseudo-bulbe ? Bulbe classique ?
- Où sur la relation de Tully-Fisher ?
- Galaxie 'normale' ? Particulière ?



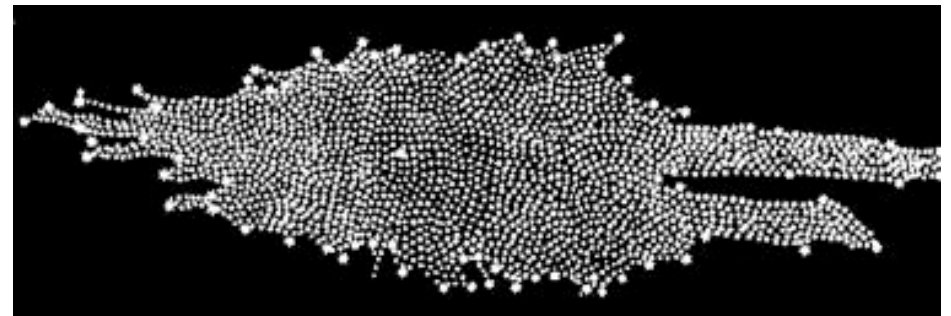
# Quelle est la *forme* de la Galaxie ?

W. Herschel, 1784



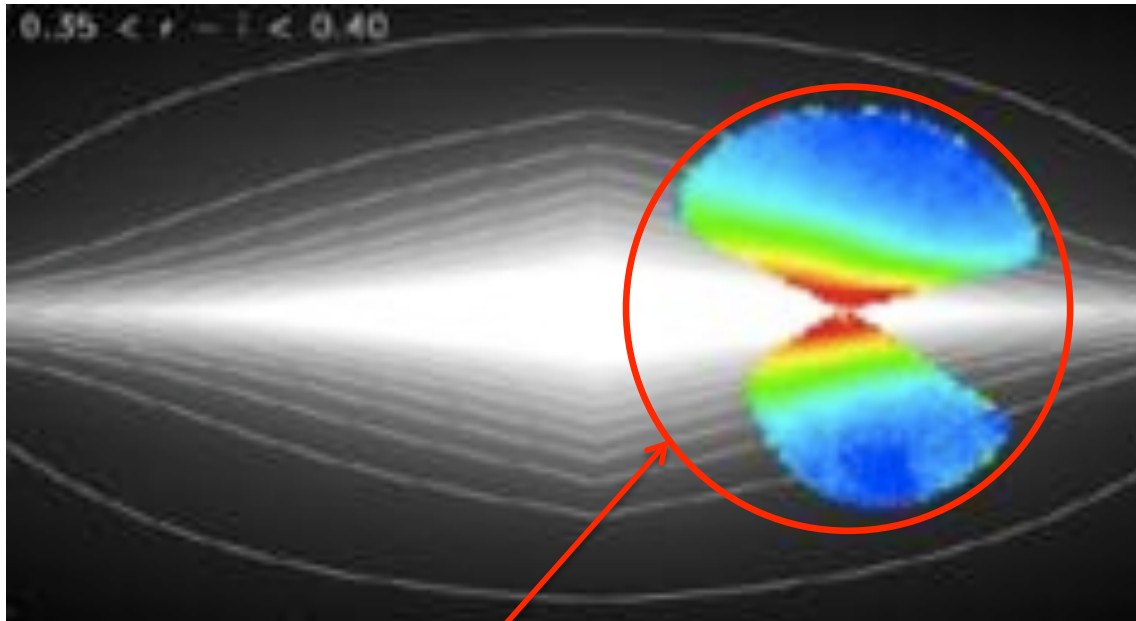
T. Wright, 1750

W. Herschel, 1785



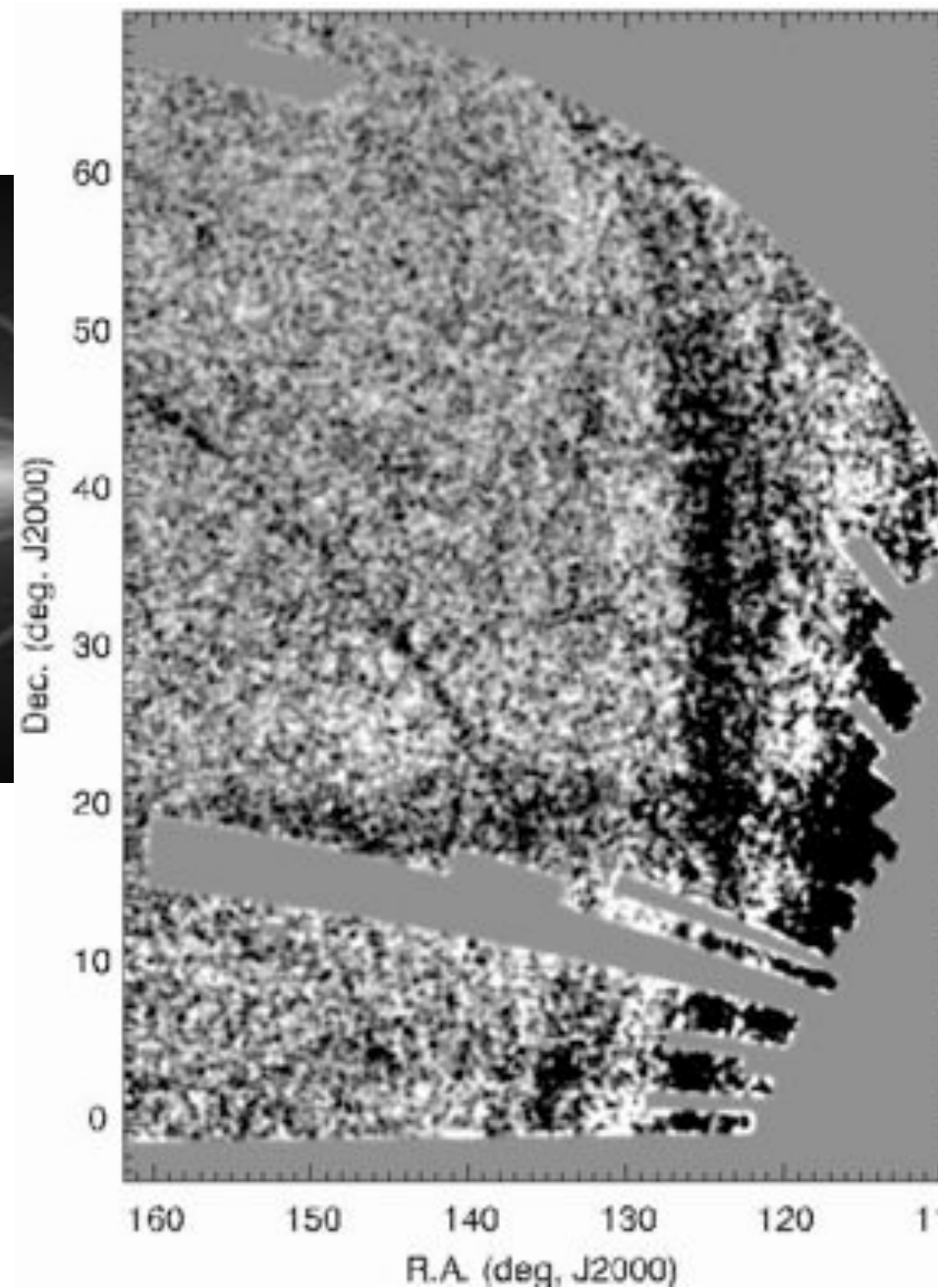
# Quelle est la forme de la Galaxie ?

Premières infos directes : SDSS (Juric et al. 2008)  
Erreur (systématiques + aléatoires) dans Sloan = 15%



Gaia à  $\sigma_\pi/\pi < 10\%$  :  
géantes à 7-8 kpc  
naines GOV à 2.5 kpc

Précision comparable aux distances  
photométriques vers 3.5 kpc (GOV)  
Pas de dégénérescence extinction dans le plan  
galactique

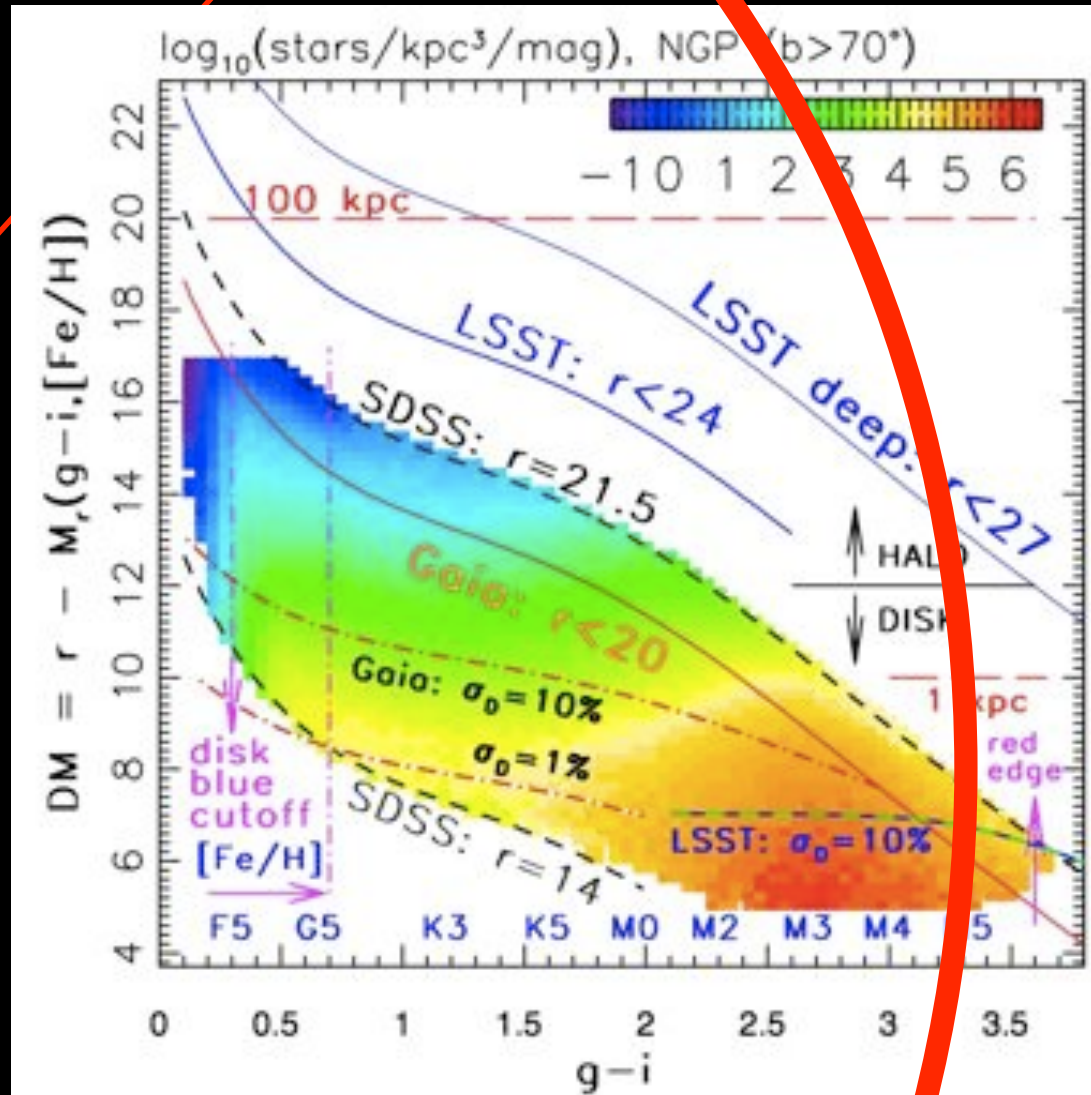
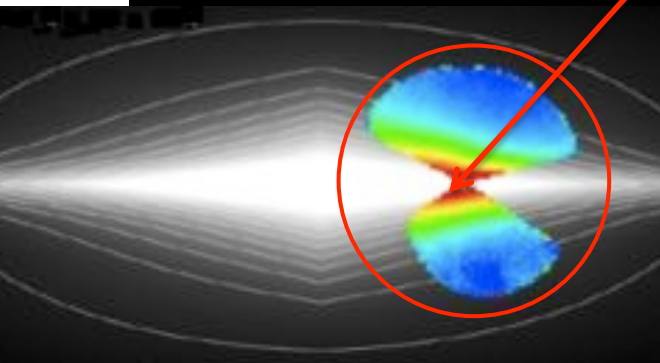


# Quelle est la forme de la Galaxie ?

LSST, ugrizy r<27 en 2015+10, 20000 deg<sup>2</sup>

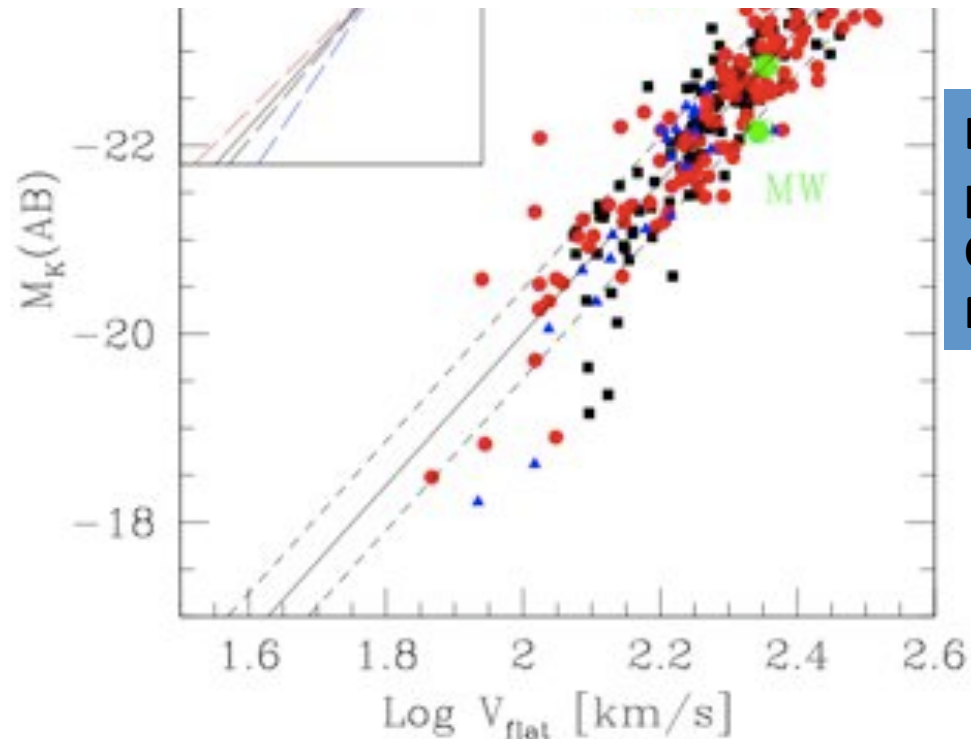
Gaia calibrateur du LSST

100 kpc





# La Voie Lactée outlier sur la relation de Tully-Fisher ?

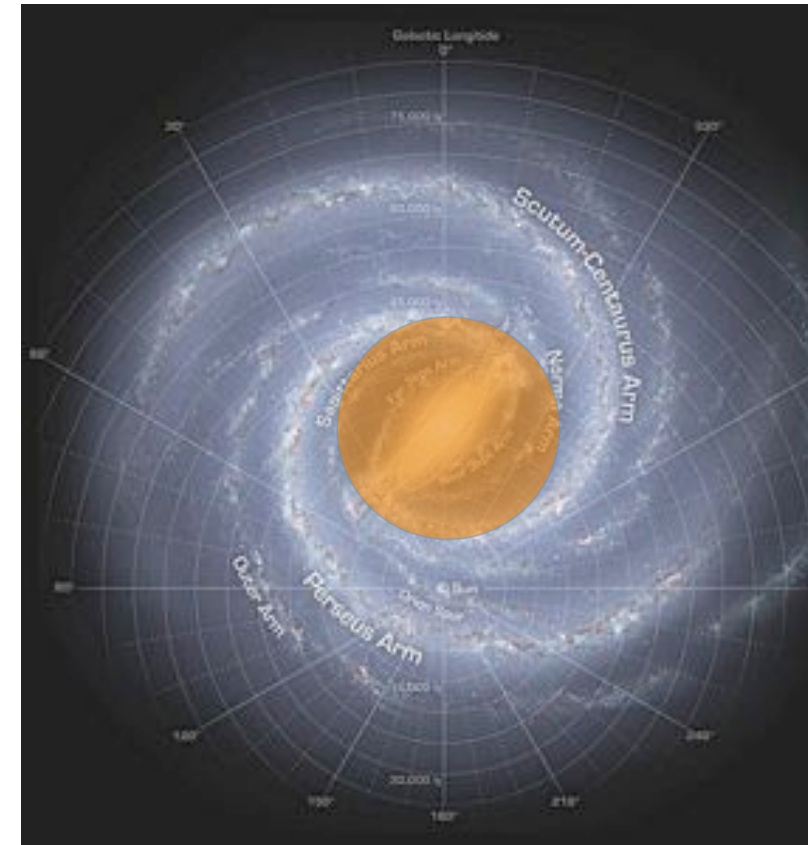


La Voie Lactée est-elle une galaxie particulière ?

Oui: Hammer et al., 2007

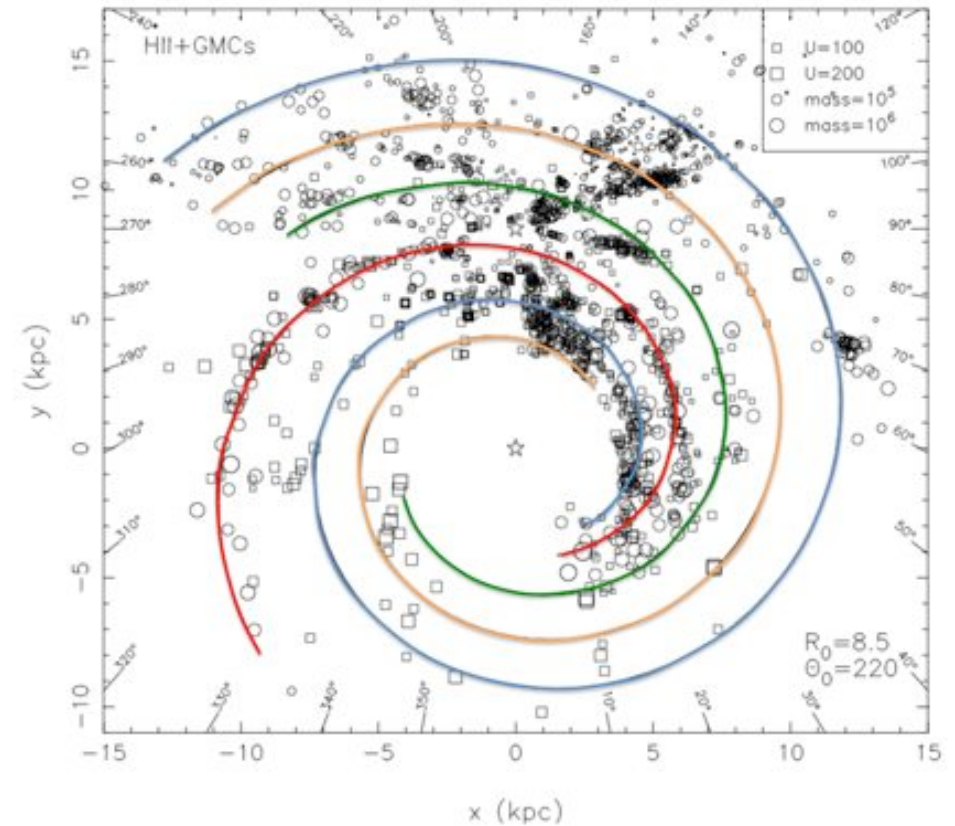
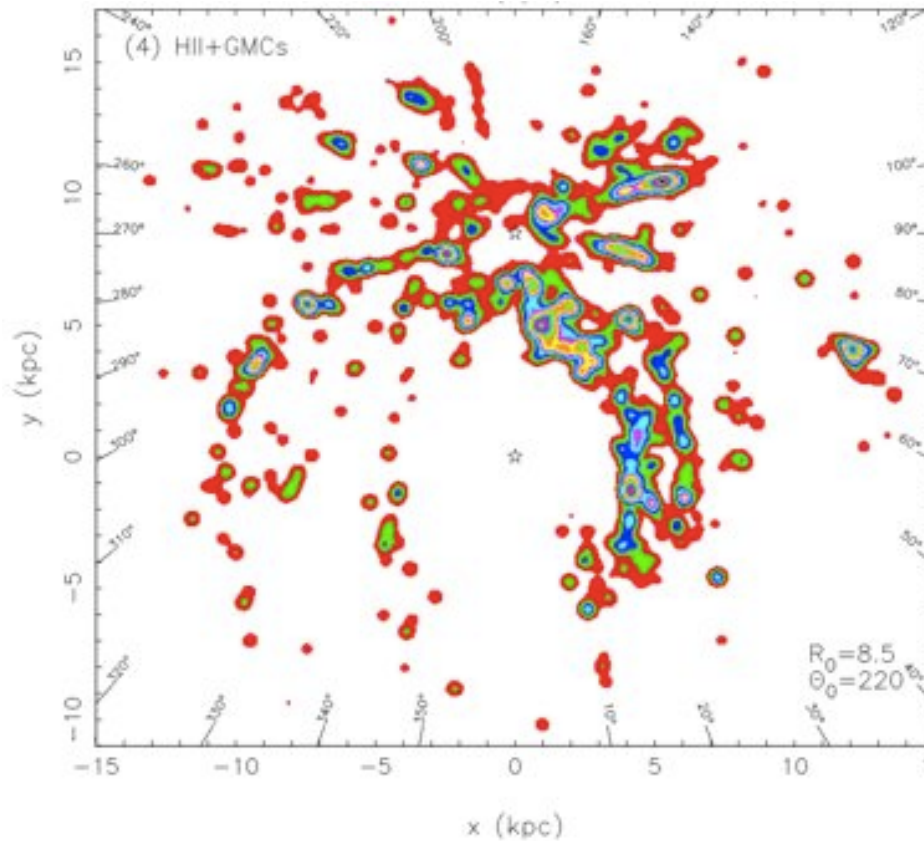
Non: Masters et al., 2008

- Incertitudes sur la Courbe de rotation 170–250 km/s, Xue et al. 2008 < 200 km/s, 200–280 km/s au niveau du Soleil, McMillan & Binney, 2010
- Magnitude absolue de la Voie Lactée *très* modèle dépendante :
  - + incertitude luminosité (régions internes (bulbe))/disk
  - + normalisation 'locale' des modèles



# Bras spiraux, populations jeunes

(étoiles OB, associations, amas, céphéïdes)

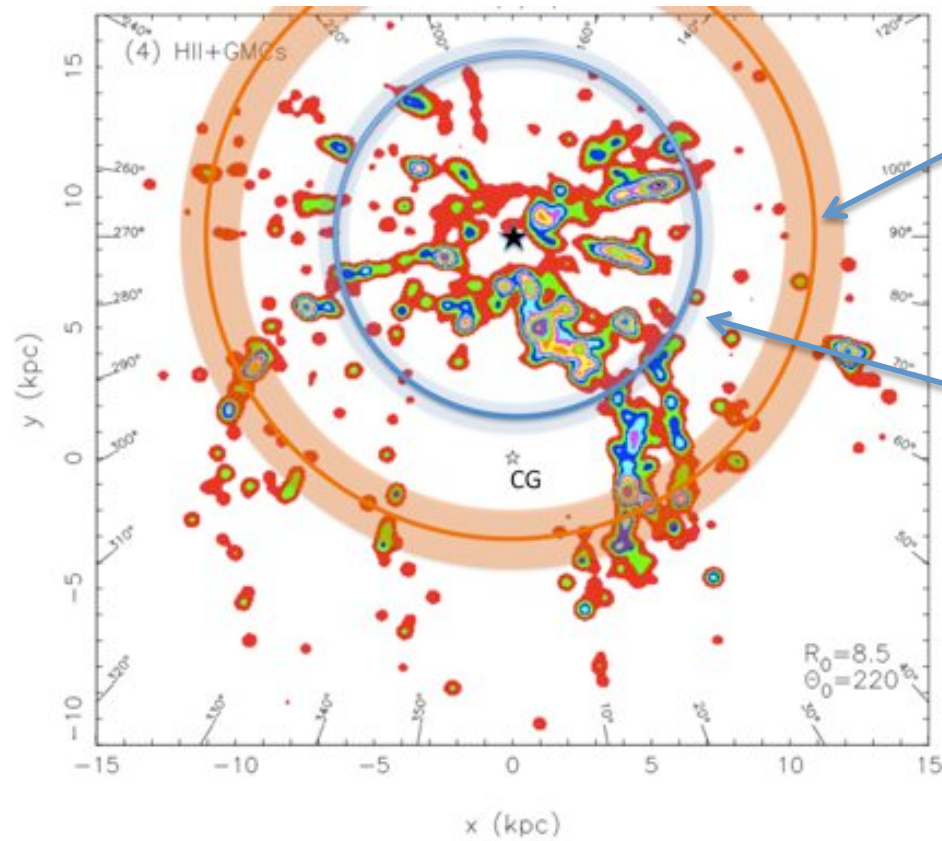


Combien de bras spiraux ?

Contraste de densité bras-interbras dans les populations vieilles (ondes de densité)

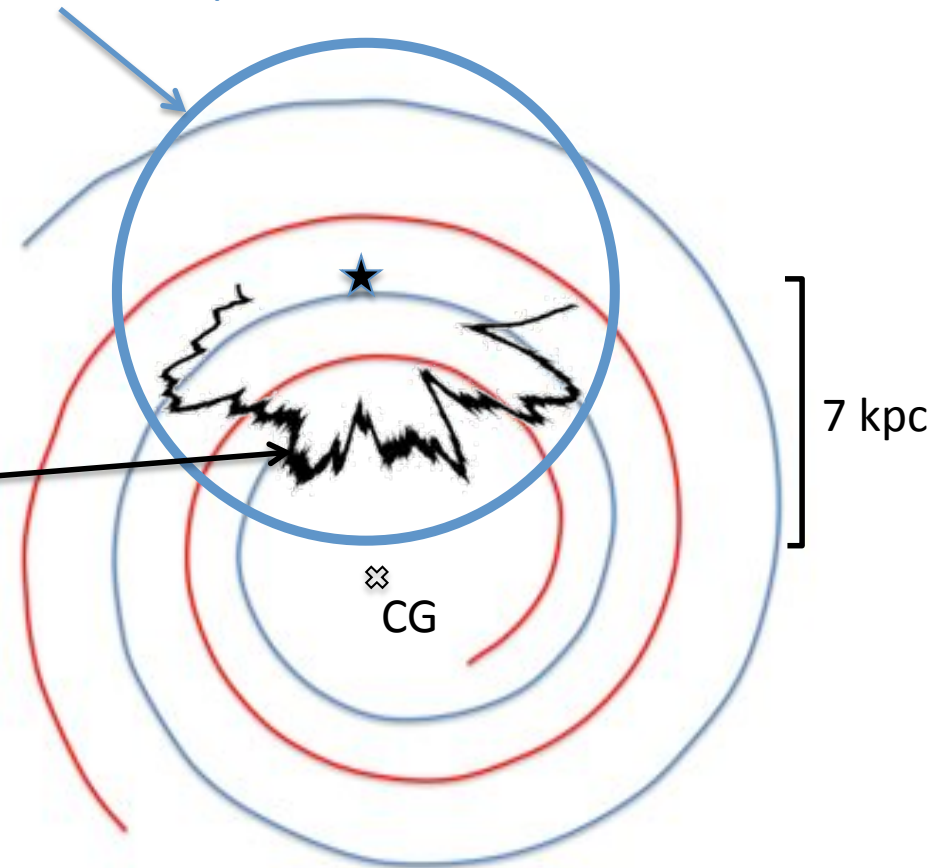
Temps de dilution ?

# Horizon de Gaia pour les céphéïdes et étoiles OB



Horizon à  $\sigma_\pi/\pi < 10\%$ ,  
sans absorption

Horizon à  $\sigma_\pi/\pi < 10\%$ ,  
absorption  $A_V = 5\text{mag}$



Limite à  $A_V = 5\text{mag}$  (Marshall et al. (2006))

# Les populations stellaires

Le problème de l'identification des populations galactiques :  
Combien de populations stellaires ? Lesquelles ?

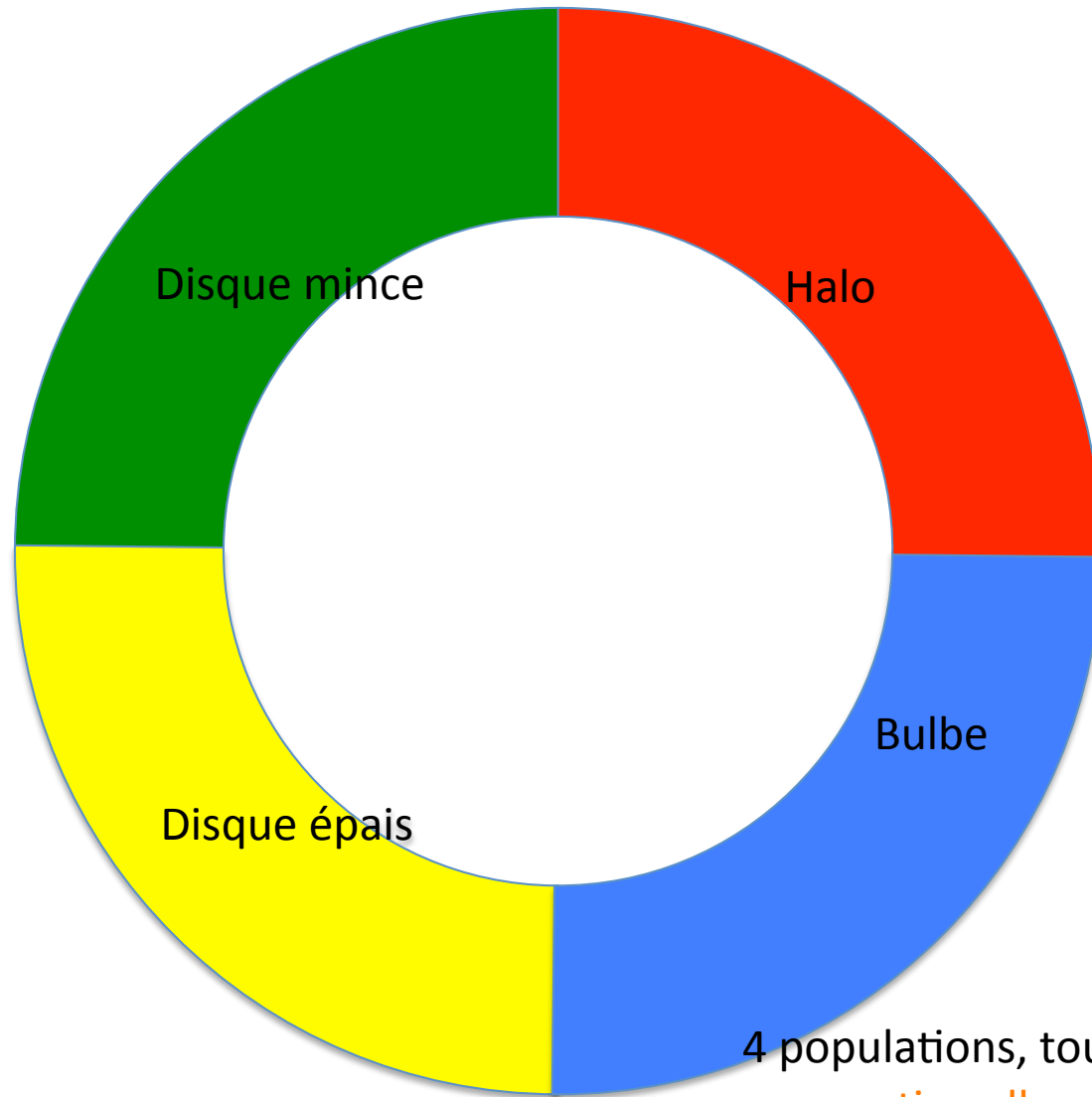
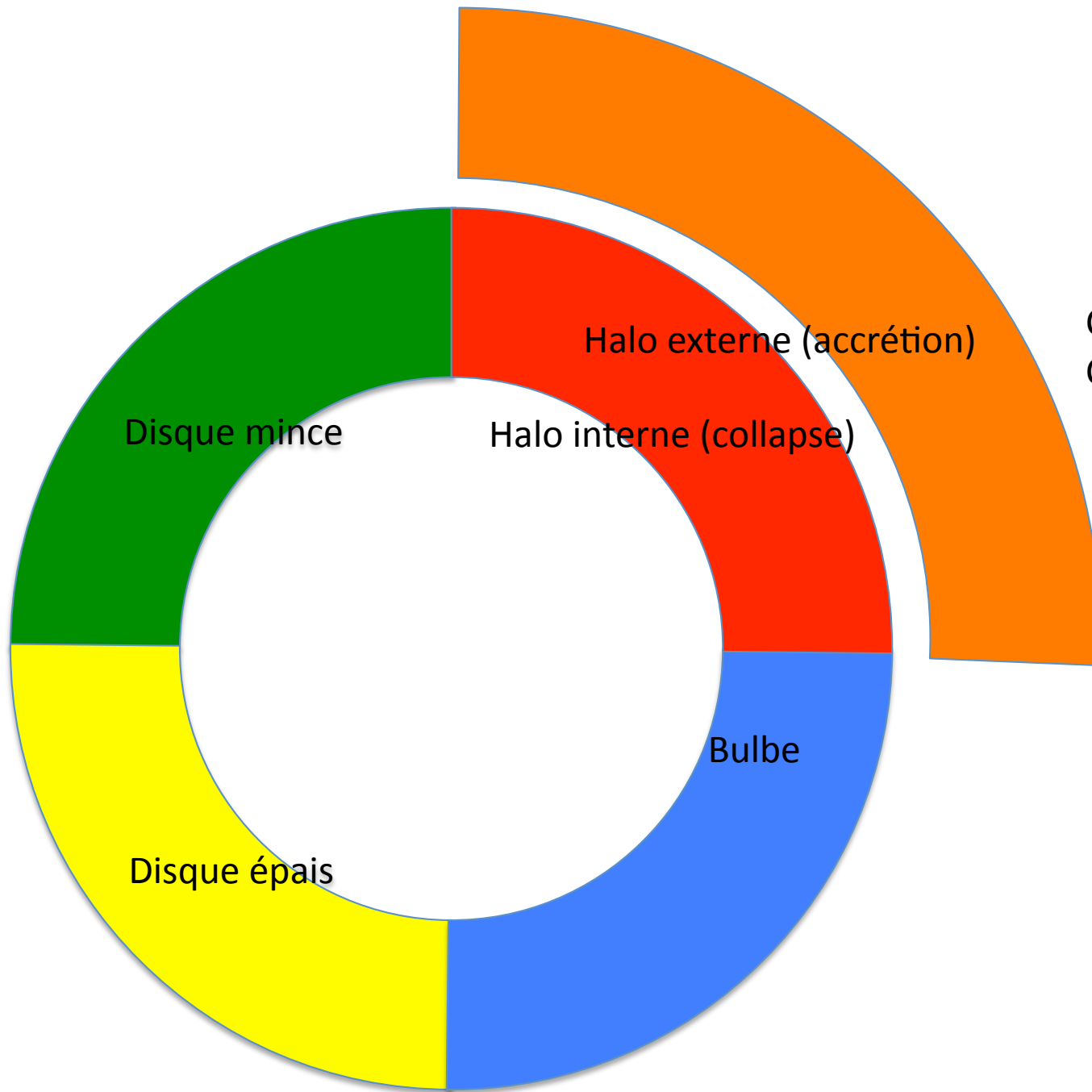


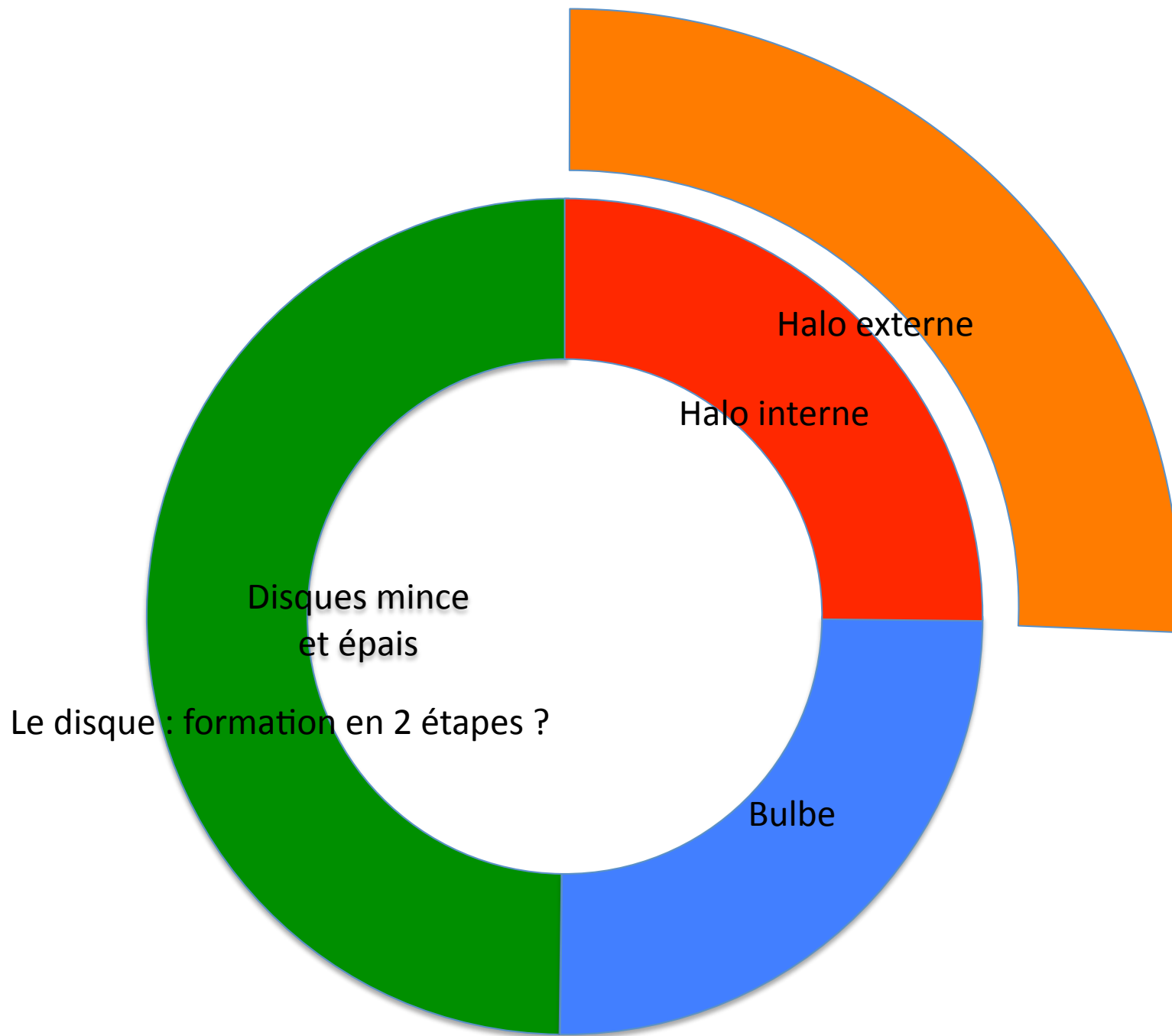
Schéma standard actuel

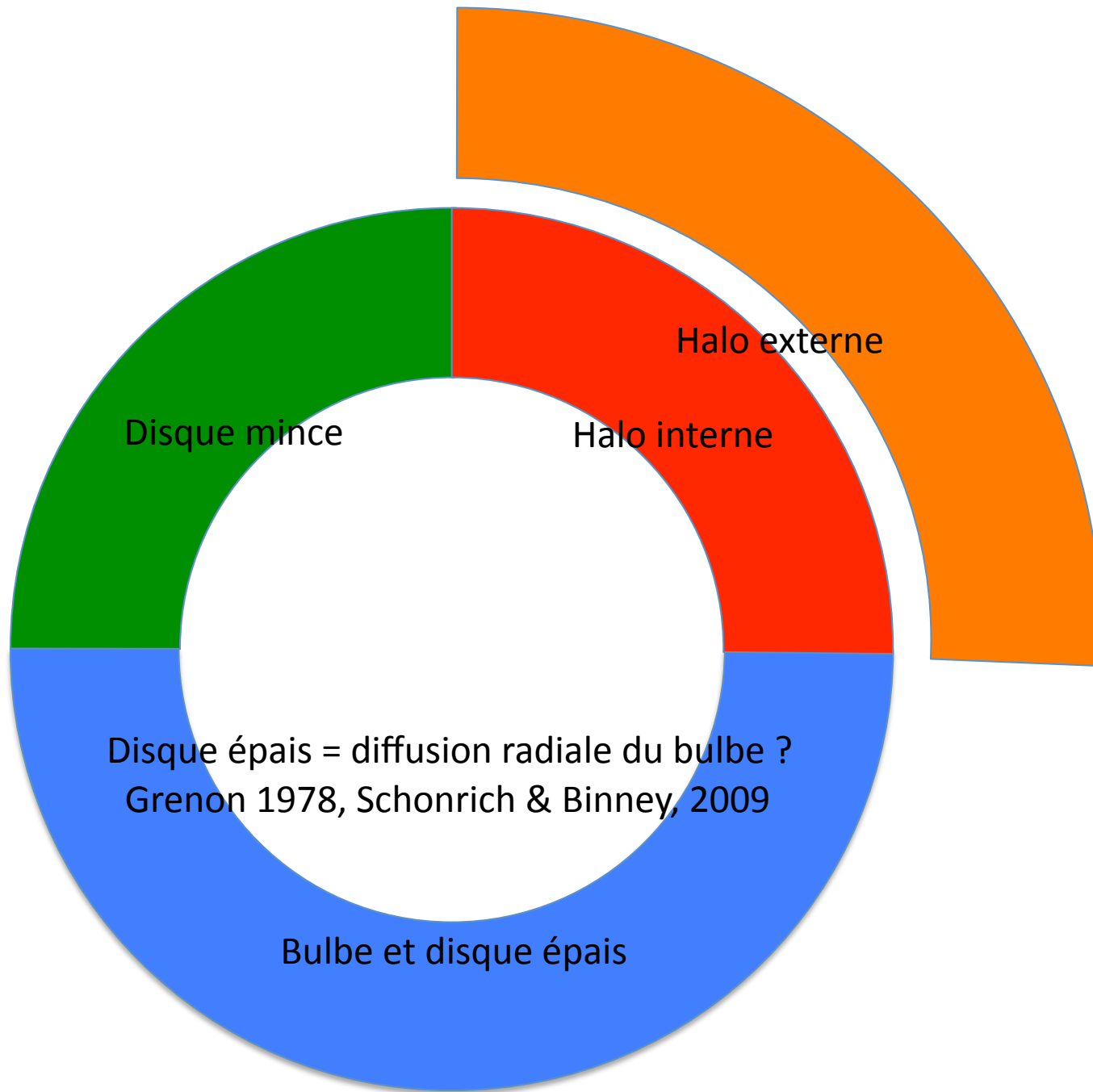
4 populations, toutes susceptibles de posséder  
une partie collapse et/ou une partie accrétion



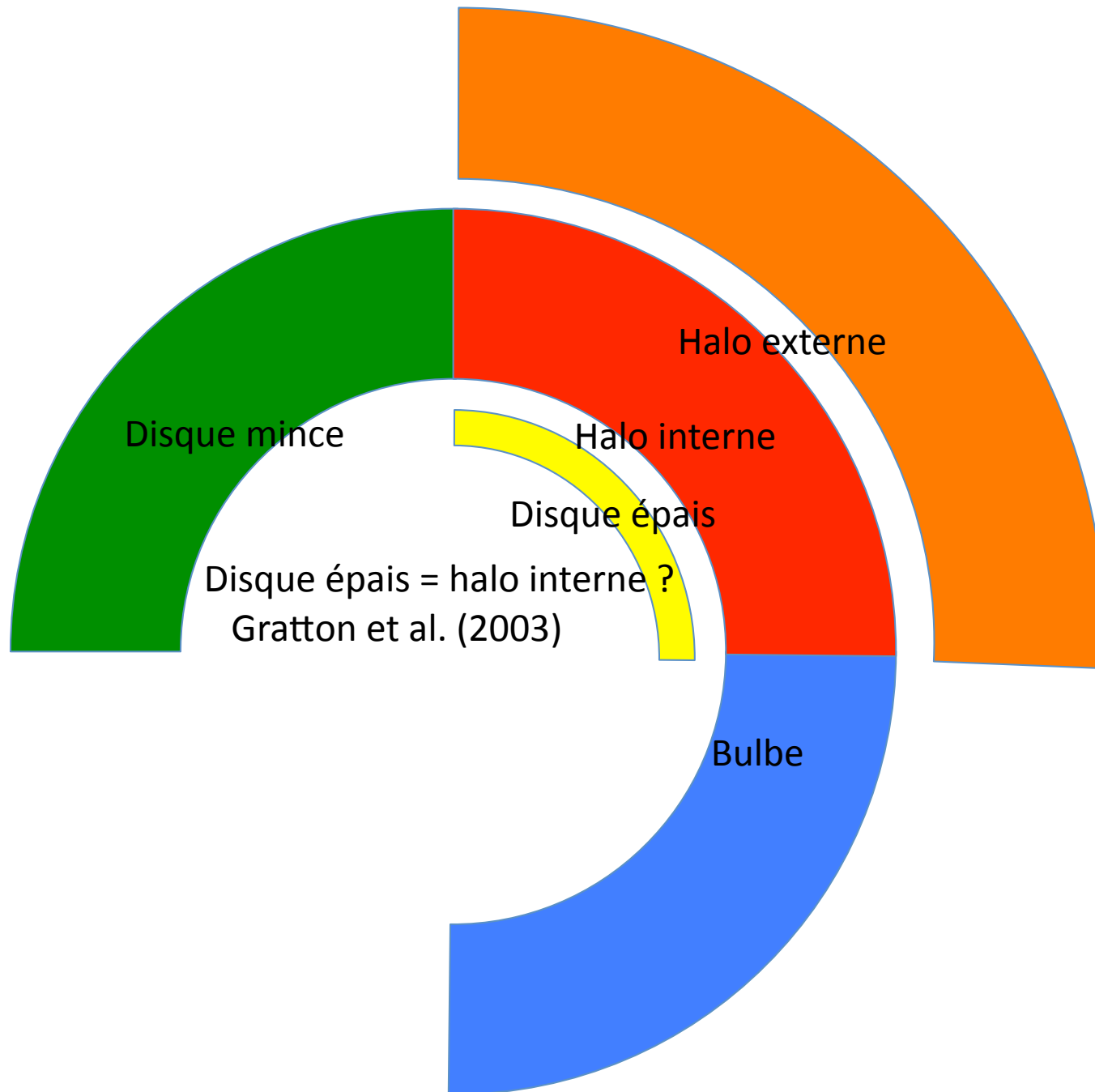
Cf Gratton et al. 2003  
Carollo et al. 2009

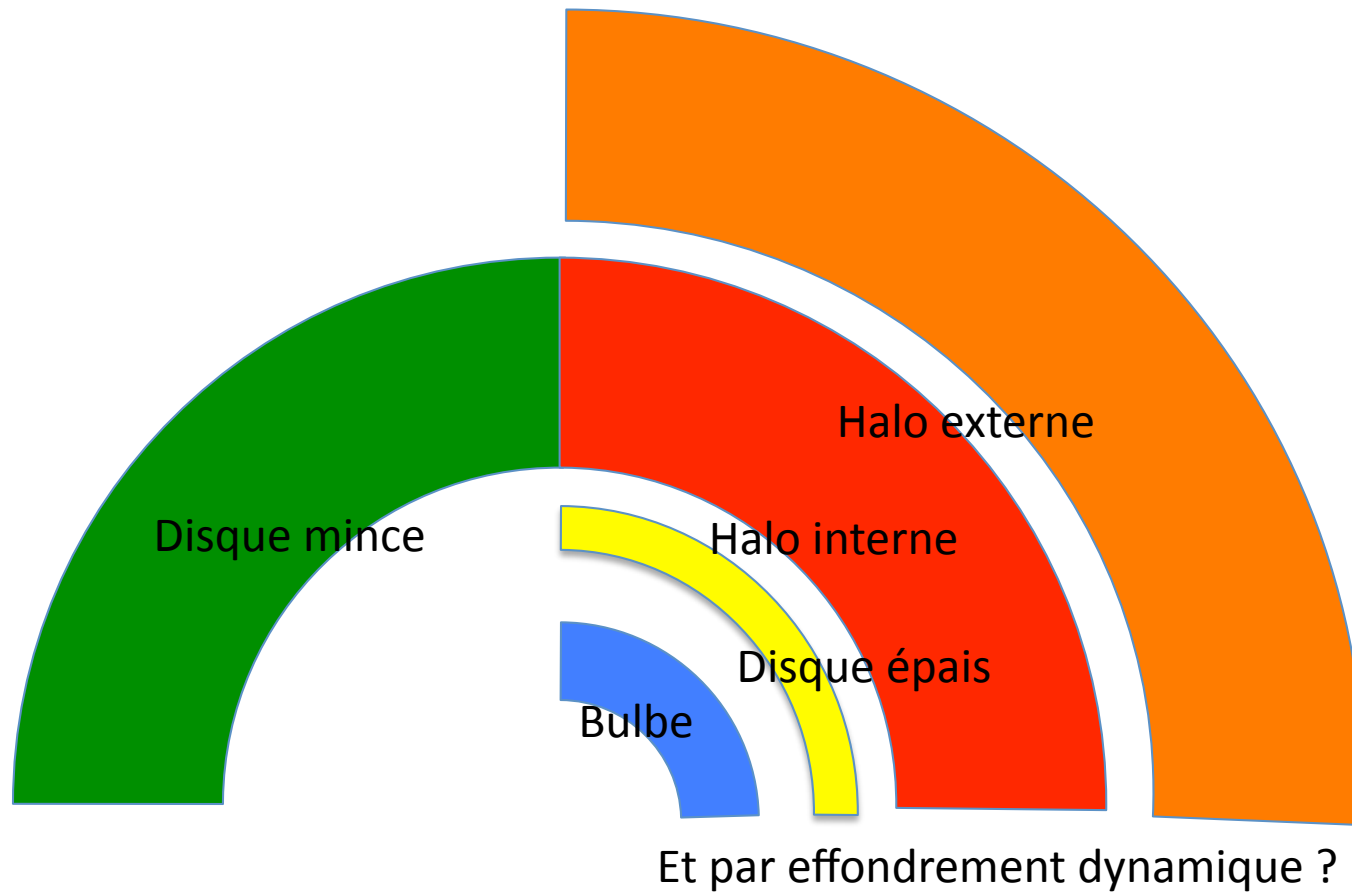
Un halo dual ?

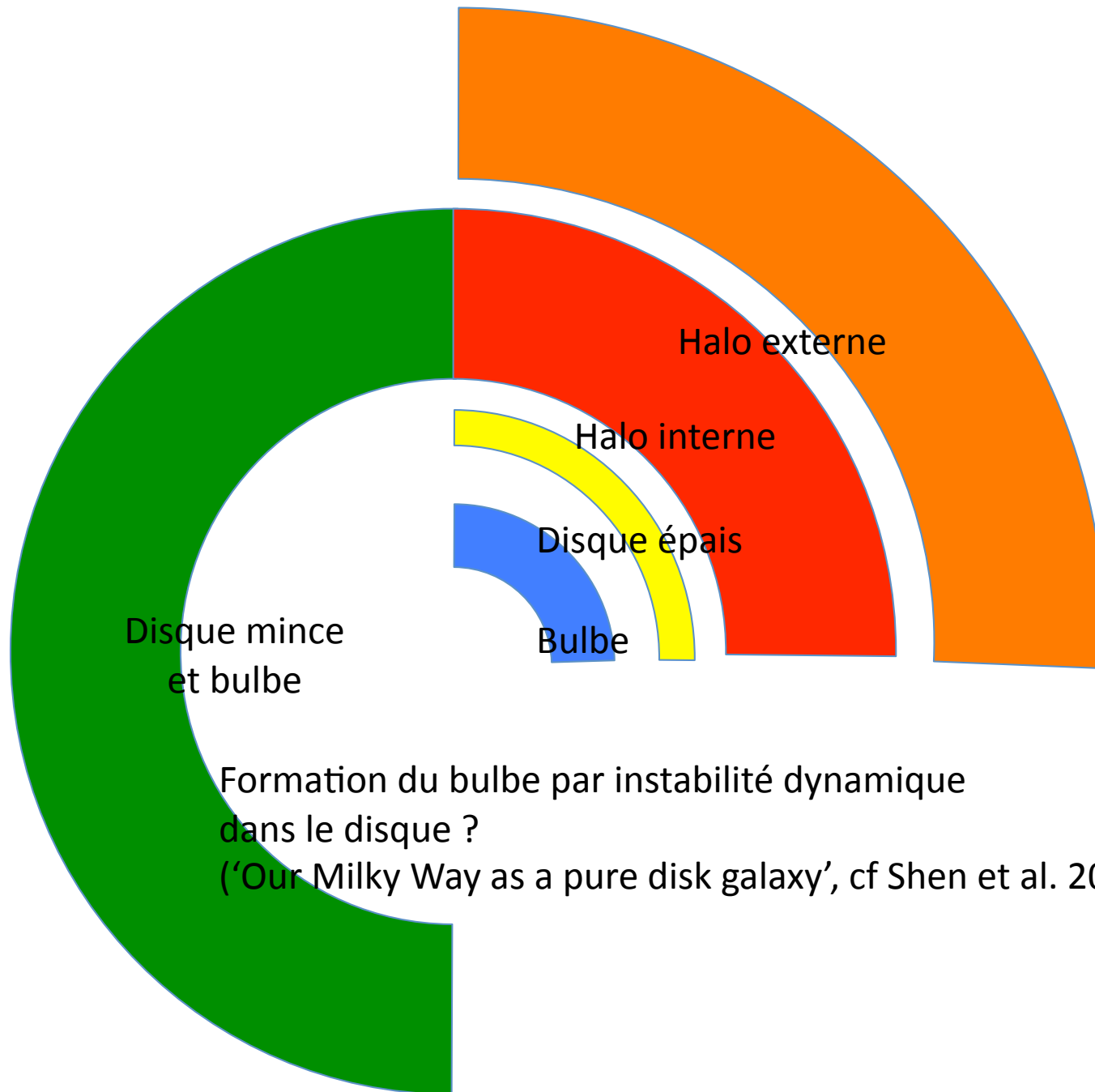






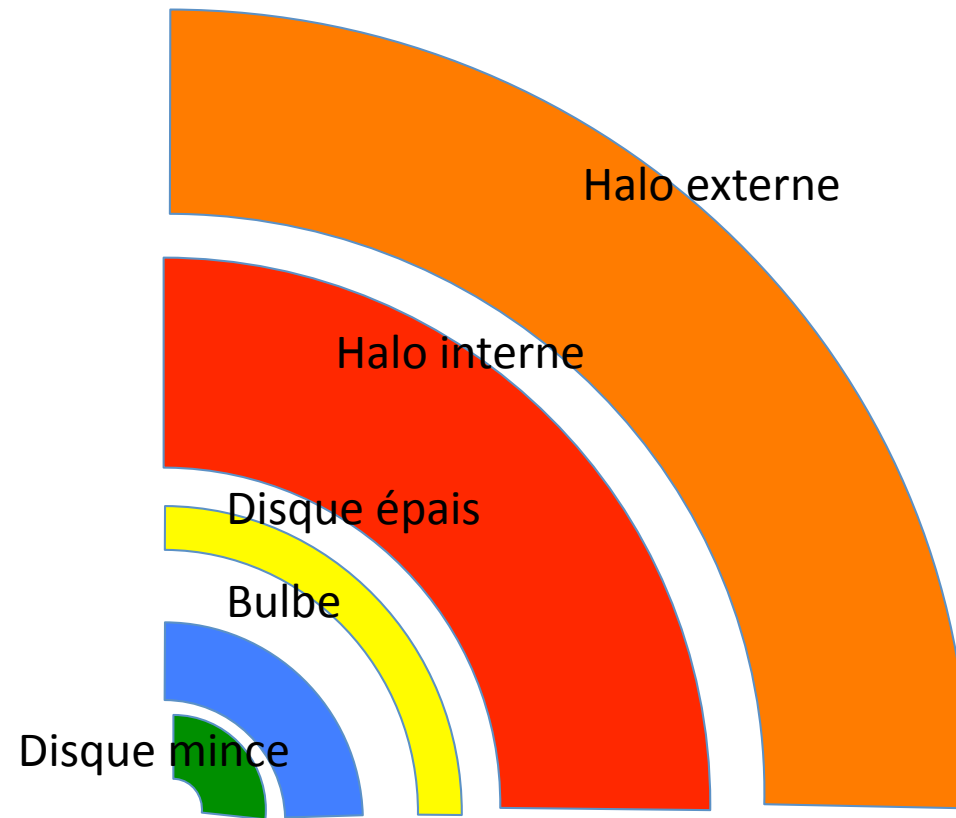






Formation du bulbe par instabilité dynamique  
dans le disque ?

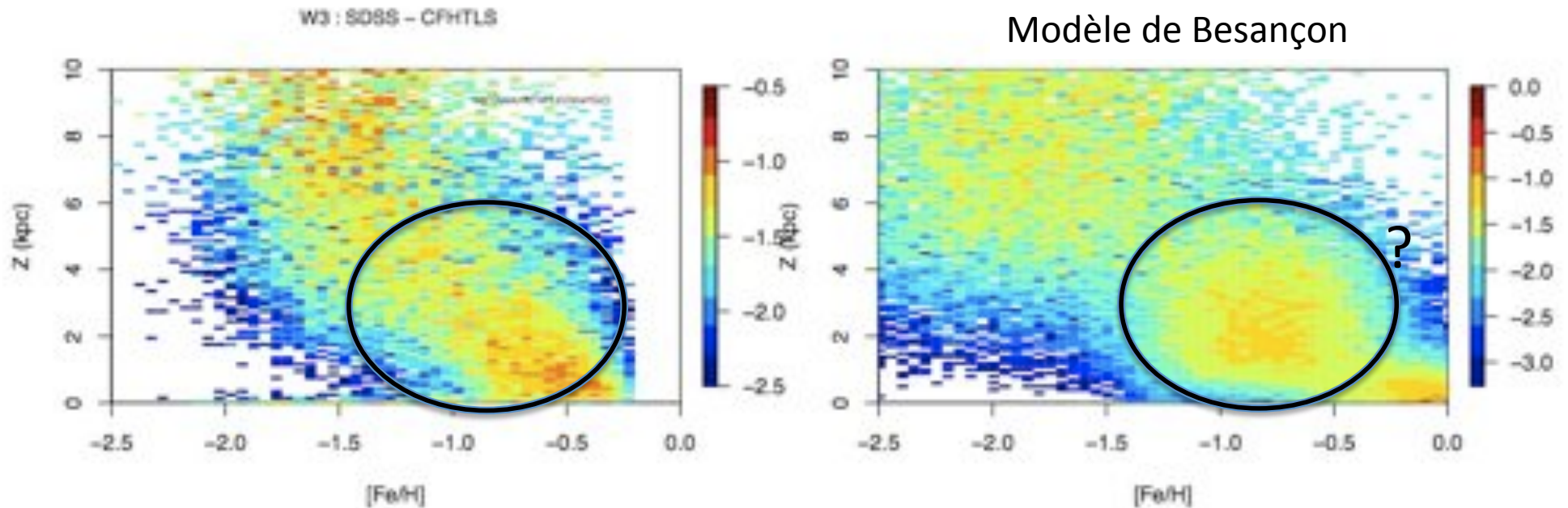
(‘Our Milky Way as a pure disk galaxy’, cf Shen et al. 2010)



- ★ Comment définit-on une population ?
- ★ Quelles relations entre ces populations ?

# Un exemple de l'incertitude actuelle

## 1 - Cartographie $[Z, Fe/H]$ du plan méridien galactique SDSS/CFHTLS



Mélanie Guittet, 2010

Où est le disque épais 'standard' ?

# Dichotomie local / in situ

Observables différentes

Local  $< 100$  pc  
Diagramme HR,  
métallicités, rapport  
d'abondance, vitesses

In situ  $> 1$  kpc  
Diagramme de Hess  
(Magnitudes  
apparentes, Couleurs)

Paramètres contraints différents

*âge, chimie, cinématique, densité (locale)*

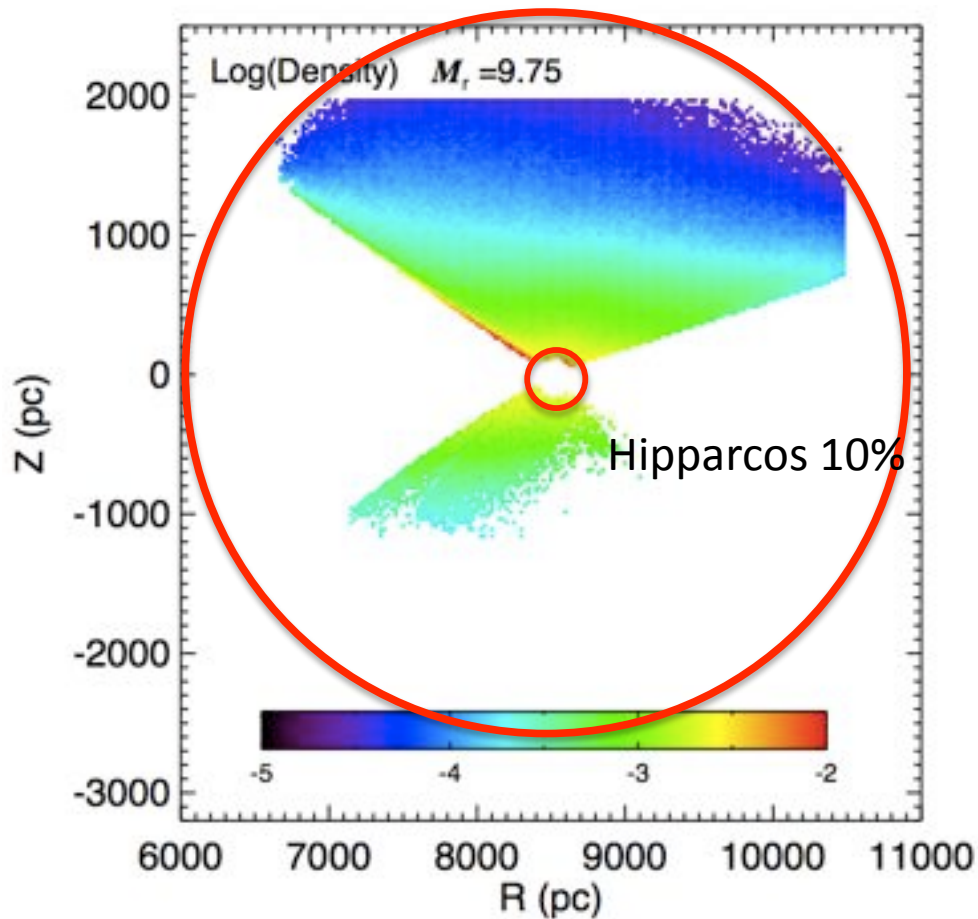
*répartition spatiale galactique*

2 définitions différentes du disque épais

**solution** : connecter le 'local' et le in situ → Gaia

# Connecter la vision globale et locale : Gaia

Gaia, 10% GOV,  $A_v=0\text{mag}$



Gaia va étendre la sphère locale à 2500pc  
(G0 V à  $V < 16.4$ )

- Diagramme HR (âges)
- Métallicités photométriques ou Spectro : Gyes, Hermes, Rave
- Cinématique UVW, précise

# Le disque galactique

La très grande majorité des étoiles observées par Gaia appartiennent au disque

→ Opportunité unique de savoir comment se forme une structure aussi complexe

La question de la formation & évolution du disque : Avec Hipparcos, le problème a progressé en complexité, mais un début de réponse n'est pas encore en vue.

## Manques & difficultés de l'héritage Hipparcos :

- La base spatiale : 200pc ne suffisent pas !
- Les âges difficiles à mesurer (systématiques)
- Des métallicités et rapport d'abondance !
- Intrication des effets dynamiques & chimiques

## Aspects mal connus :

- Evolution chimique
- Histoire du Taux de Formation d'étoiles dans le disque

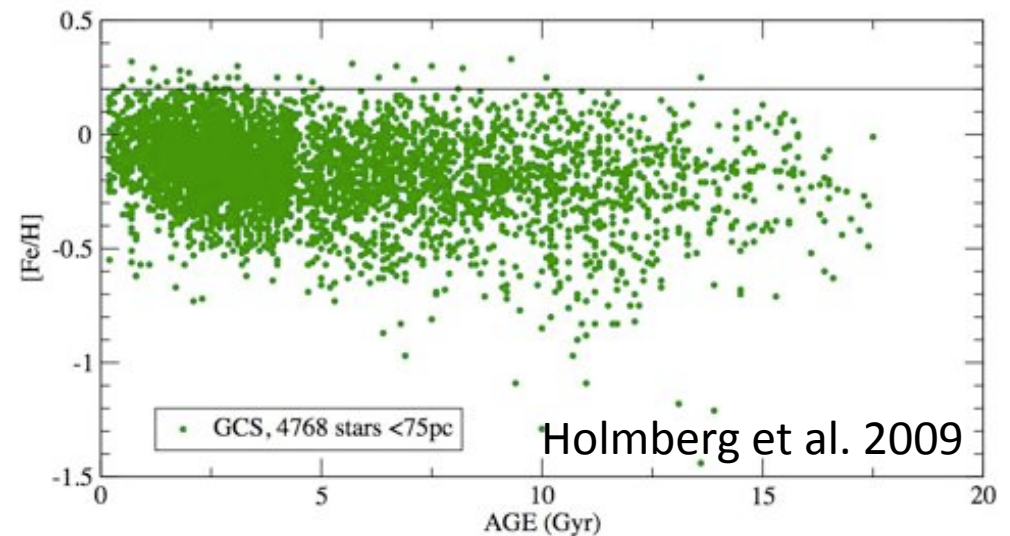
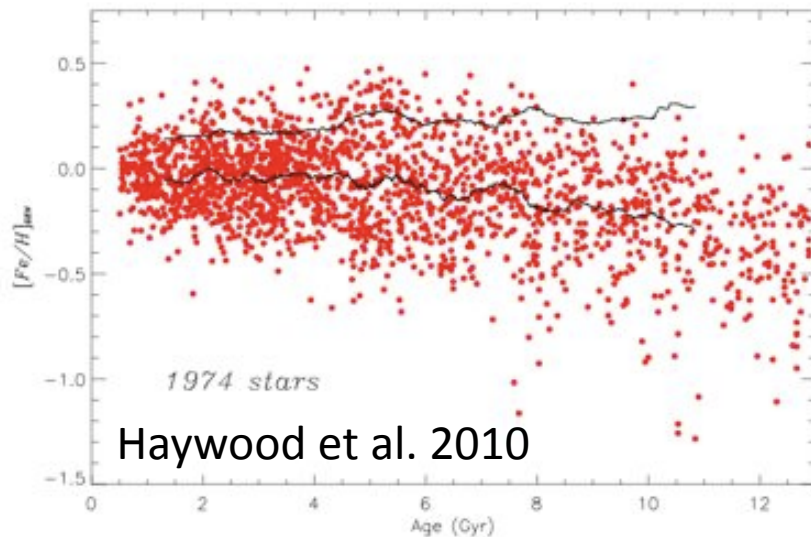


# L'âge des étoiles : L'enseignement d'Hipparcos

Un des points difficiles de l'analyse des données *Hipparcos* a été la mesure des âges.

*Parallaxes excellentes* mais :

- Biais systématiques dans les calibrations de métallicités et températures effectives
- Photométrie hétérogène (Strömberg)
- Échantillons mal définis (non-représentatifs), et difficiles à corriger



*Différences significatives, 13 ans après !*

# L'âge des étoiles

Mais améliorations attendues :

- Photométrie homogène de Gaia (problème principal de l'exploitation des parallaxes Hipparcos, cf photométrie Strömberg)
- Systématiques moins grandes des paramètres atmosphériques  $T_{\text{eff}}$ ,  $[Fe/H]$  (mesures sols diamètres angulaires, échantillons spectro plus importants)
- Des millions d'étoiles pour calibrer le diagramme HR
- Échelle des âges de l'astéroséismologie (échelle externe)

# Le disque 'local' avec Gaia

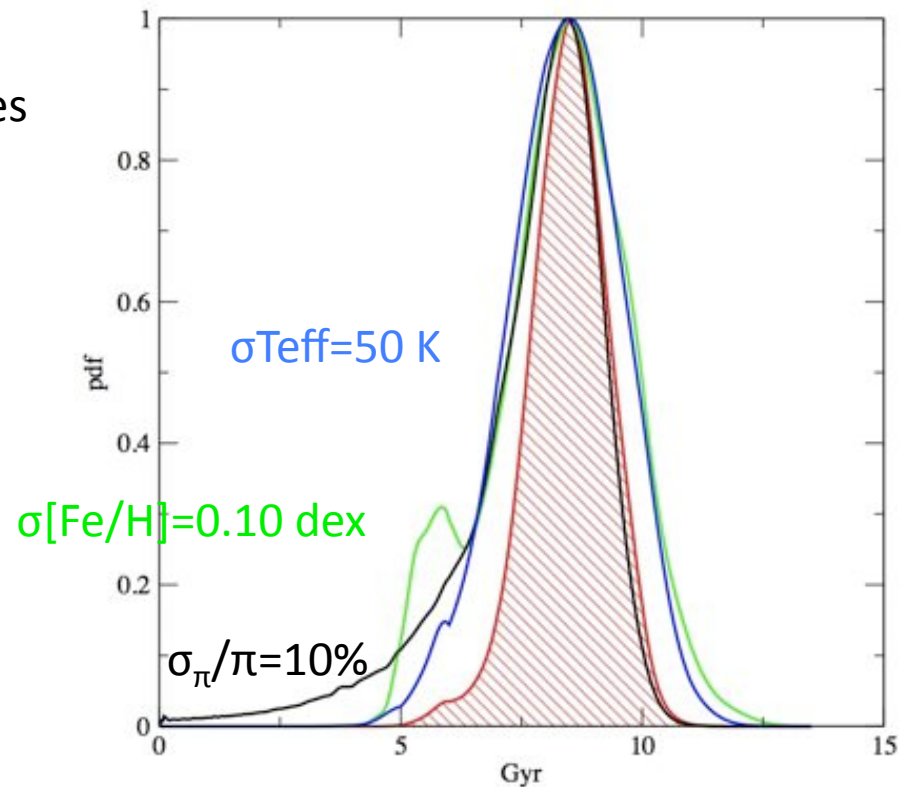
Un échantillon 'ultraprécis' à moins de 800 pc (1% sur les parallaxes) ( $V < 15$ mag):  
Environ 10 millions d'étoiles 'datables' (<500 étoiles dans Hipparcos (nouvelle réduction))

Un échantillon précis entre 1 et 2.5 kpc ( $\sigma_{\pi}/\sigma < 10\%$  si  $A_V < 5$ mag.) :  
âges bons (<20%) Pour >50 millions ? d'étoiles.

La parallaxe ne sera pas le paramètre limitant la mesure des âges pour les étoiles avec  $\sigma_{\pi}/\sigma < 10\%$  :  
En premier lieu la température effective et la métallicité.

Étoile de type G2V  
 $\sigma_{\text{Teff}} = 25\text{K}$   
 $\sigma[\text{Fe}/\text{H}] = 0.05\text{dex}$   
 $\sigma_{\pi}/\pi = 1\%$

Détermination des âges par isochrones (Jorgensen & Lindegren, 2005)

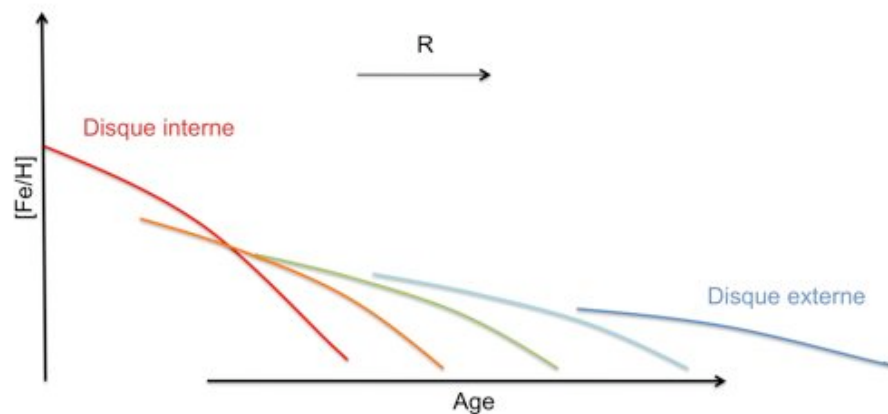


# Le disque galactique : intrication des aspects dynamiques et chimiques

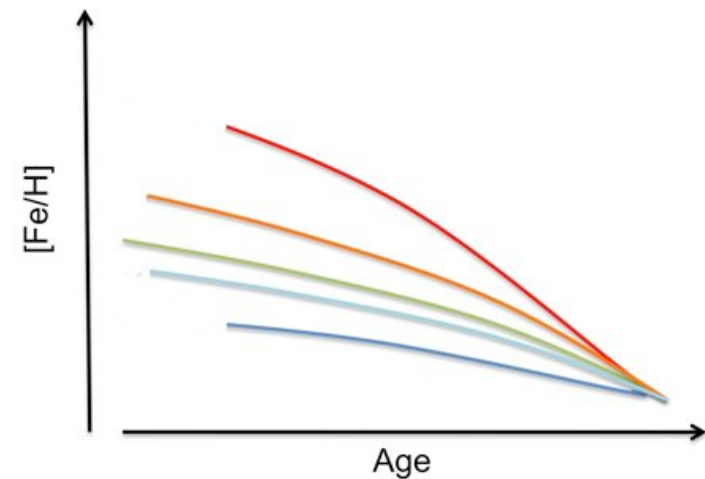
Contrainte actuel des modèles d'évolution chimique:

Le paradigme des modèles (construction inside-out du disque) repose entièrement sur la distribution locale de métallicité (<50pc) et le problème dit des 'naines G'.

Mais l'évolution chimique est un problème non-local :  
Mélange radial dans le disque (étoiles et gaz).



Evolution de la métallicité moyenne à différent rayons galactiques



Mélange au voisinage du Soleil

Pour déconvoluer le mélange de l'évolution dynamique et chimique, il faut sortir du voisinage solaire: Gaia donnera accès à une base radiale de 4-5kpc dans le disque galactique.

# Conclusions

- Gaia va permettre de revoir complètement notre définition des populations stellaires.
- Mettre sur une même échelle des âges l'ensemble de ces populations (sauf le bulbe)
- La complémentarité avec les relevés spectro et photométriques sol est nécessaire: Gaia ne fournira pas toute l'information nécessaire pour tirer complètement parti des distances et cinématique des étoiles.
- Voir ELSA Conference Gaia: at the frontiers of astrometry, 7-11 June 2010  
Présentations disponibles sur le site de l'AS Gaia  
(cf en particulier sur les aspects stellaires et galactiques, Y. Lebreton, C. Babusiaux, A. Helmi)