

*Histoire de la Voie Lactée :
archéologie galactique et apports de Gaia*

Alejandra Recio-Blanco

*Laboratoire Cassiopée
Observatoire de la Côte d'Azur*

Histoire de la Voie Lactée : archéologie galactique et apports de Gaia

*Analyse des informations fossiles stellaires chimiques et
dynamiques*

afin de

*reconstruire les histoires de formation des différentes
composantes de la Voie Lactée*

Archéologie stellaire Galactique

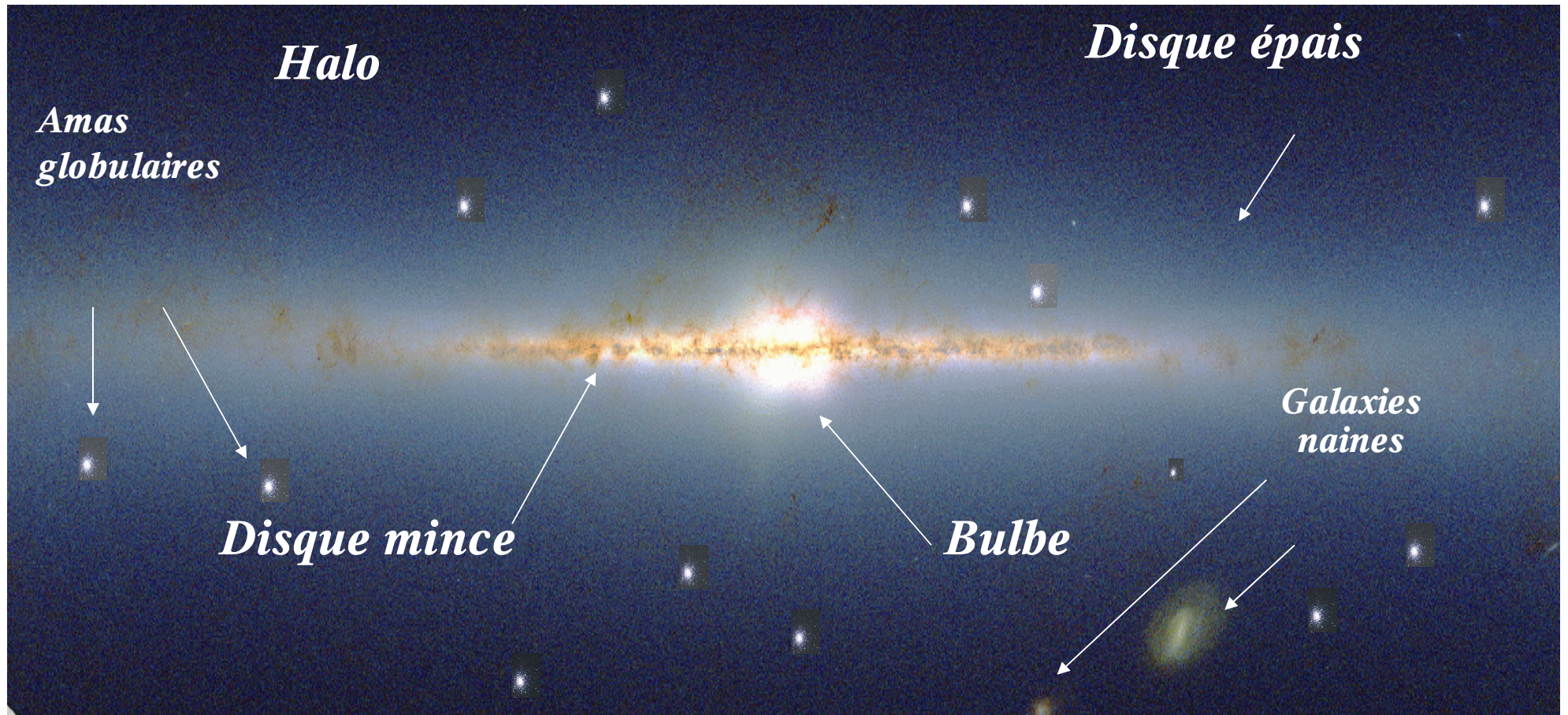
- 1. Introduction: La Voie Lactée, une galaxie spirale*
- 2. L'histoire de la Galaxie cachée dans ses populations stellaires. Etudes :*
 - âges*
 - cinématique*
 - abondances chimiques*
- 3. La mission Gaia*
- 4. Conséquences pour les modèles d'évolution galactiques*

La Voie Lactée : une galaxie spirale

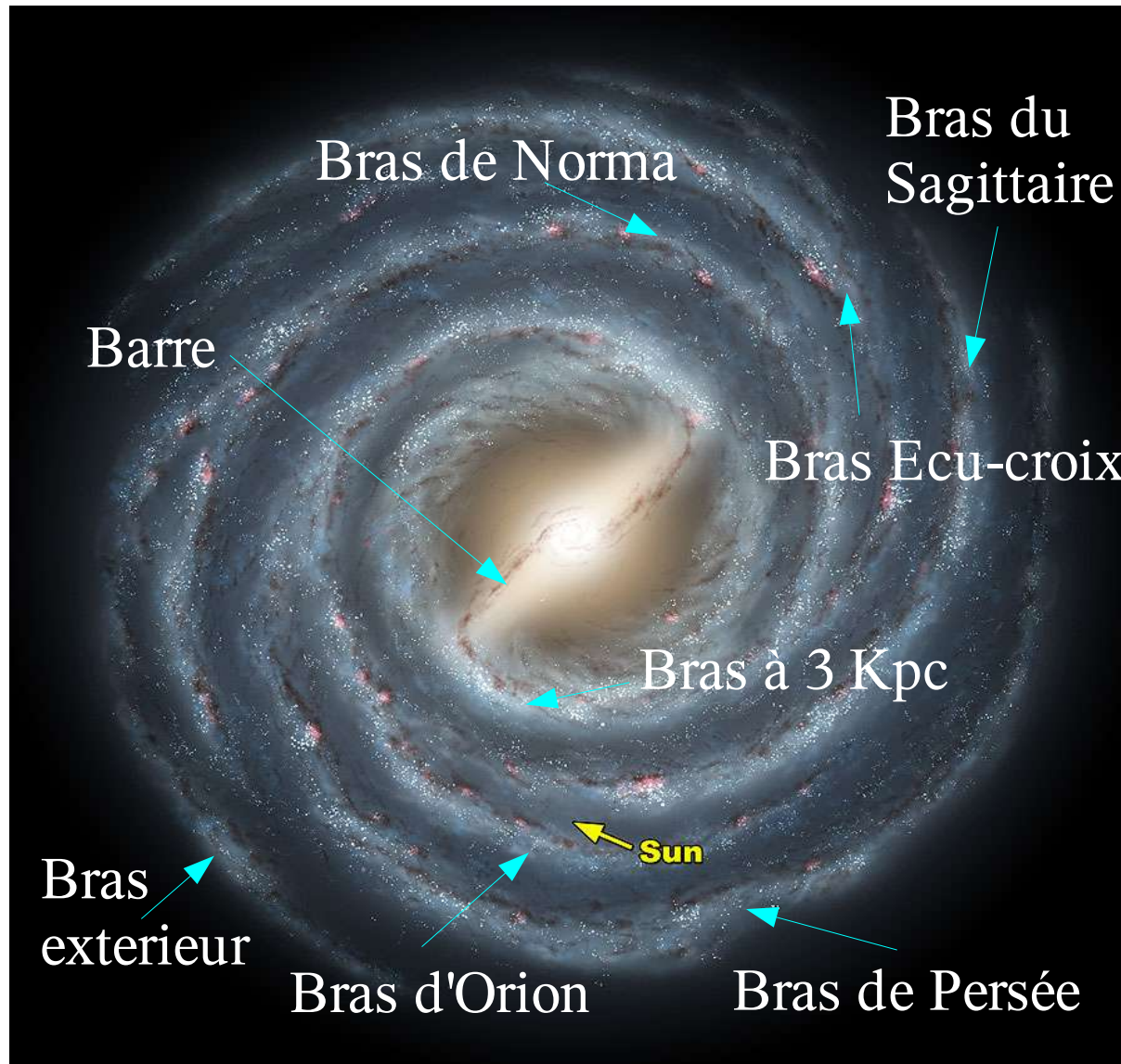


- *Informations exceptionnellement détaillées*
- *Tests pour les théories de formation galactique*

La Voie Lactée : une galaxie spirale



La Voie Lactée : une galaxie spirale



Benjamin et al., 2005 (GLIMPSE)

La Voie Lactée : une galaxie spirale

Scénario de Formation :

Λ CDM Hierarchical clustering ?

White & Rees 1978

- *Fusion de 5-20 systèmes de taille similaire ($z = 2 - 3$)
(Abadi et al. 2003) *Formation du Bulbe ?**
- *Accrétion progressive de petits systèmes
(Gilmore & Wyse 2001) *Formation du Halo et du Disque ?**



La Voie Lactée : une galaxie spirale

Modèles de formation ... Prédiction sur les populations stellaires

- *Disque Epais :*

- *Par réchauffement du disque mince ?
Accrétion d'un gros satellite?*

- *distribution de métallicité*
- *moment angulaire plus petit dans les régions externes*

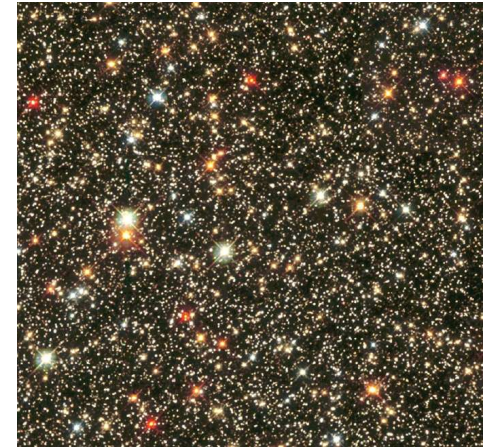
- *Par dissipation ?*

- *gradients d'abondances*
- *même échelle de hauteur que le disque mince*

La Voie Lactée : une galaxie spirale

Composantes stellaires

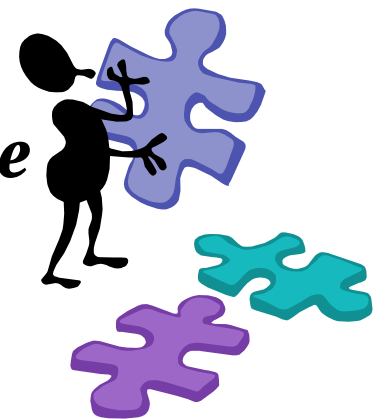
*Identification des populations qui
composent la Voie Lactée :
Structure et histoire de la Galaxie*



*Informations fossiles sur les phases de l'évolution
Galactique pour $z < 2$*

Types spectraux F, G, K : longue durée de vie

Etoiles géantes : grandes distances



Archéologie stellaire Galactique

1. Introduction: La Voie Lactée, une galaxie spirale

2. L'histoire de la Galaxie cachée dans ses populations stellaires :

âges

cinématique

abondances chimiques

3. La mission Gaia

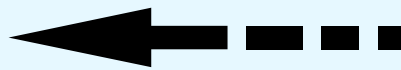
4. Conséquences pour les modèles d'évolution galactiques

Archéologie stellaire Galactique

1. Introduction: La Voie Lactée, une galaxie spirale

2. L'histoire de la Galaxie cachée dans ses populations stellaires :

âges



cinématique

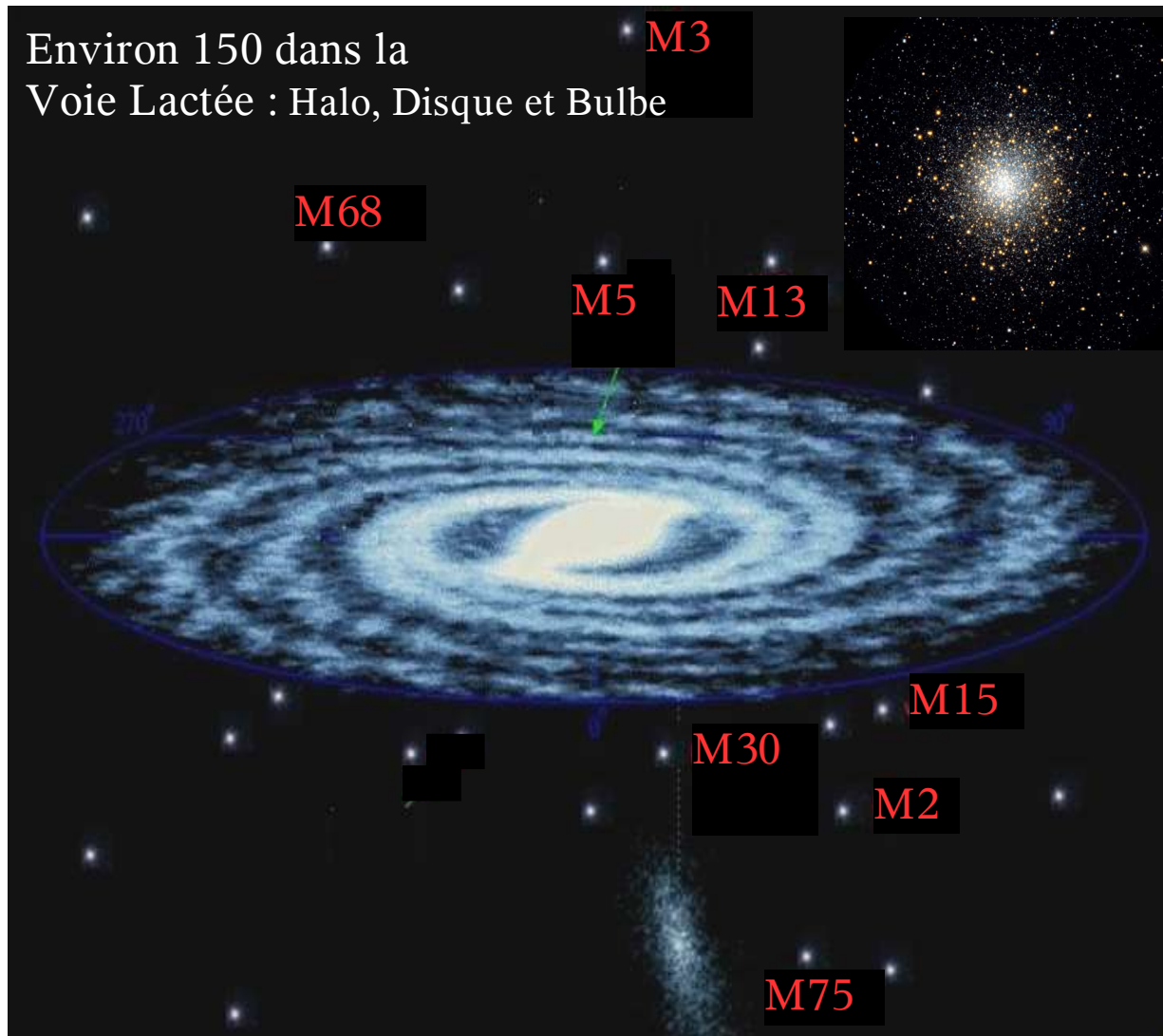
abondances chimiques

3. La mission Gaia

4. Conséquences pour les modèles d'évolution galactiques

Archéologie Galactique : AGES

Amas globulaires : une population stellaire Galactique



Traceurs de formation et évolution galactiques

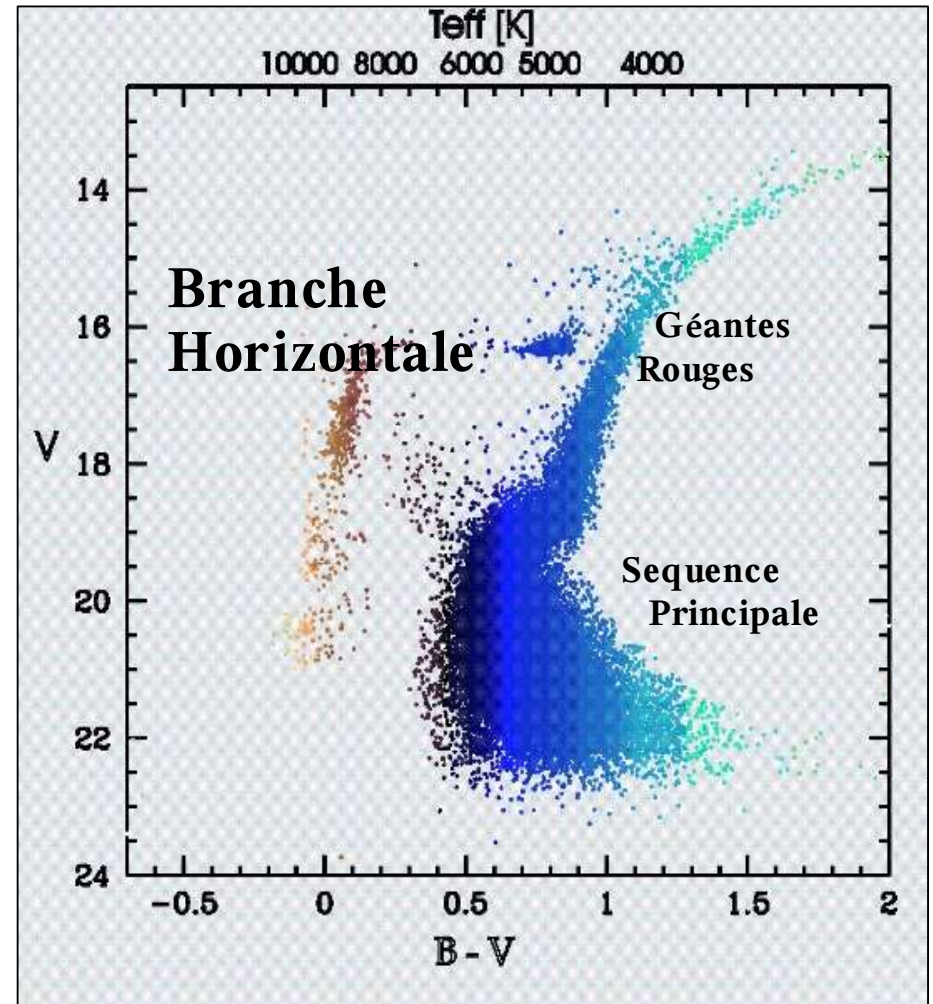
- *Traceurs de la structure du Halo (distances mesurables)*
- *Fossiles de l'époque de formation de la Voie Lactée (âges mesurables)*
- *Histoire enrichissement chimique*
- *Formation stellaire et accréation de matière*
- *Traceurs de la dynamique*

Archéologie Galactique : AGES

Amas globulaires : une population stellaire Galactique

Etoiles de la Branche Horizontale

Mesures distance et âge



Archéologie Galactique : AGES

Amas globulaires : une population stellaire Galactique

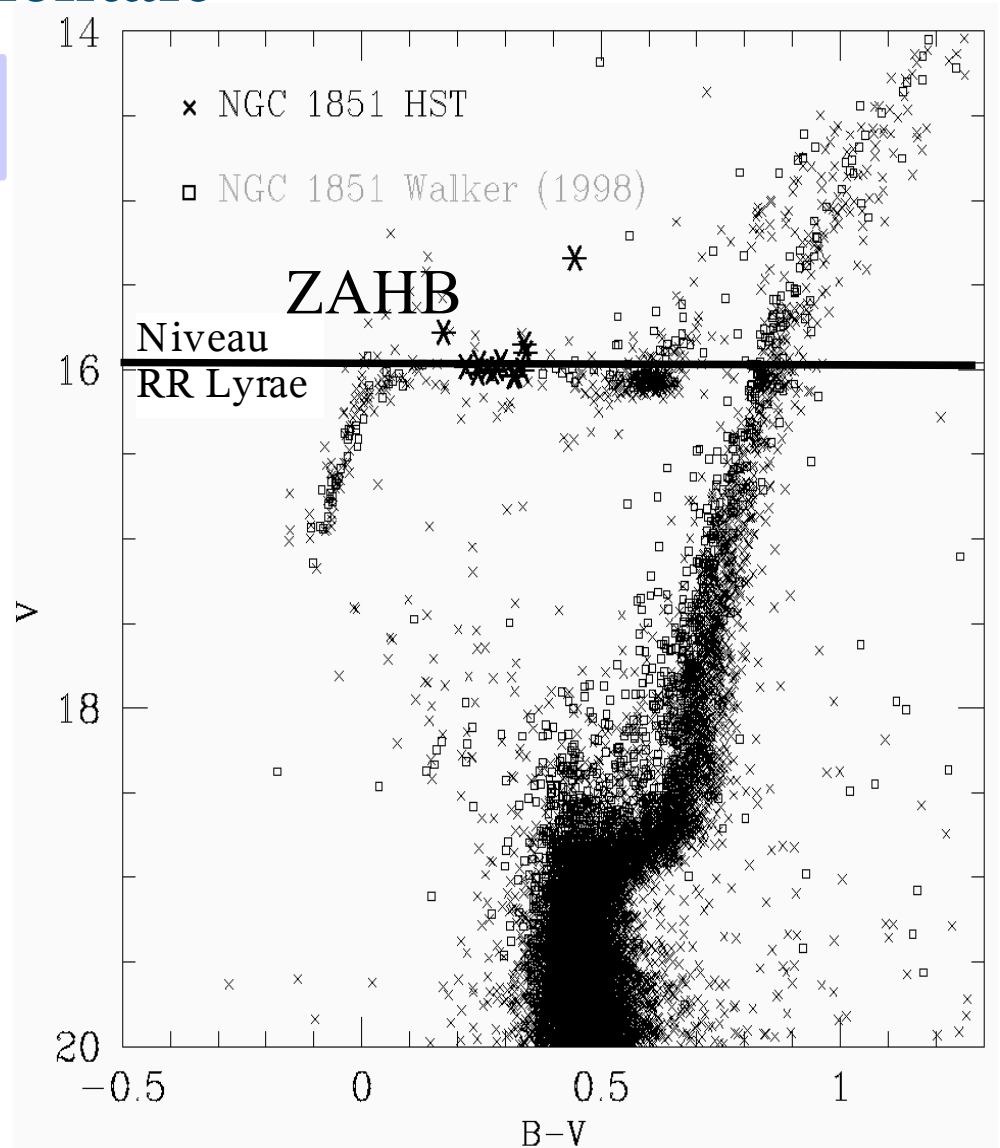
Etoiles de la Branche Horizontale

Mesures distance et âge

• Distance : $(m - M)_{\text{ZAHB}}$

Niveau des
RR Lyrae

Modèles



Archéologie Galactique : AGES

Amas globulaires : une population stellaire Galactique

Etoiles de la Branche Horizontale

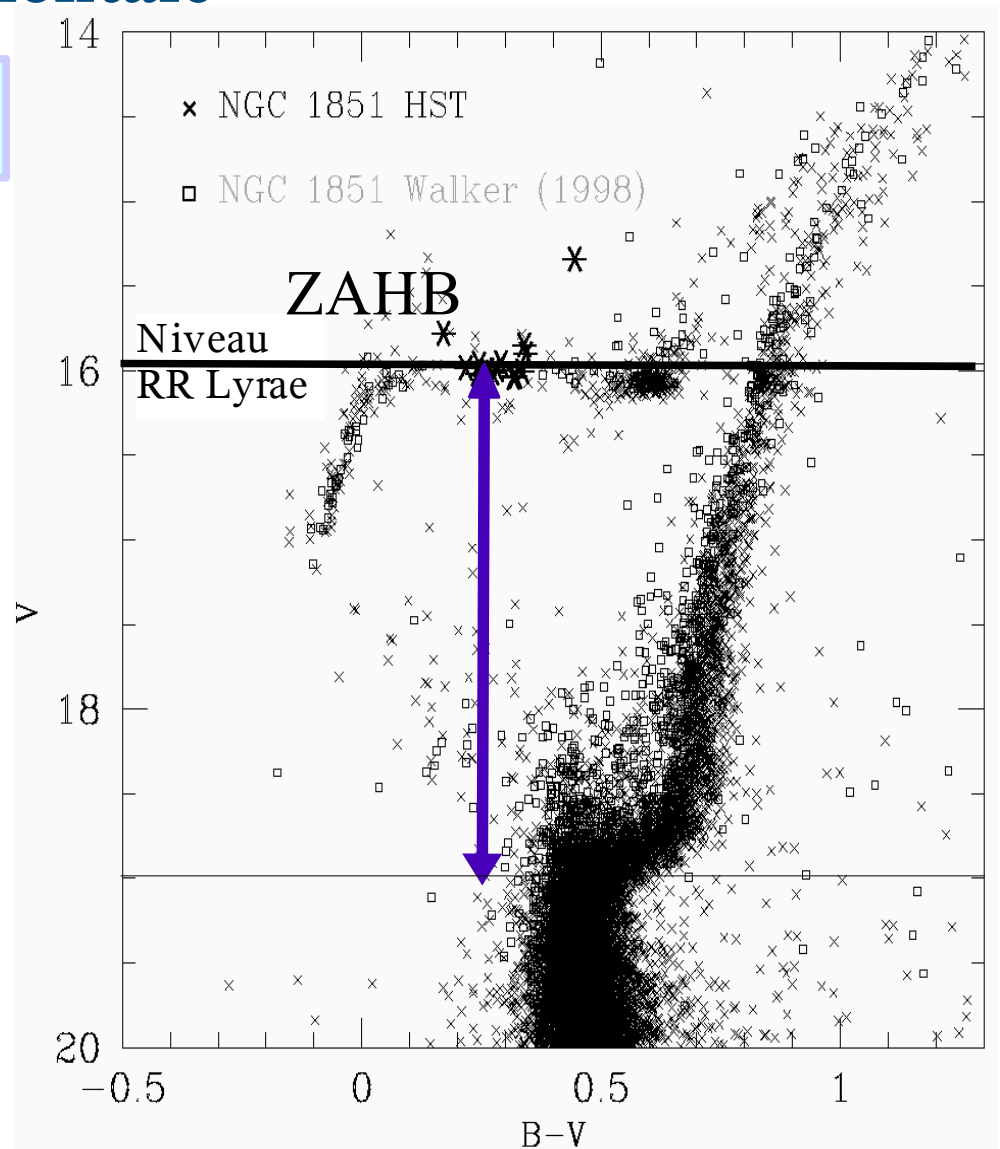
Mesures distance et âge

• Distance : $(m - M)_{\text{ZAHB}}$

Niveau des
RR Lyrae

Modèles

• Age relatif : $m_{\text{ZAHB}} - m_{\text{TO}}$



Archéologie Galactique : AGES

Amas globulaires : une population stellaire Galactique

Distances

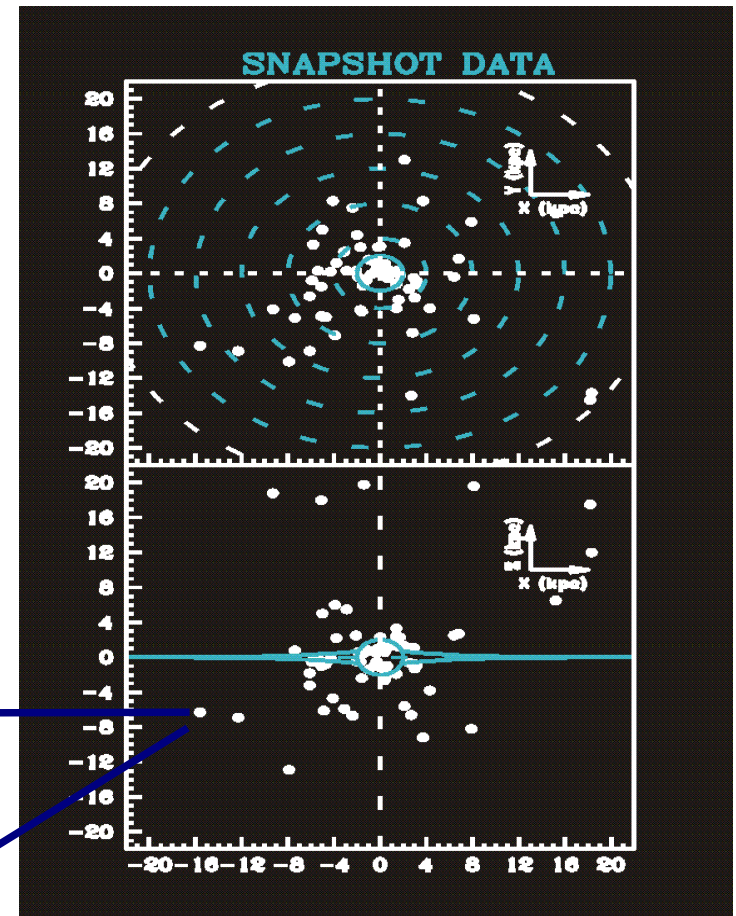
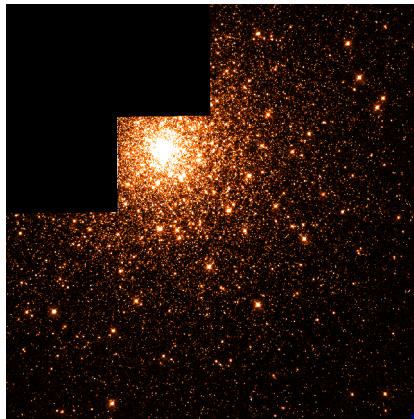
Recio-Blanco et al. (2005)

Données observationnelles

72 Amas Globulaires

HST/WFPC2 in F439W, F555W

PC sur le centre de l'amas



Archéologie Galactique : AGES

Amas globulaires : une population stellaire Galactique

Distances

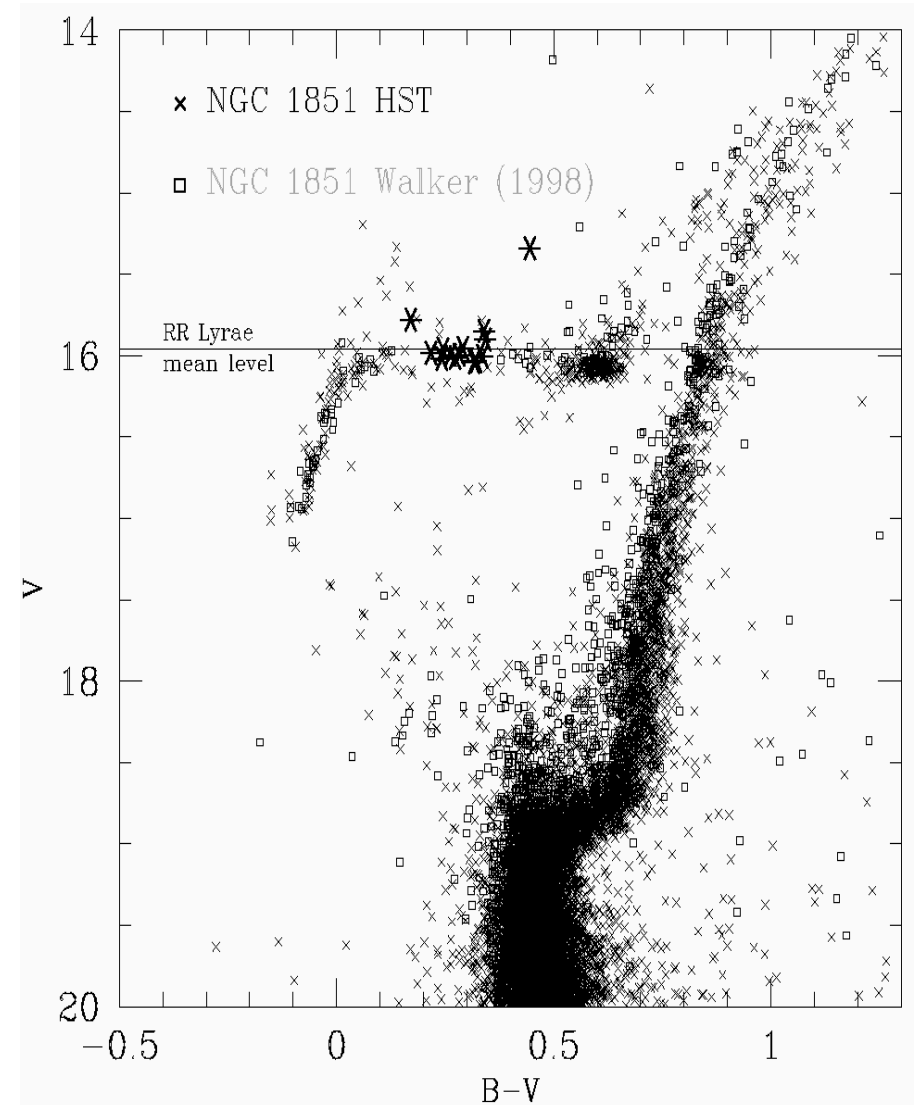
Recio-Blanco et al. (2005)

Dérivation de la magnitude apparente de la ZAHB

à partir du niveau des RR Lyrae

Modèles de Pietrinferni et al. (2004)

$$m_{F555W}^{ZAHB} = m_{F555W}^{RRLyrae} + 0.152 + 0.041 [M/H]$$



Archéologie Galactique : AGES

Amas globulaires : une population stellaire Galactique

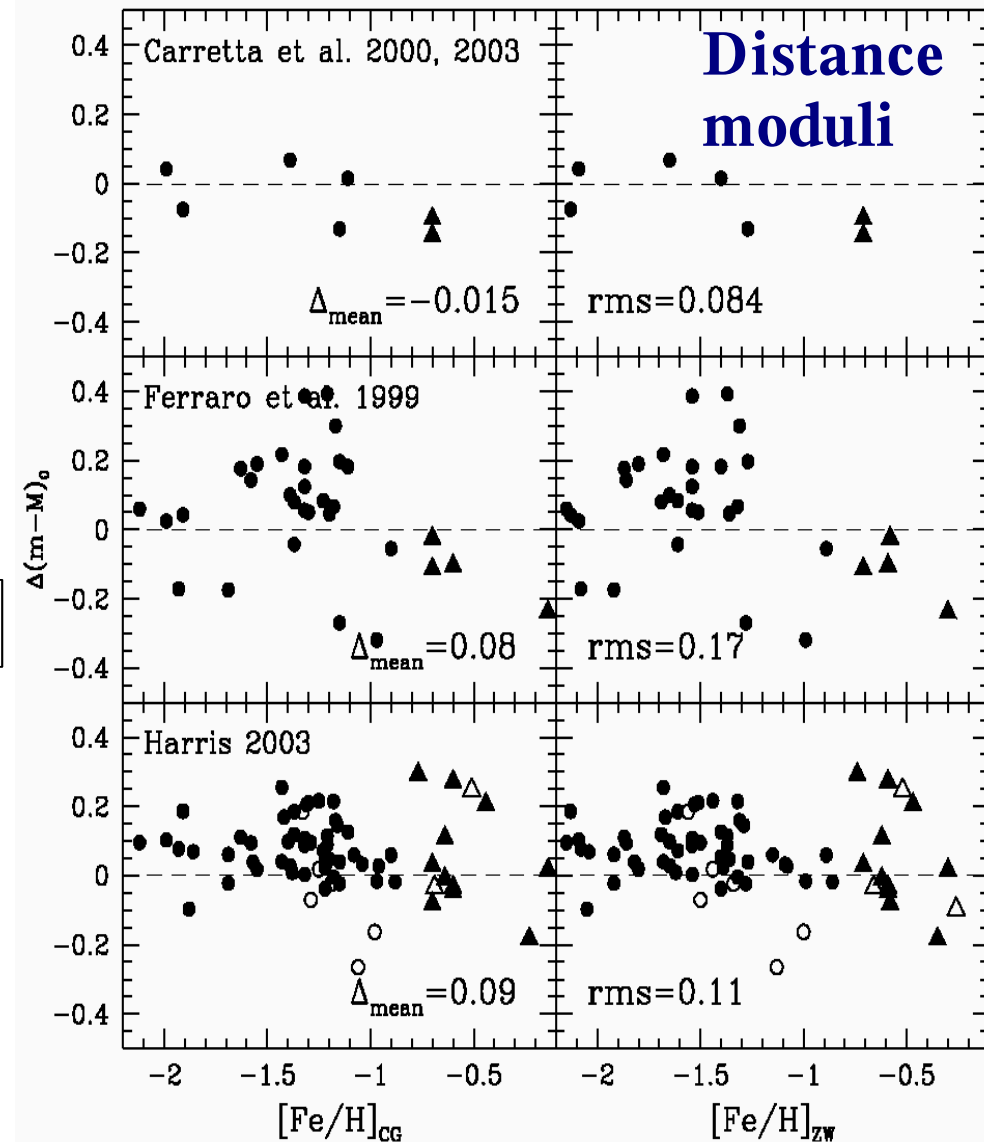
Distances

Recio-Blanco et al. (2005)

*Dérivation de la magnitude absolue de la ZAHB
à partir des modèles*

$$M_{F555W}^{ZAHB} = 0.981 + 0.410[M/H] + 0.061[M/H]$$

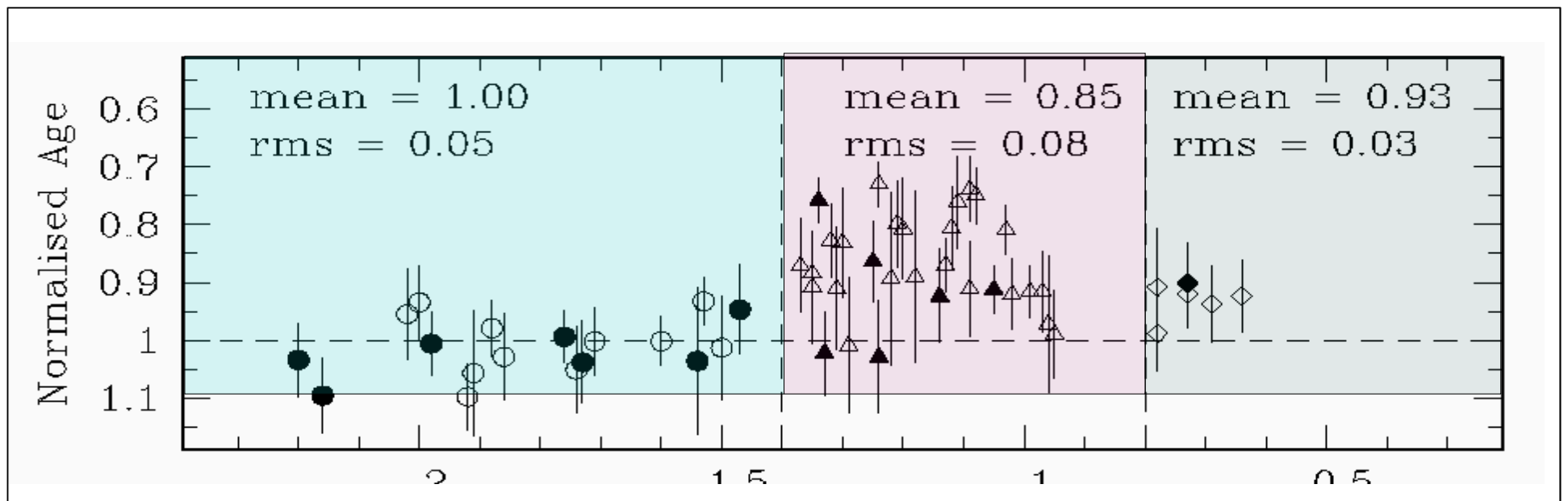
- *Modules de distances homogènes*
- *Distances relatives précises*



Archéologie Galactique : AGES

Amas globulaires : une population stellaire Galactique

- **Âges relatifs de 55 amas globulaires Galactiques**
(Photométrie HST) Recio-Blanco et al. (2005a), De Angeli,...Recio-Blanco et al. (2005)
 - Formation simultanée des premiers amas dans tout le halo.
 - Amas les plus riches en métaux formés plus tard



Archéologie Galactique : AGES

Problèmes ...

Exemple de 47 Tuc:

Recio-Blanco (2005)

reference	D [kpc]	method
Storm et al. (1994)	4.4±0.4	Baade-Wesselink
Reid (1998)	5.1±0.4	MS fitting
Carretta et al. (2000)	4.8±0.2	MS fitting
Zoccali et al. (2001)	4.2±0.3	WD fitting
Percival et al. (2002)	4.5±0.3	MS fitting
Gratton et al. (2003)	4.8±0.2	MS fitting
Recio-Blanco et al. (2005)	4.6± 0.3	ZAHB magnitude
De Angeli (2005)	4.62±0.08	Direct astrometry

D = 4.2-4.8 Kpc (5 dernières années)

Age (MS TO) => Différences de ~ 20% !

Trop grande incertitude pour une compréhension détaillée de l'époque de formation du Halo

Archéologie stellaire Galactique

1. Introduction: La Voie Lactée, une galaxie spirale

2. L'histoire de la Galaxie cachée dans ses populations stellaires :

âges

cinématique ← — — —

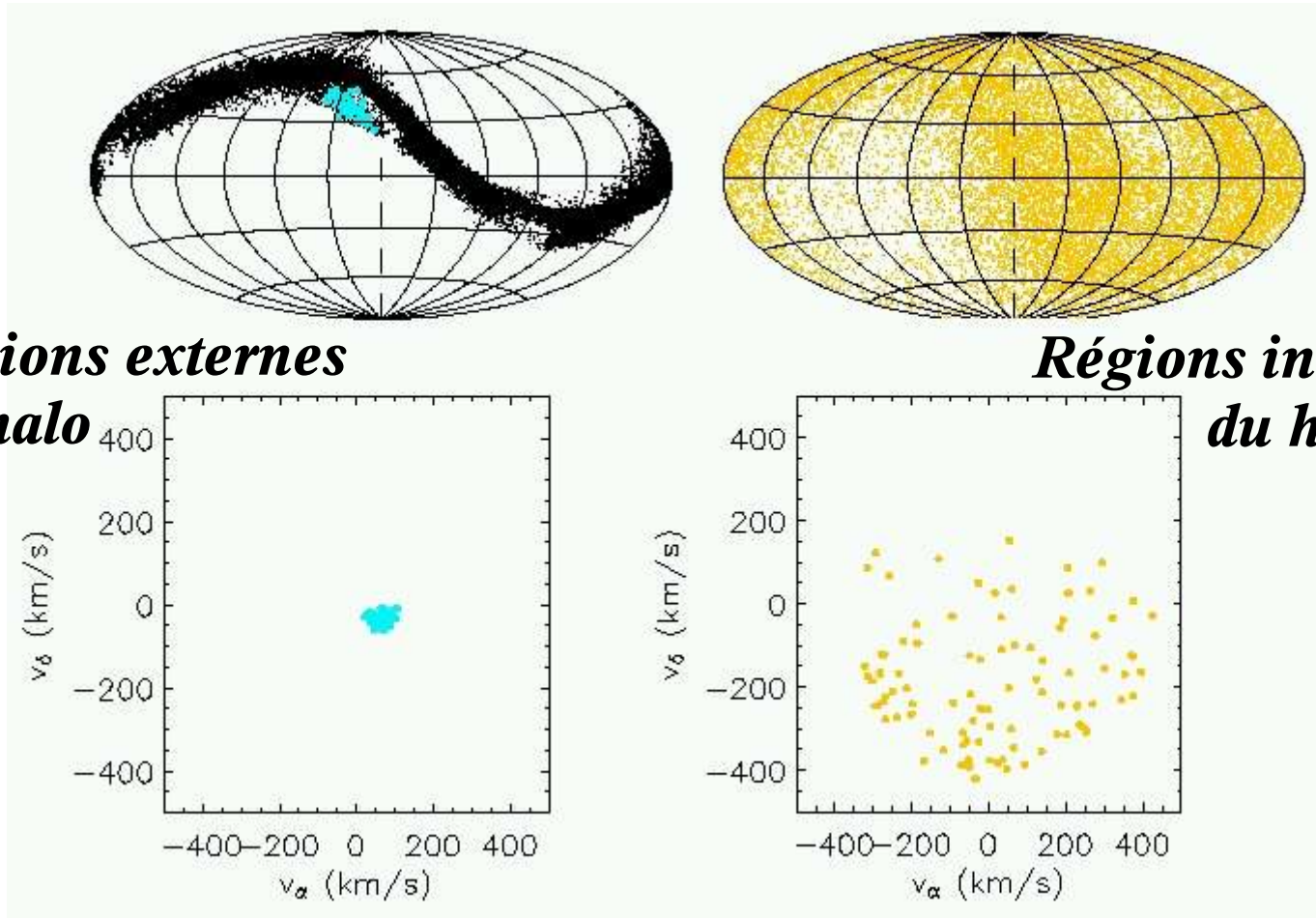
abondances chimiques

3. La mission Gaia

4. Conséquences pour les modèles d'évolution galactiques

Archéologie galactique : cinématique

Accrétion d'une galaxie satellite :

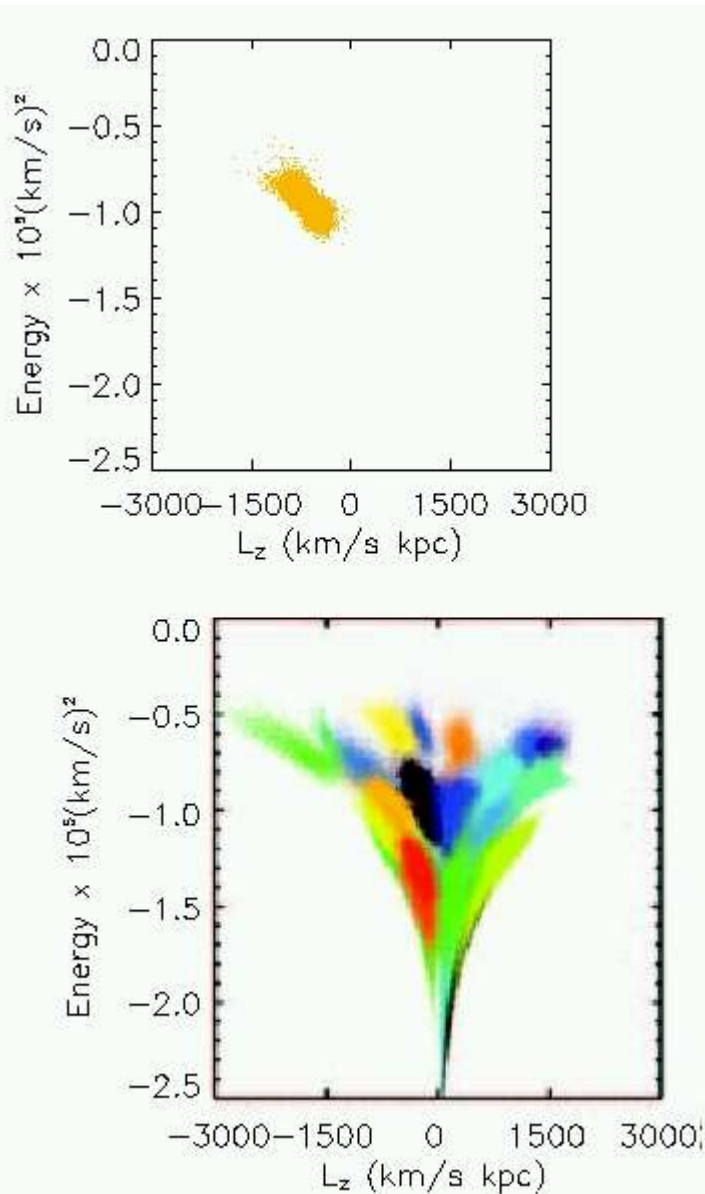


Helmi & de Zeeuw (2000)

Archéologie galactique : cinématique

Etoiles ayant une origine commune :

- ***Besoin des 3 composantes de la vitesse (mouvements propres et vitesse radiale)***
- ***Regroupement des populations dans l'espace des intégrales du mouvement (énergie, moment angulaire)***



Helmi & de Zeeuw (2000)

Archéologie galactique : cinématique

FORMATION DU DISQUE EPAIS

Gradients verticaux dans la structure galactique

$v_{rad} \Rightarrow$ vitesse azimuthale orbitale

4 nuits VLT (total de 8 nuits)
~ 1500 étoiles $16.0 < V < 18.5$

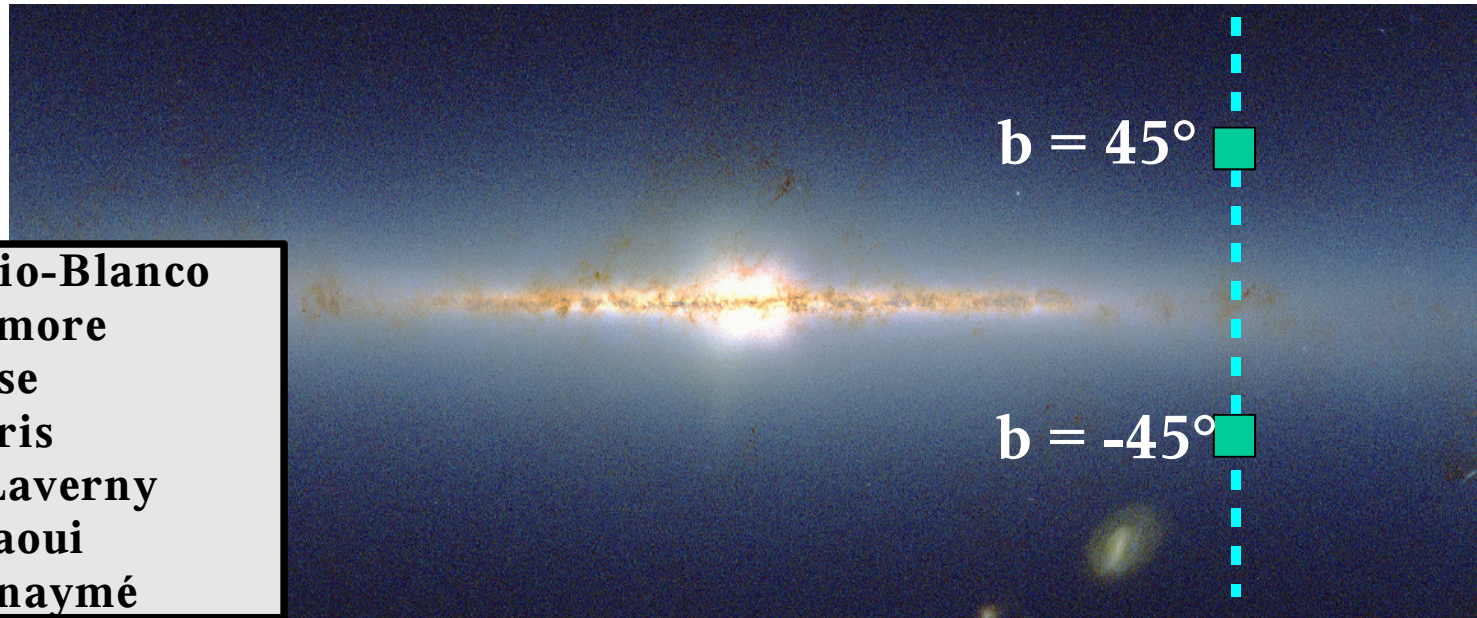
Spectrographe
multifibres
FLAMES

$l = 270^\circ$

P.I.: A. Recio-Blanco
CoIs: G. Gilmore
R. Wyse
J. Norris
P. de Laverny
A. Bijaoui
O. Bienaymé

$b = 45^\circ$

$b = -45^\circ$



Archéologie galactique : cinématique

FORMATION DU DISQUE EPAIS

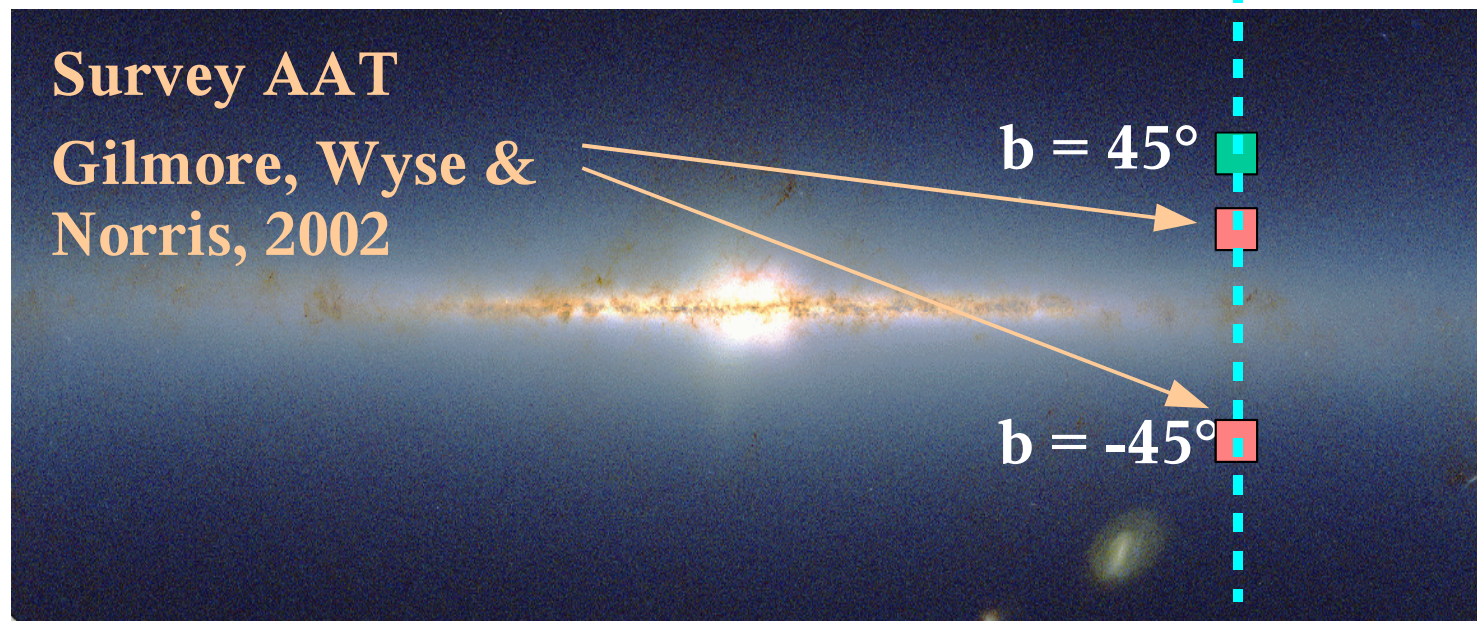
Gradients verticaux dans la structure galactique

$v_{rad} \Rightarrow$ vitesse azimuthale orbitale

4 nuits VLT (total de 8 nuits)

~ 1500 étoiles $16.0 < V < 18.5$

$l = 270^\circ$



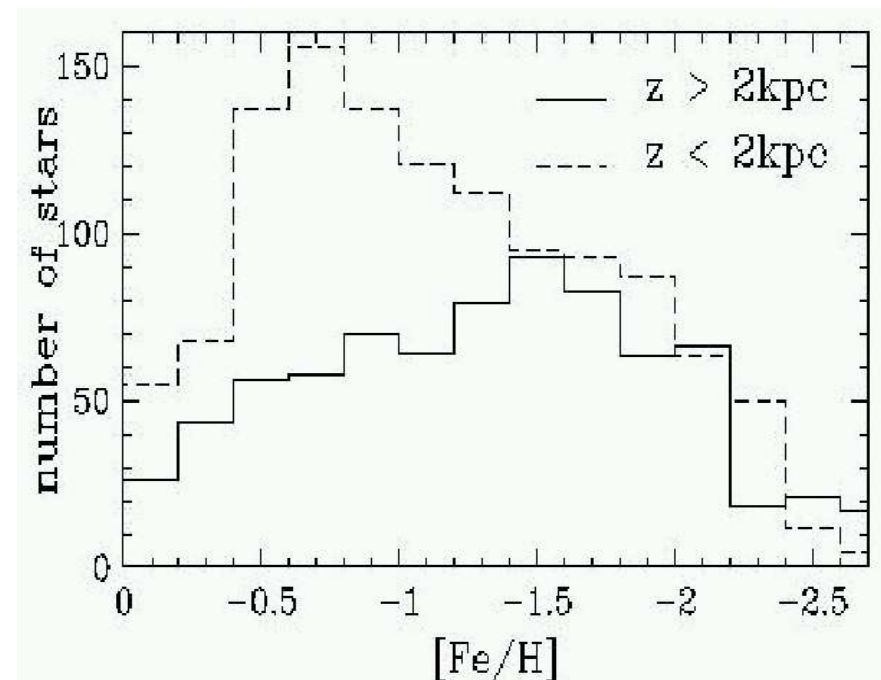
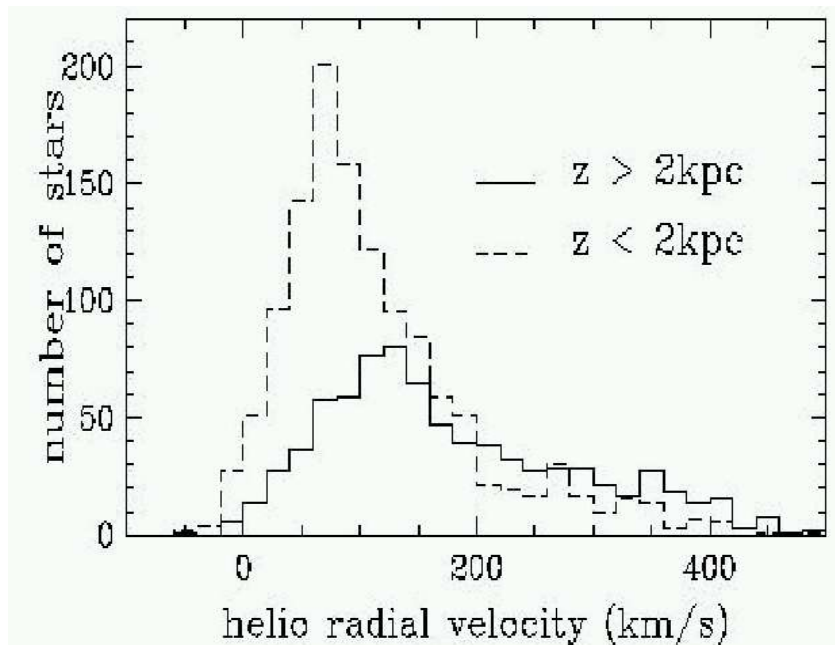
Archéologie galactique : cinématique

FORMATION DU DISQUE EPAIS

Accrétion d'un gros satellite :

Etoiles avec plus faible moment angulaire et dispersion plus importante

Mélange radial moins efficace loin du plan Galactique



Gilmore, Wyse & Norris (2002)

Archéologie galactique : cinématique

FORMATION DU DISQUE EPAIS

Mesure de vitesse radiale par corrélation-croisée
Abondances chimiques précises avec MATISSE

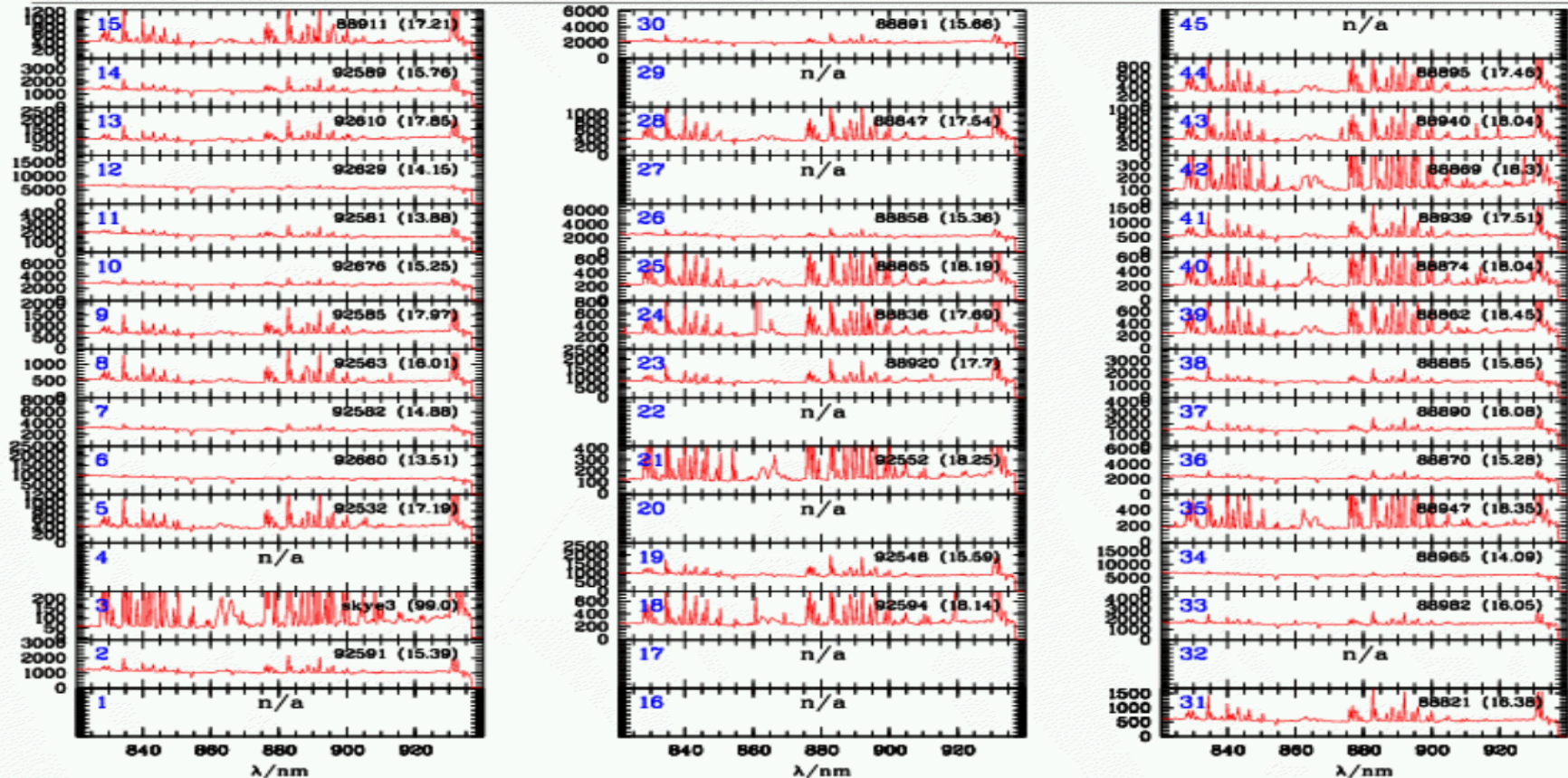
FLAMES/GIRAFFE: Spectral Overview

Configuration: Medusa2 LR 881.7 o2 (L881.7)

product: r.GIRAF.2005-05-06T23:34:22.750_0005.fits

OB NAME: Field1eHR

fibres 1 to 45



Archéologie stellaire Galactique

1. Introduction: La Voie Lactée, une galaxie spirale

2. L'histoire de la Galaxie cachée dans ses populations stellaires :

âges

cinématique

abondances chimiques ← — — — —

3. La mission Gaia

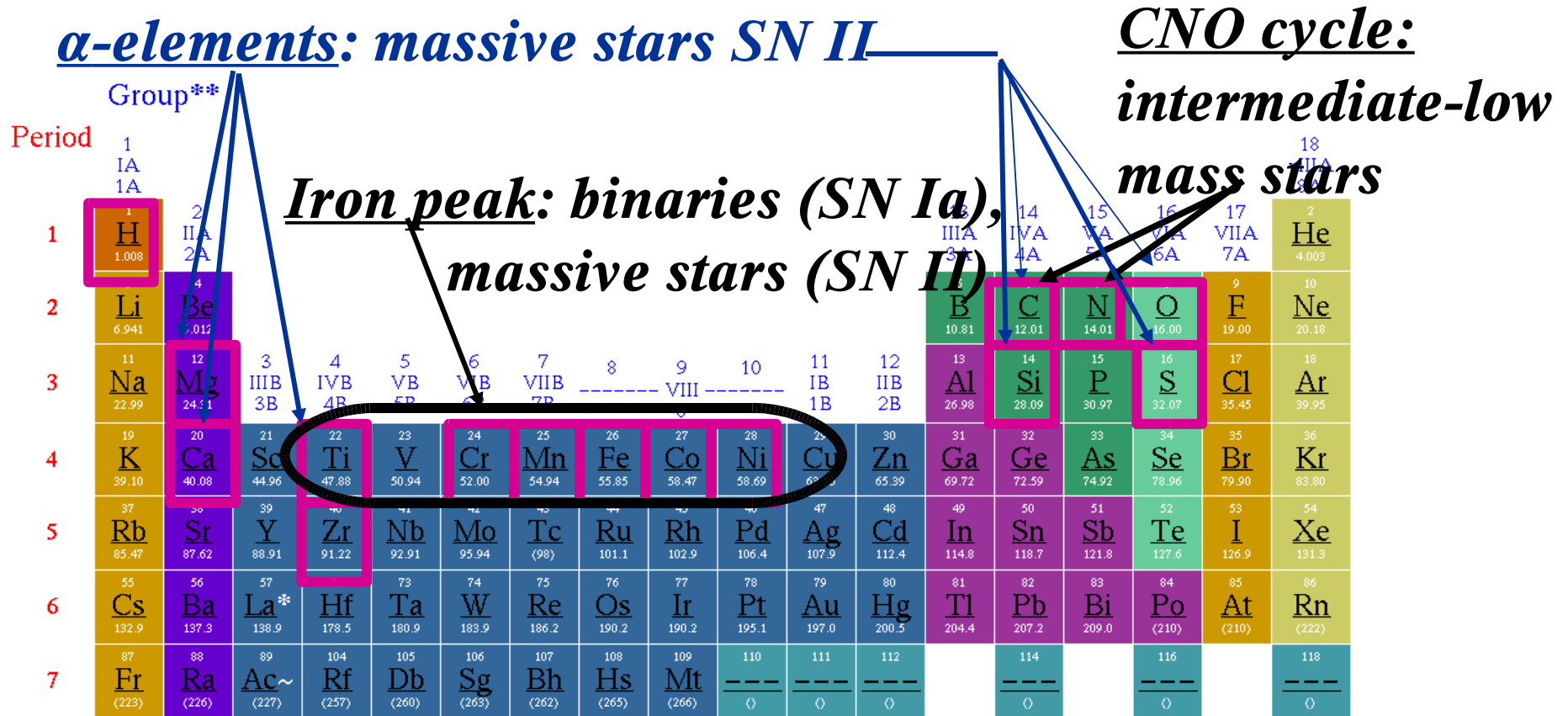
4. Conséquences pour les modèles d'évolution galactiques

Archéologie galactique : chimie

- *Evolution chimique de la Galaxie*
- *Identification des populations*
- *Echelles de temps de la formation stellaire :
Rapports d'abondances (ex. $[\alpha/\text{Fe}]$)*
- *Elements- α produits par les SN II d'étoiles massives
avec temps de vie courts (<10 Myr)*
- *Fer produit principalement par les SN I dans des
échelles de temps plus longues*



Archéologie galactique : chimie



Lanthanide Series*

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
140.1	140.9	144.2	(147)	150.4	152.0	157.3	158.9	162.5	164.9	167.3	168.9	173.0	175.0

Actinide Series~

90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
232.0	(231)	(238)	(237)	(242)	(243)	(247)	(247)	(249)	(254)	(253)	(256)	(254)	(257)

n -capture elements, s -process: intermediate mass (AGB)
 r -process: massive stars SN II

Archéologie galactique : chimie

Information chimique :

Complément nécessaire aux relevés d'archéologie galactique

Techniques automatiques de paramétrisation avec analyse chimique

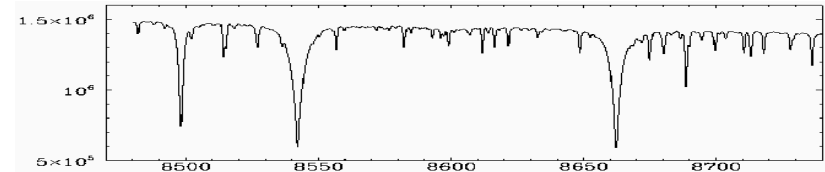
($\theta = T_{\text{eff}}, \log g, [M/H], \text{abondances chimiques}, \dots)$

Archéologie galactique : chimie

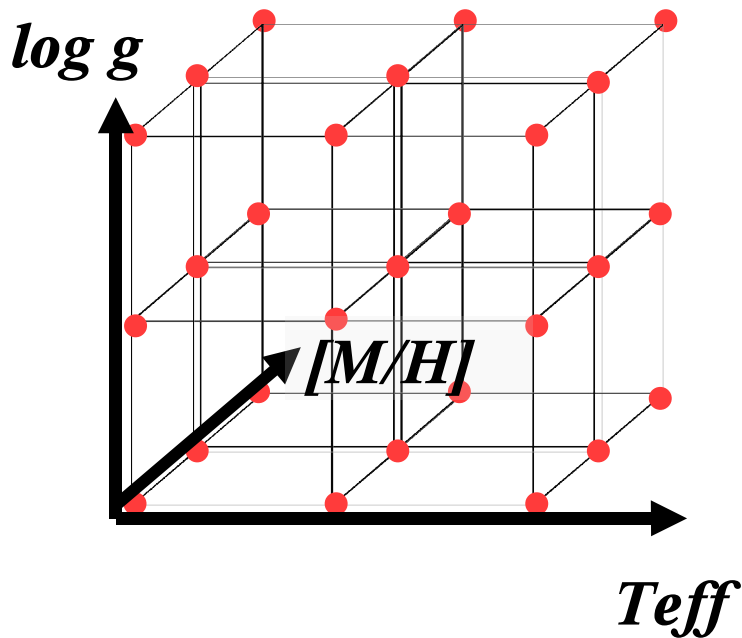
Algorithme *MATISSE* : *MATrix Inversion for Spectral SynthEsis*

$$\theta = a \sum B(\lambda) R(\lambda)$$

Spectre observé



Combinaison de spectres théoriques



• *Dimensions:*

10000 spectres

(Recio-Blanco, de Laverny & Plez, 2005, Note technique ESA)

- Paramètres atmosphériques:

Teff, log g, [M/H]

- [α/Fe]

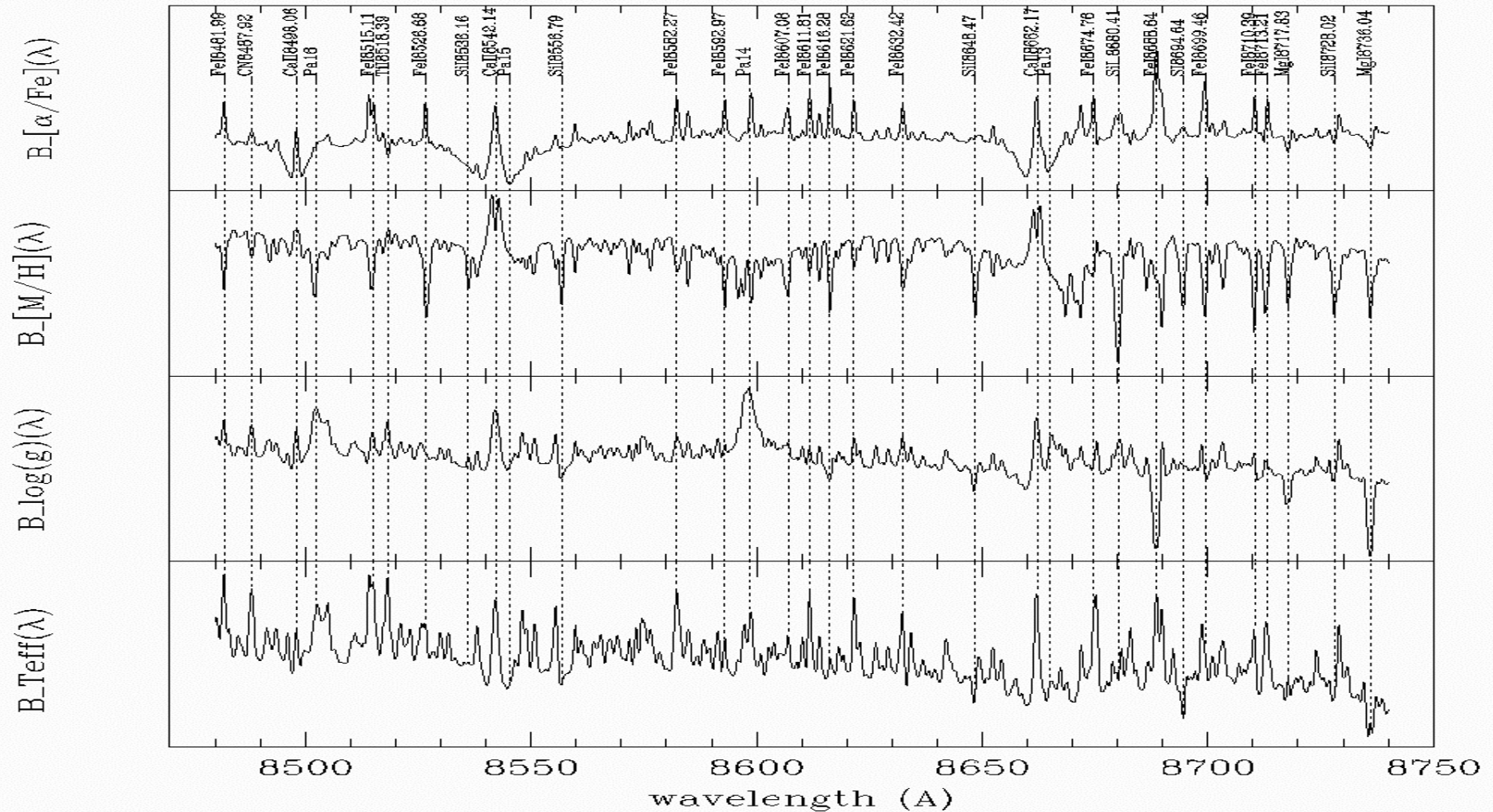
- [Ca/H], [Mg/H], [Si/H], [Ti/H],...

Recio-Blanco, Bijaoui & de Laverny (2006)

Archéologie galactique : chimie

$$\theta = a \sum B(\lambda) R(\lambda)$$

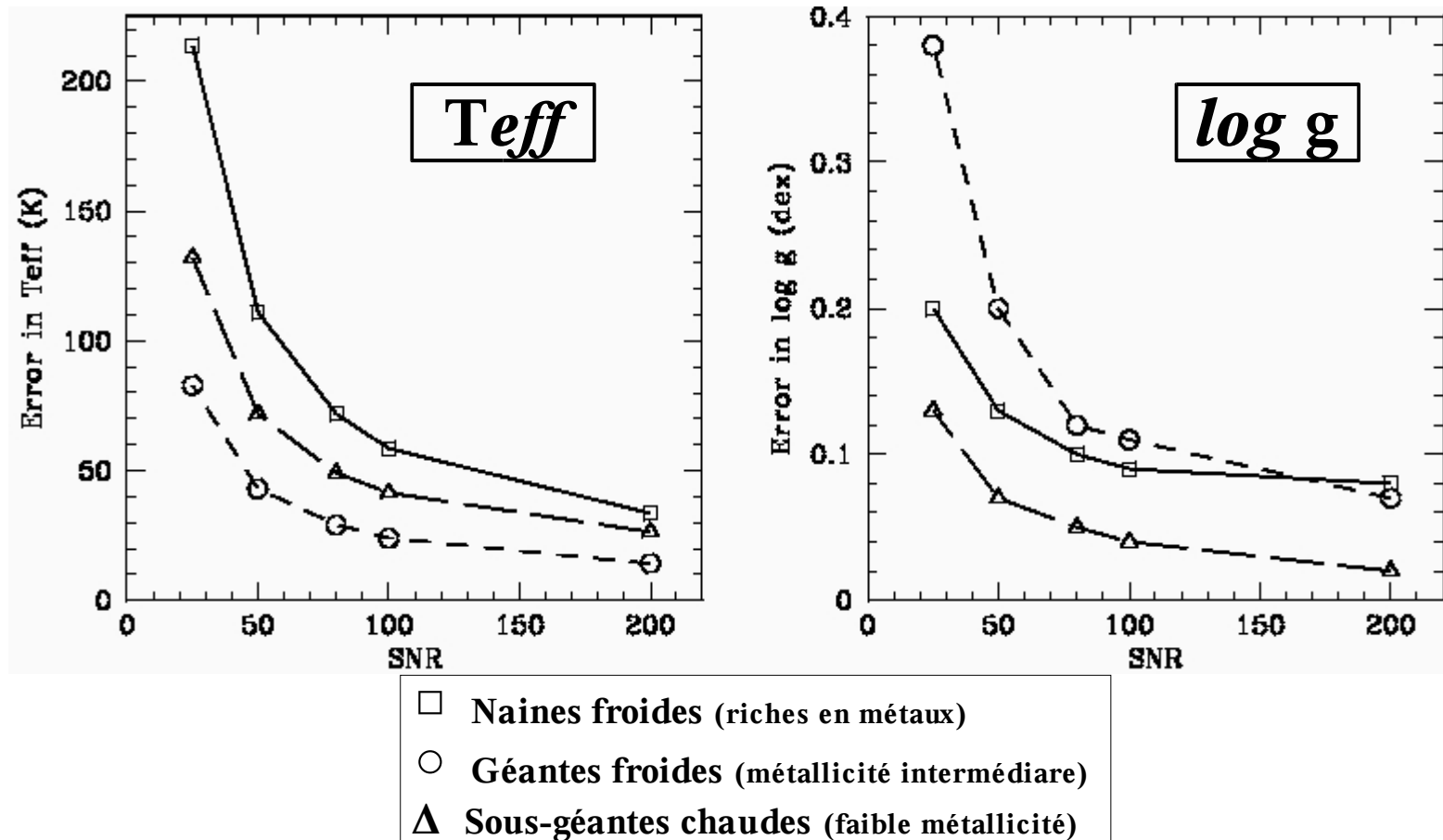
Spectre observé



Archéologie galactique : chimie

Performances pour le domaine et la résolution de Gaia/RVS

Flux normalisé

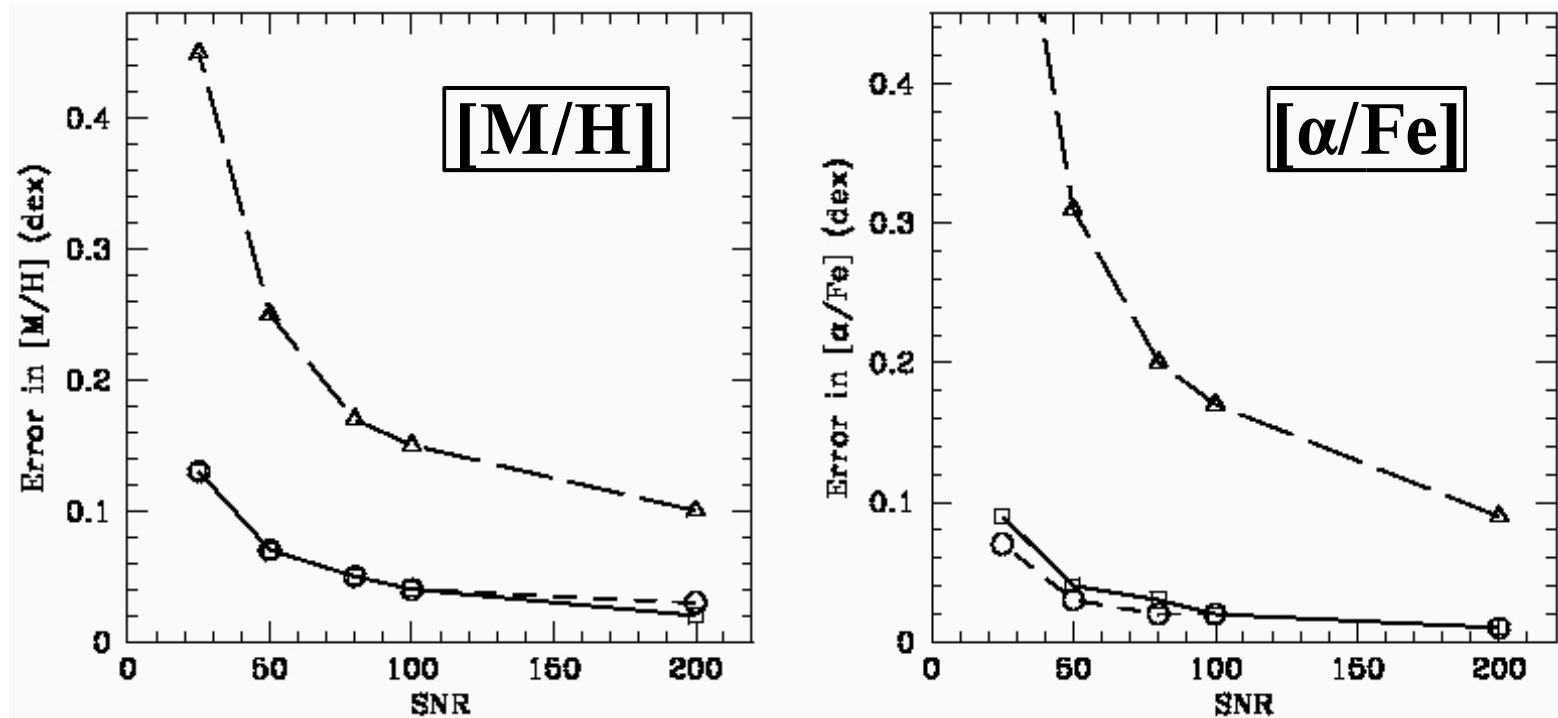


Recio-Blanco, Bijaoui & de Laverny (2006)

Archéologie galactique : chimie

Performances pour le domaine et la résolution de Gaia/RVS

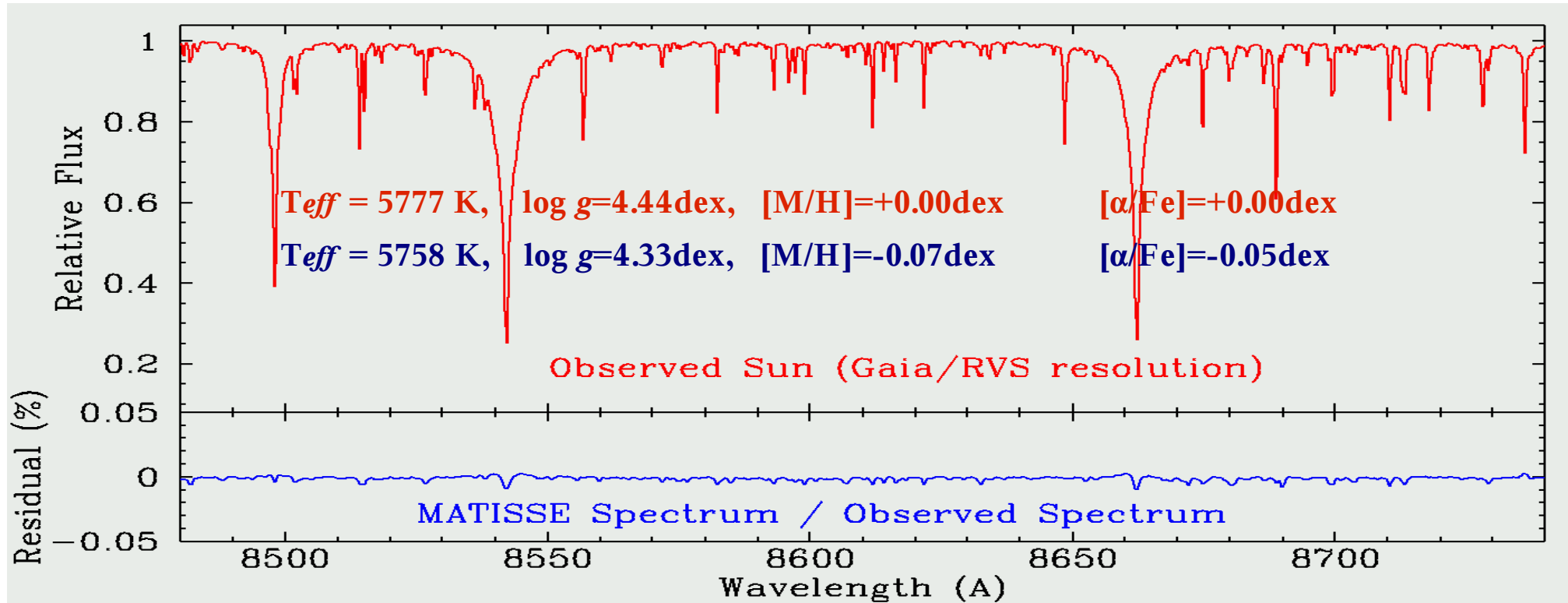
Flux normalisé



Recio-Blanco, Bijaoui & de Laverny (2006)

Précision sur $[\alpha/Fe]$ suffisante pour les modèles galactiques

Archéologie galactique : chimie



- *Très rapide: Analyse de 10^8 étoiles (estimation de 6 paramètres) en quelques heures sur un opteron*
- *Applicable à d'autres domaines et résolutions spectrales*

Archéologie galactique : chimie

La règle d'or :

Les abondances chimiques de surface de l'étoile reflètent celles du milieu interstellaire au moment de sa formation



Archéologie galactique : chimie

Quand la règle d'or ne s'applique pas: Anomalies d'abondances chimiques

- Diffusion et lévitation radiative (Données UVES,FLAMES+VLT)
- Mélanges et processus de transport non-standards
(Programme ISAAC+VLT avec P. de Laverny)
- Pollution par d'anciennes générations d'étoiles
(Programme FLAMES+VLT avec E. Carretta et R. Gratton)
- ☹ *Erreurs dans l'interprétation des abondances chimiques stellaires dans le cadre de l'évolution chimique de la Galaxie*

Archéologie galactique : chimie

- **Lévitiation radiative des métaux (branche horizontale)**

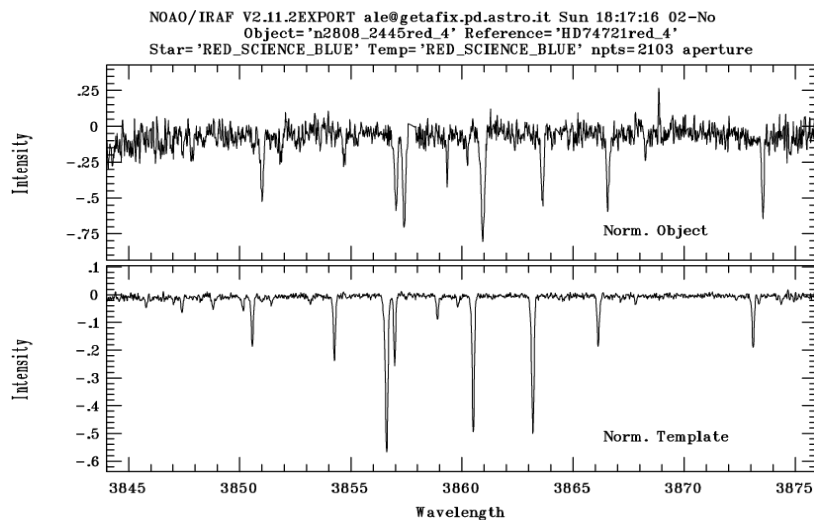
Recio-Blanco et al. (2002, 2005), Fabian, Recio-Blanco et al. (2005)

Pace, Recio-Blanco et al. (2006)

Ultraviolet Visual Echelle Spectrograph (UVES) + VLT :
61 étoiles chaudes de BH de 4
amas globulaires

Fe, Ti, Cr, P, Mn...

Surabondances de certains
métaux (400-1000 fois) pour
les étoiles les plus chaudes



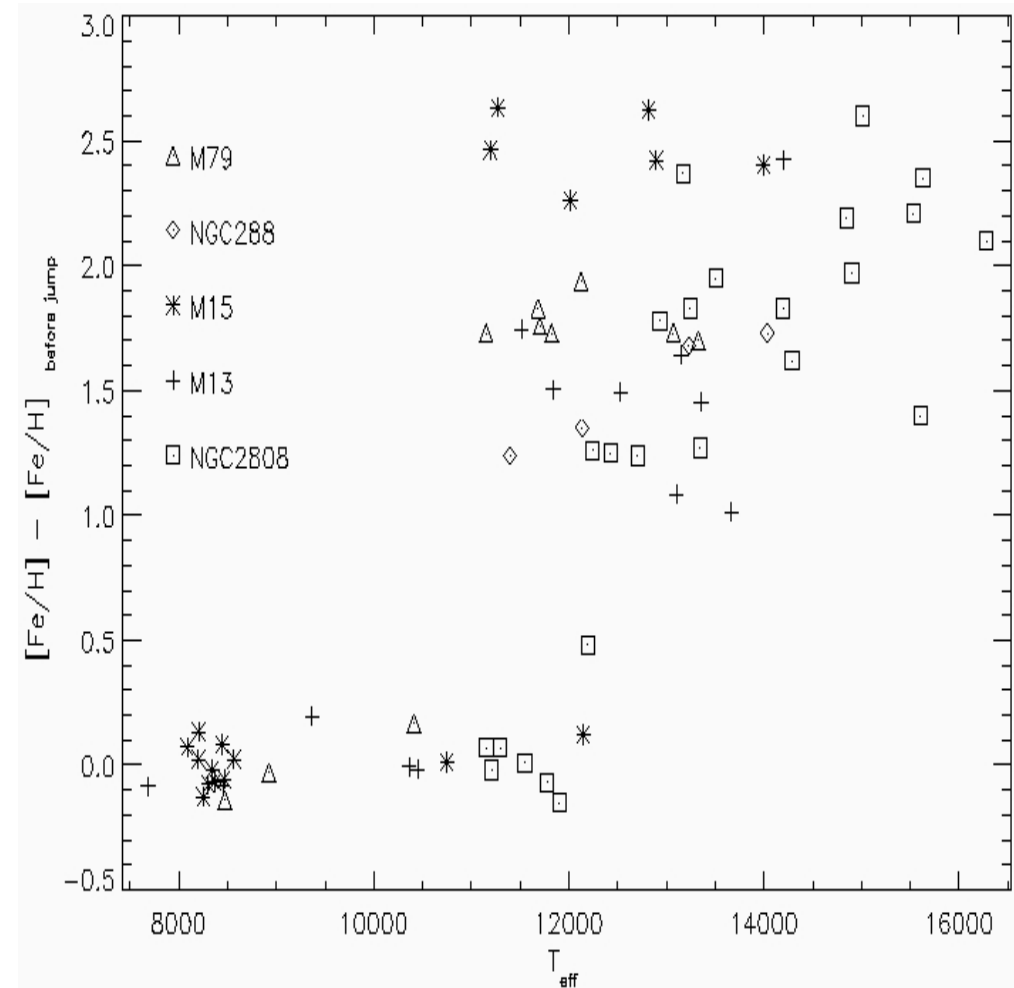
Archéologie galactique : chimie

- **Lévitiation radiative des métaux (branche horizontale)**

Recio-Blanco et al. (2002, 2005), Fabian, Recio-Blanco et al. (2005)

Pace, Recio-Blanco et al. (2006)

Découverte d'une dépendance des anomalies chimiques avec la métallicité initiale ?



Archéologie galactique : chimie

- **Erreurs < 0.1 dex nécessaires pour contraindre les modèles d'évolution chimique galactique (Haywood, 2005)**
- **Besoin de modéliser les anomalies chimiques pour bien interpréter les abondances stellaires en termes d'évolution chimique galactique :**

Ex. lévitation radiative:

Dependances avec T_{eff} et $[M/H]$

Archéologie stellaire Galactique

- 1. Introduction: La Voie Lactée, galaxie spirale*
- 2. L'histoire de la Galaxie cachée dans ses populations stellaires :*
 - âges*
 - cinématique*
 - abondances chimiques*
- 3. La mission Gaia***
- 4. Conséquences pour les modèles d'évolution galactiques*

Histoire de la Voie Lactée

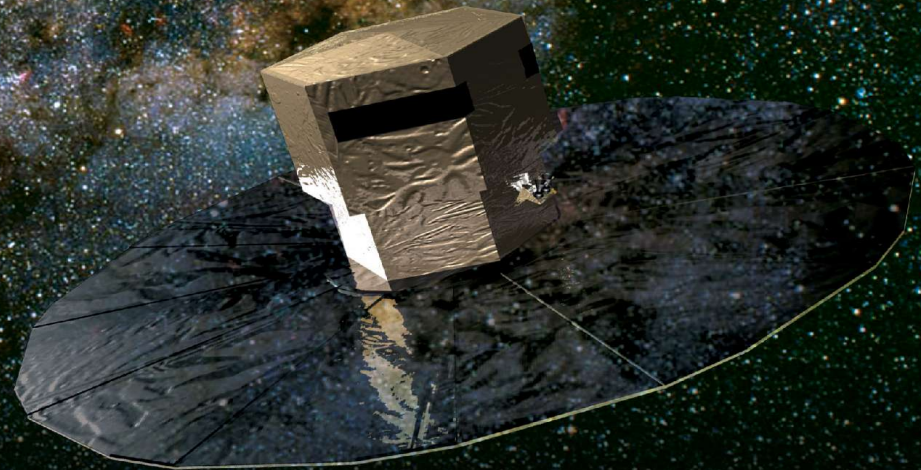
Gaia : une carte 3D de la Voie Lactée

Pierre angulaire de l'ESA

Lancement : Fin 2011

Durée de la mission : 5 ans

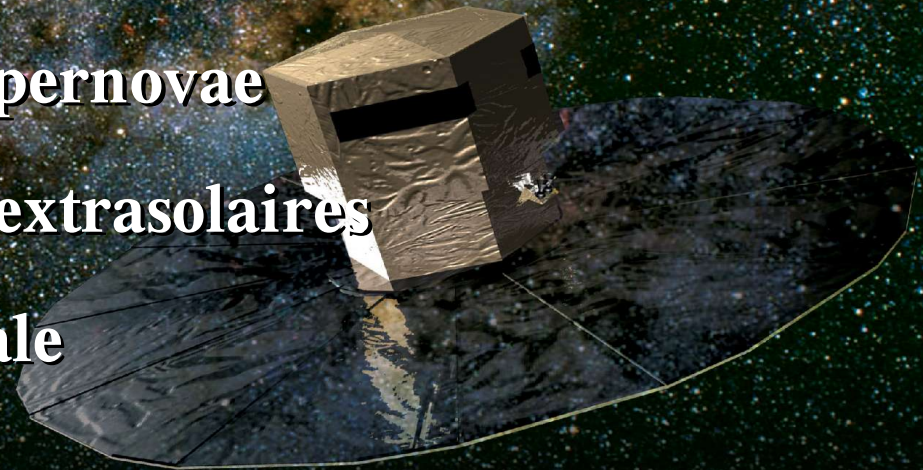
En phase de construction



Histoire de la Voie Lactée

Gaia : une carte 3D de la Voie Lactée

- **Cartographie de la Galaxie: positions + vitesses**
- **Courbe de rotation Galactique**
- **Distribution de matière noire**
- **Etude des différentes phases de l'évolution stellaire**
- **Détection de petits corps du Système Solaire**
- **Détection de quasars et supernovae**
- **Identification de planètes extrasolaires**
- **Test de la relativité générale**

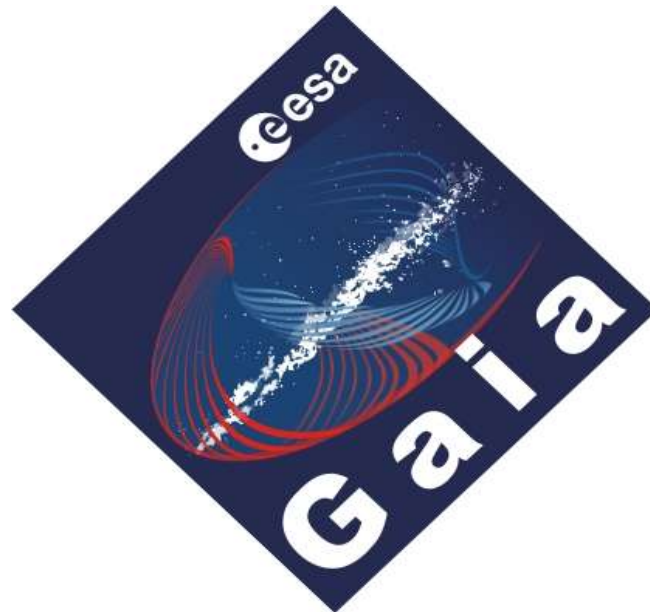


Histoire de la Voie Lactée

Gaia : une carte 3D de la Voie Lactée

Astrométrie

Spectro-photométrie



Spectroscopie

Histoire de la Voie Lactée

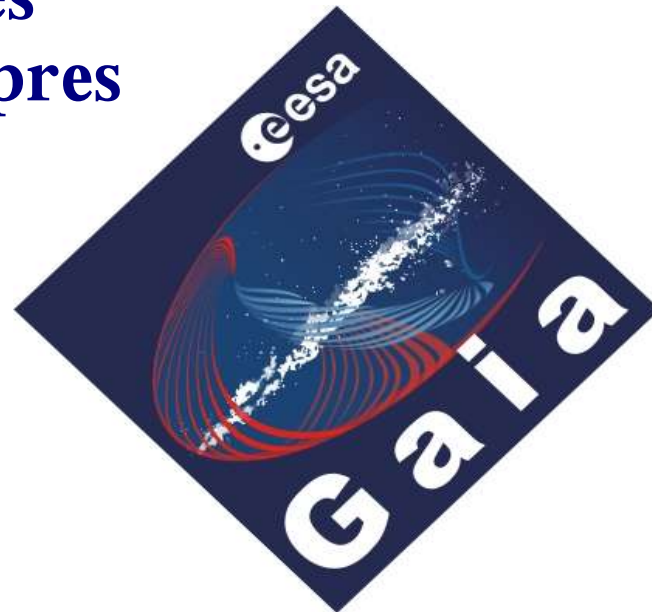
Gaia : une carte 3D de la Voie Lactée

Astrométrie

Distances absolues

Mouvements propres

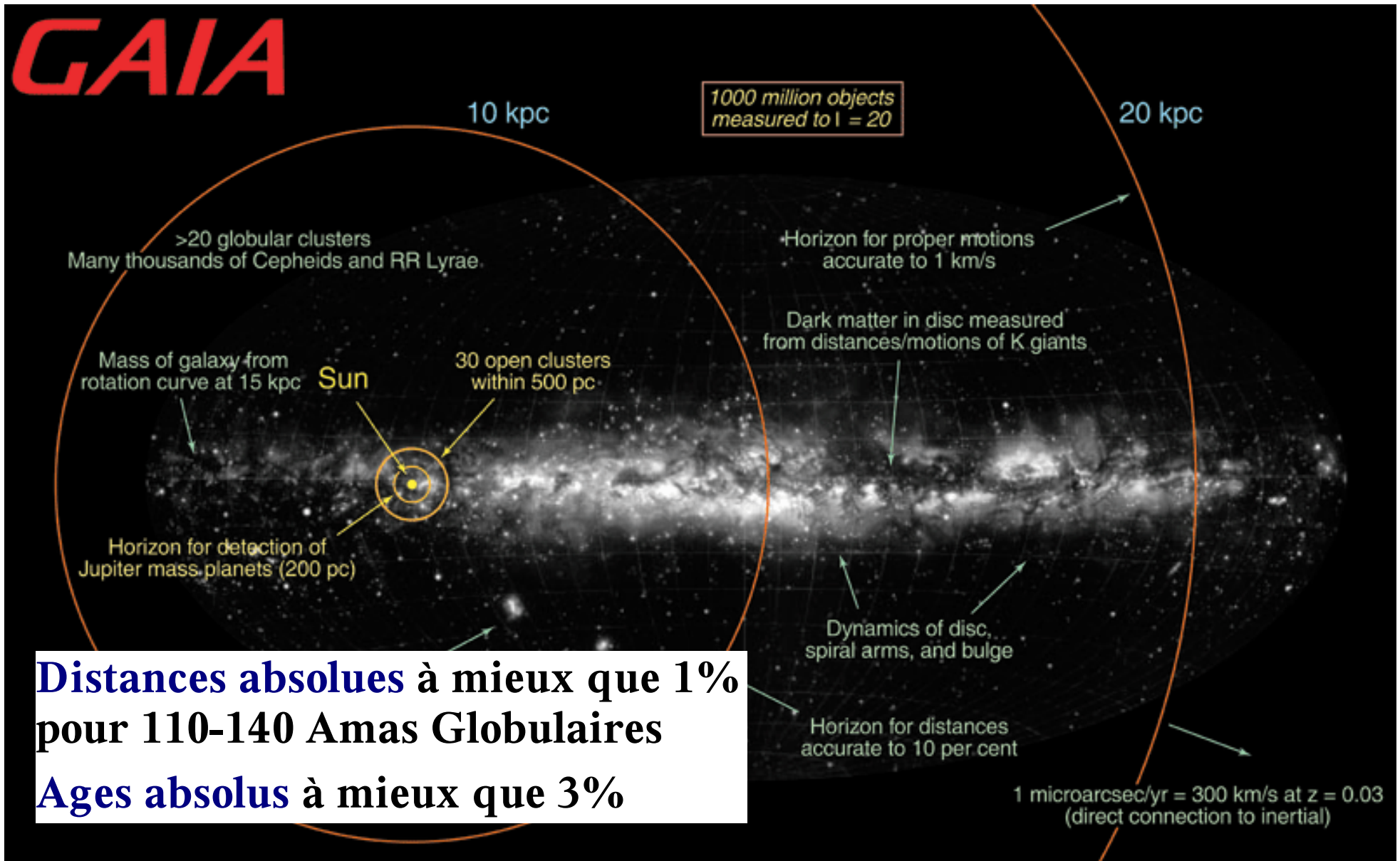
Spectro-photométrie



Spectroscopie

Histoire de la Voie Lactée

Gaia : une carte 3D de la Voie Lactée



Histoire de la Voie Lactée

Gaia : une carte 3D de la Voie Lactée

Astrométrie

Distances absolues

Mouvements propres

Spectro-photométrie

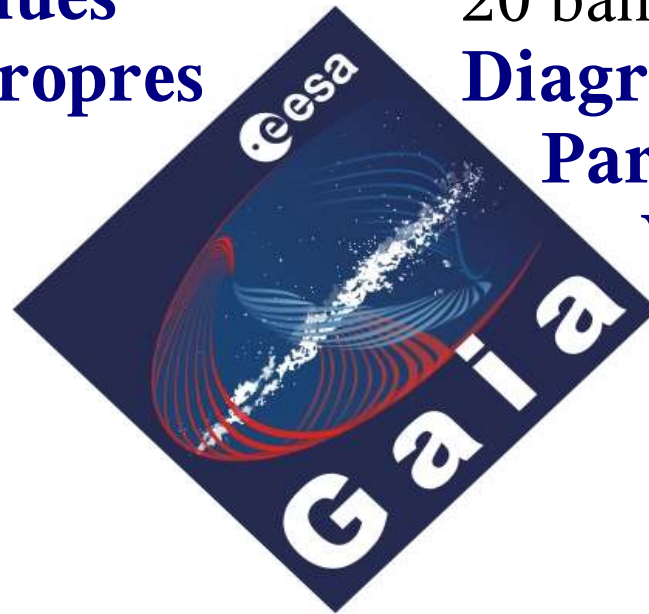
20 bandes (10 nm/pixel)

Diagrammes couleur-magnitude

Paramètres atmosphériques

Variabilité

Ages



Spectroscopie

Histoire de la Voie Lactée

Gaia : une carte 3D de la Voie Lactée

Astrométrie

Distances absolues

Mouvements propres

Spectro-photométrie

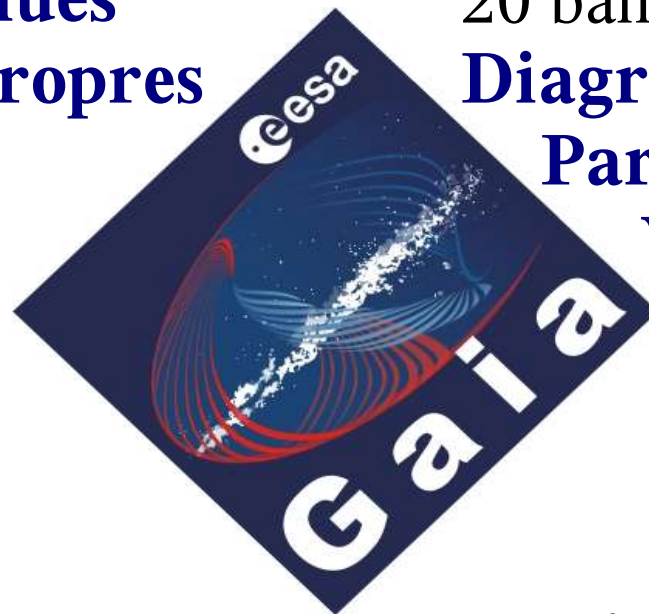
20 bandes (10 nm/pixel)

Diagrammes couleur-magnitude

Paramètres atmosphériques

Variabilité

Ages



Spectroscopie

R=11500 et 5000 8475-8745Å

Vitesse radiale

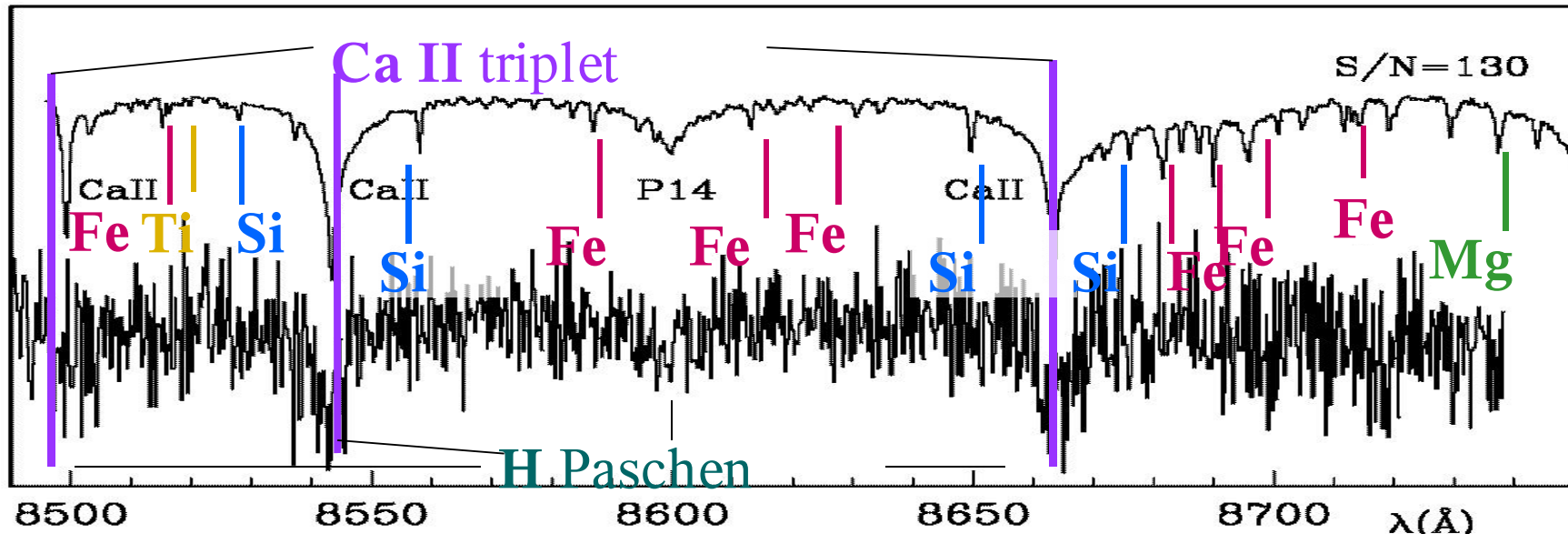
Paramètres atmosphériques

Abondances chimiques

Histoire de la Voie Lactée

Gaia : une carte 3D de la Voie Lactée

Radial Velocity Spectrometer (RVS)



- Mesures de vitesse radiale multiépoques
- Paramètres atmosphériques des étoiles
- Abondances chimiques individuelles : fer, titane, éléments alpha
- Diffuse Interstellar Band 862 nm
- Rotation
- Paramètres physiques de galaxies non résolues

Histoire de la Voie Lactée

Gaia : une carte 3D de la Voie Lactée

Radial Velocity Spectrometer

Analyse automatique des données spectrales de Gaia

MATISSE

- *Responsable de l'unité de développement*

Generalized Stellar Parametrizer-spectroscopy (GSP-spec)

- *Détermination de:*

Température effective

Gravité

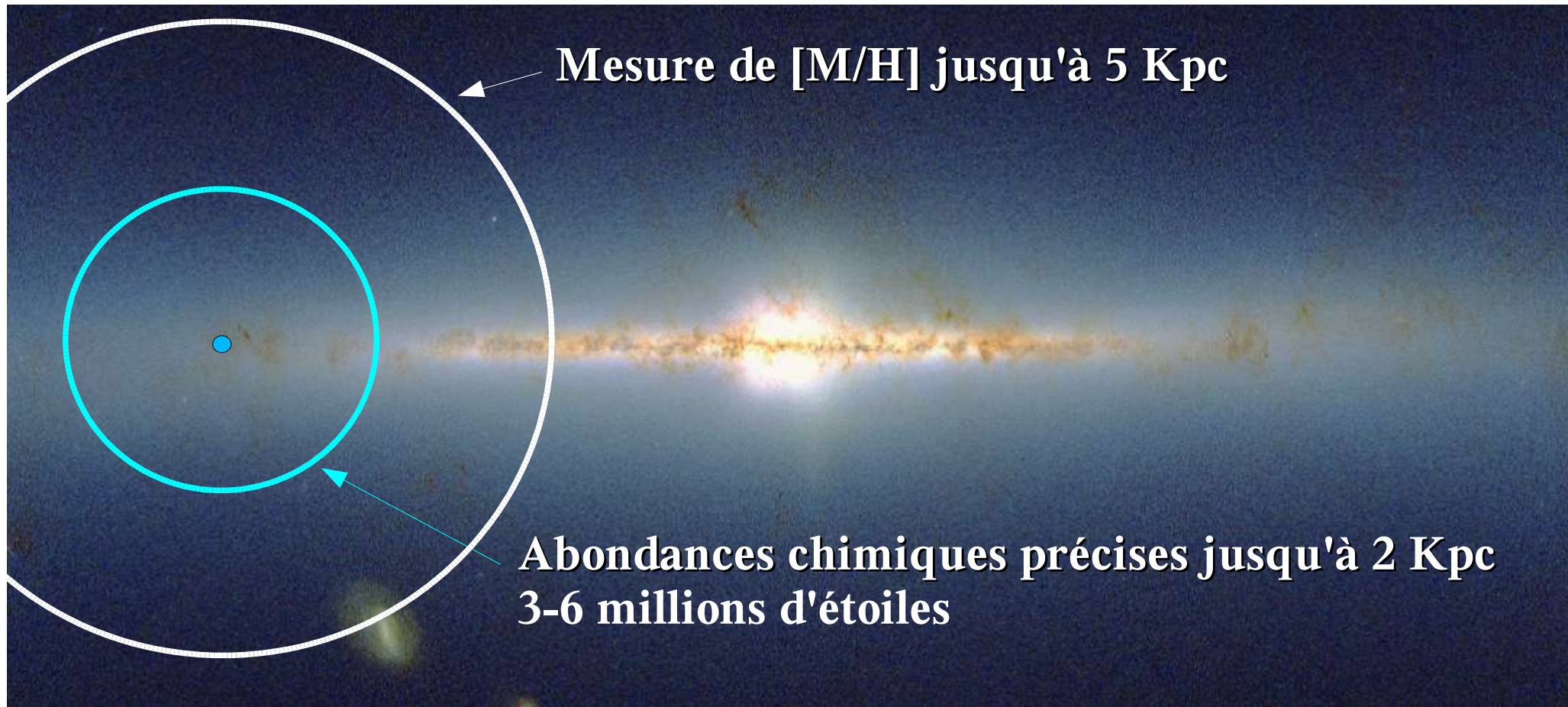
Metallicité globale

Abondances chimiques individuelles

Histoire de la Voie Lactée

Gaia : une carte 3D de la Voie Lactée

Radial Velocity Spectrometer : abondances chimiques



Histoire de la Voie Lactée

Gaia : une carte 3D de la Voie Lactée

Radial Velocity Spectrometer : abondances chimiques

Observations

- $[\alpha/\text{Fe}]$ plus précis que 0.1dex
- Informations chimiques + cinématiques + âges
- Abondances chimiques de RR Lyrae
- Chimie + stade évolutif des étoiles

Contraintes pour les modèles de formation et évolution galactiques

- Taux d'explosion de SN
Quantité de gaz
Lieux de la nucléosynthèse
- Identification de sous-structures
Rôle de l'accrétion de matière
- Calibration d'indicateurs de distances
- Modélisation des anomalies d'abondances chimiques

Archéologie stellaire Galactique

- 1. Introduction: La Voie Lactée, galaxie spirale*
- 2. L'histoire de la Galaxie cachée dans ses populations stellaires :*
 - âges*
 - cinématique*
 - abondances chimiques*
- 3. La mission Gaia*
- 4. Conséquences pour les modèles d'évolution galactiques**

La Voie Lactée : perspectives

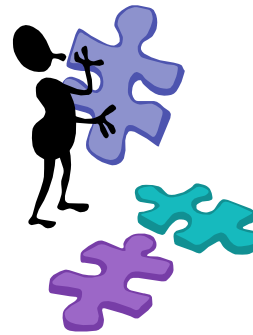
Contraintes observationnelles

Physique galactique



Physique stellaire

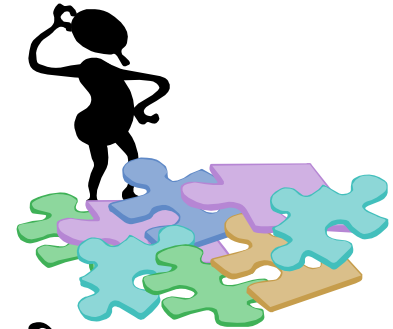
- *Caractérisation des composantes de la Voie Lactée*
- *Echelles de temps de la formation galactique*
- *Rôle de l'accrétion de matière*
- *Evolution chimique de la Galaxie*



- *Paramétrisation physique de grands échantillons d'étoiles*
- *Distance-âge des populations stellaires*
- *Cinématique stellaire*
- *Abondances chimiques (Rapports d'abondances)*

La Voie Lactée : perspectives

- *Comment établir la morphologie des sous-structures détectées ?*
- *Composantes à grande-échelle ou courants ?*
- *Progéniteur commun ?*
- *Erreurs trop importantes dans la mesure des distances*
- *Anomalies chimiques*



Besoin :

Détermination des trois composantes de la vitesse, de la distance et des abondances chimiques pour une fraction importante d'étoiles

La Voie Lactée : perspectives

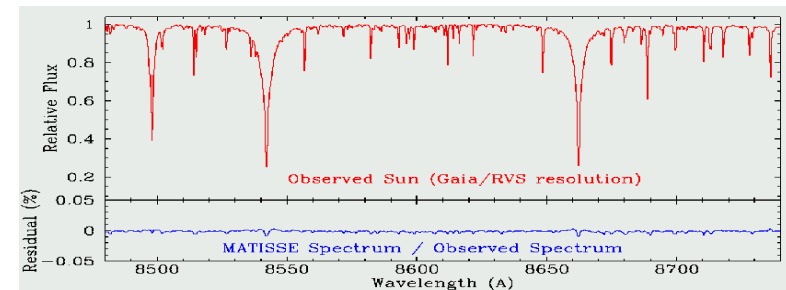
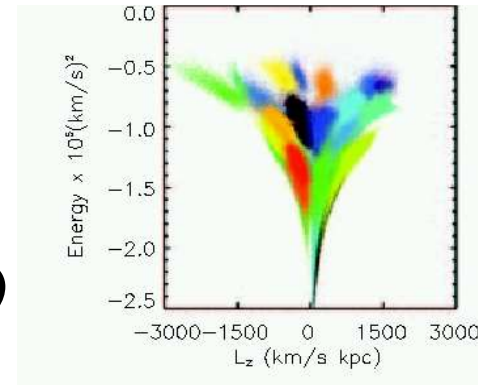
MISSION GAIA

Mesure précise de :

Cinématique (3 composantes)

Distances – Ages (CMD de la Voie Lactée)

Abondances chimiques



Caractérisation des populations stellaires galactiques et de leur origine

MERCI !

La Voie Lactee : Galaxie spirale typique
information exceptionnellement detaillee

Test pour le theories de formation galactique... systeme complexe!

Le rôle des populations stellaires Galactiques dans la
reconstruction de la formation et l'evolution de la Voie Lactee

Principales composantes: theories de formation

Classification: information fossile dynamique et chimique

Matisse

Dynamique

Chimique

Ages/Distances

Grandes echantillons de donnees :

Gaia (tout l'antérieur + autres choses que peuvent être faites)

Rôle de l'evolution stellaire

Stades de l'evolution inconnues

Anomalies d'abondances

La Voie Lactée : une galaxie spirale

Scénario de Formation :

Λ CDM Hierarchical clustering ?

Formation du bulbe : à partir de la fusion initiale

Galaxies de disque sans bulbe!

Formation par accrétion en même temps que le disque?

Formation par l'évolution dynamique d'une barre?

Formation du halo et du disque mince : par l'accrétion de matière (Gilmore & Wyse 2001)

Prédiction de centaines de sub-halos/galaxies satellites par la CDM

Formation du disque épais : accrétion d'un gros satellite

Signatures dynamiques/chimiques?

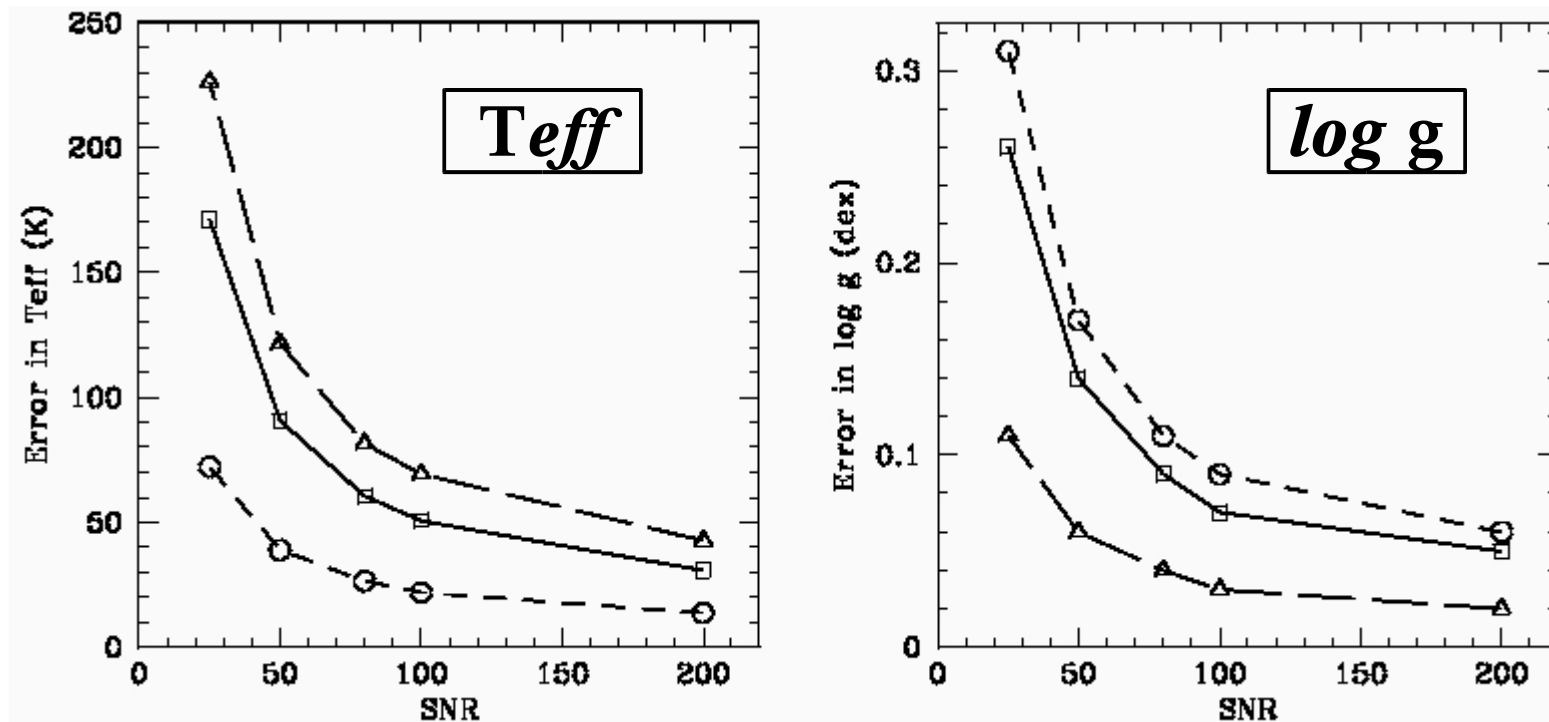
La Voie Lactée : une galaxie spirale

- *Les modeles plus detaillés font des predictions specifiques pour:*
 - *Distributions de metallicite*
 - *Distributions cinematiques*
 - *Gradients verticaux dans la structure Galactique, ...*
 - *Ages des populations*

Histoire de la Voie Lactée

Performances pour le domaine et la résolution de Gaia/RVS

Avec calibration en flux

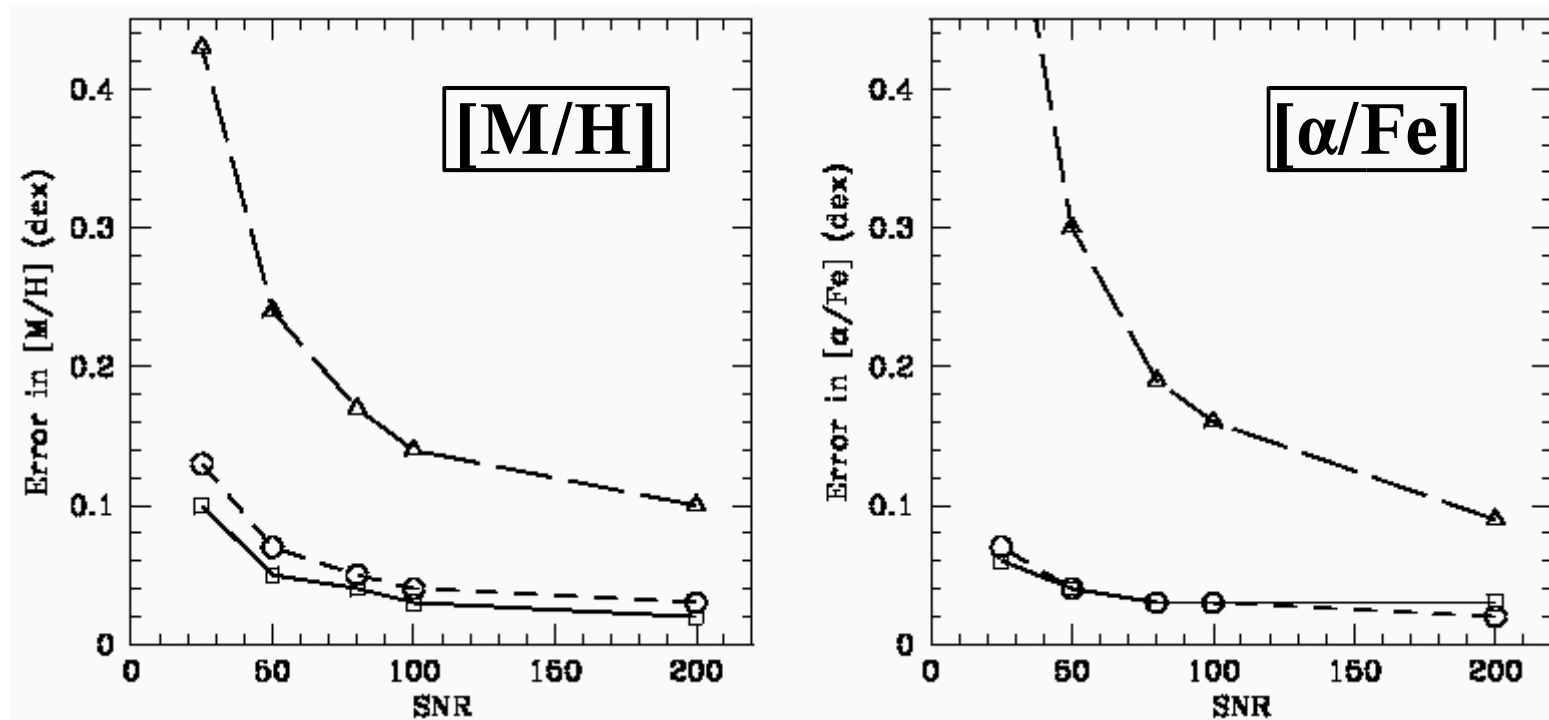


Recio-Blanco, Bijaoui & de Laverny, 2005, soumis

Histoire de la Voie Lactée

Performances pour le domaine et la résolution de Gaia/RVS

Avec calibration en flux



Recio-Blanco, Bijaoui & de Laverny, 2005, soumis

Archéologie galactique : cinématique

FORMATION DU DISQUE EPAIS

Resultats preliminaires

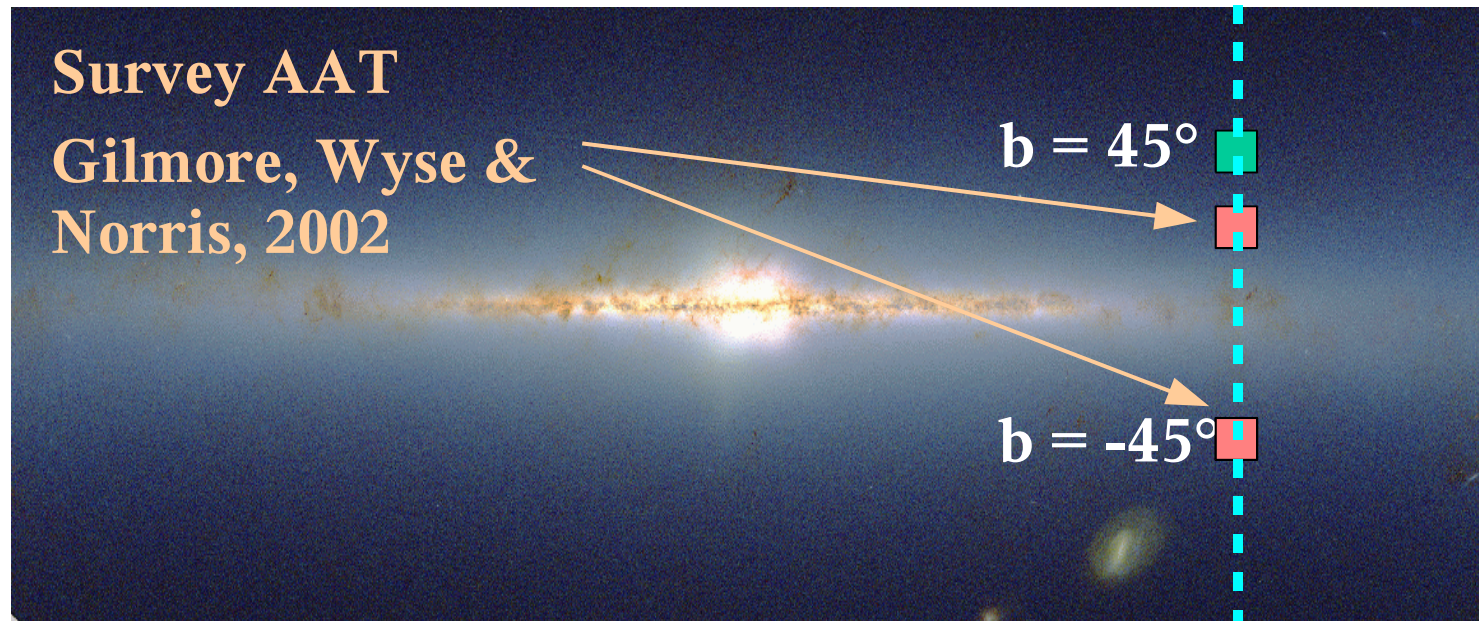
Archéologie galactique : cinématique

FORMATION DU DISQUE EPAIS

Accrétion d'un gros satellite :

Etoiles avec plus faible moment angulaire et plus dispersion

Melange radial moins efficace loin du plan Galactique



Archéologie stellaire Galactique

1. Introduction: La Voie Lactée, une galaxie spirale

2. L'histoire de la Galaxie cachée dans ses populations stellaires :

âges

cinématique

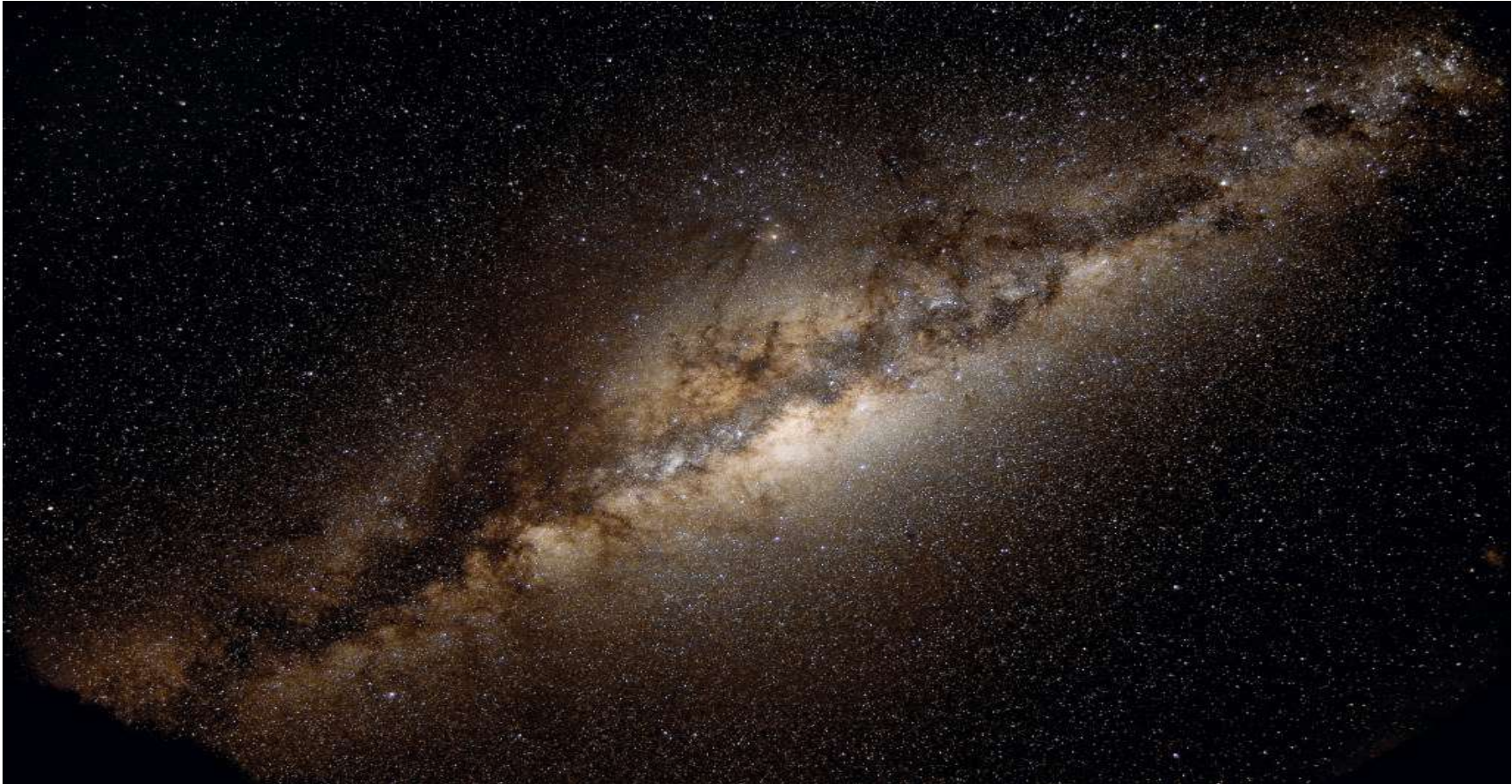
abondances chimiques

Théorie de l'évolution stellaire, "pierre de Rosette"

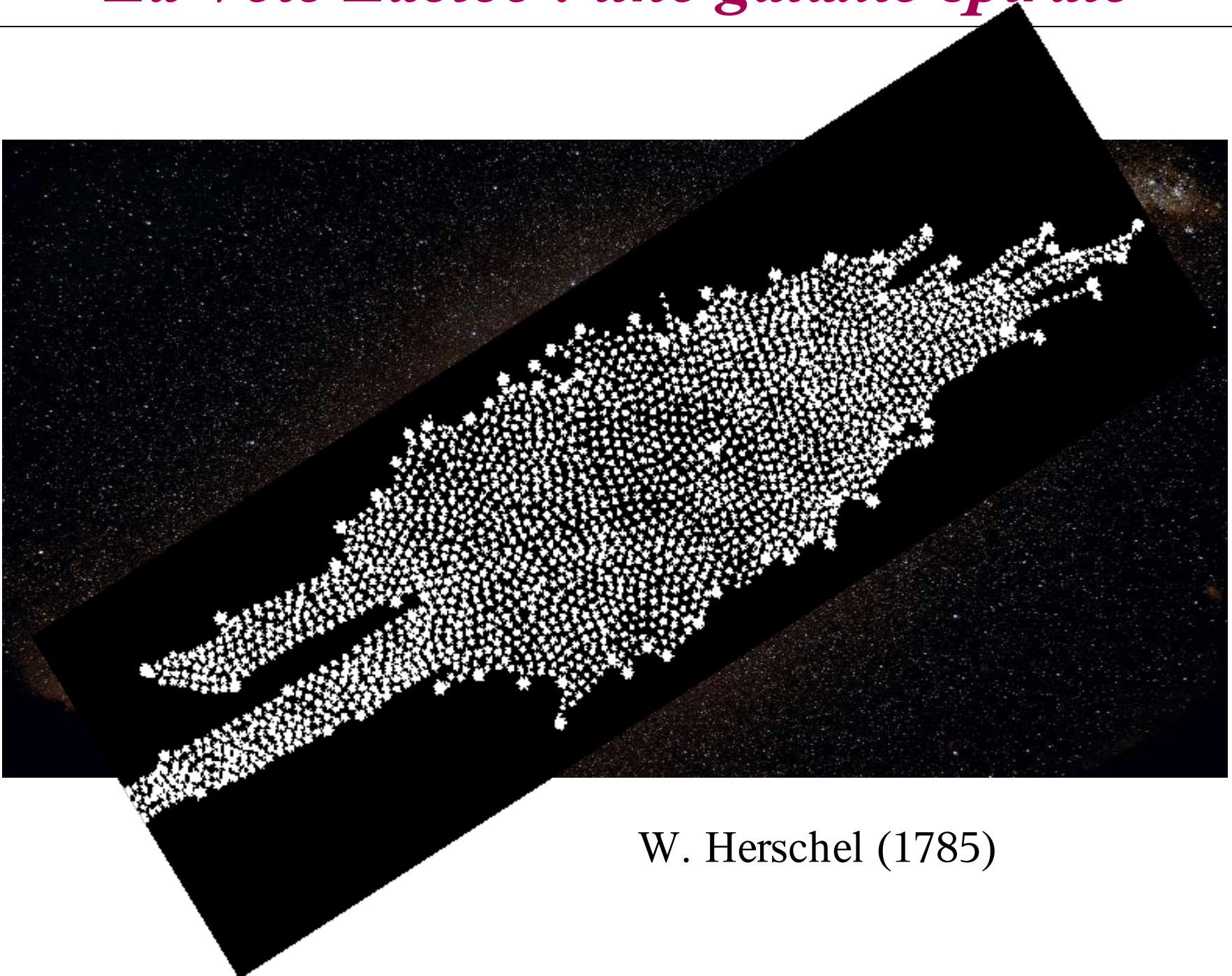
3. La mission Gaia

4. Conséquences pour les modèles d'évolution galactiques

La Voie Lactée : une galaxie spirale



La Voie Lactée : une galaxie spirale

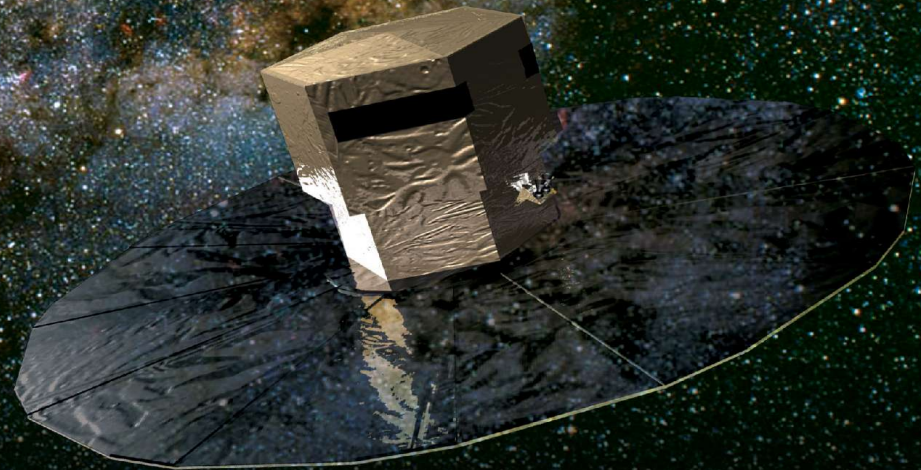


W. Herschel (1785)

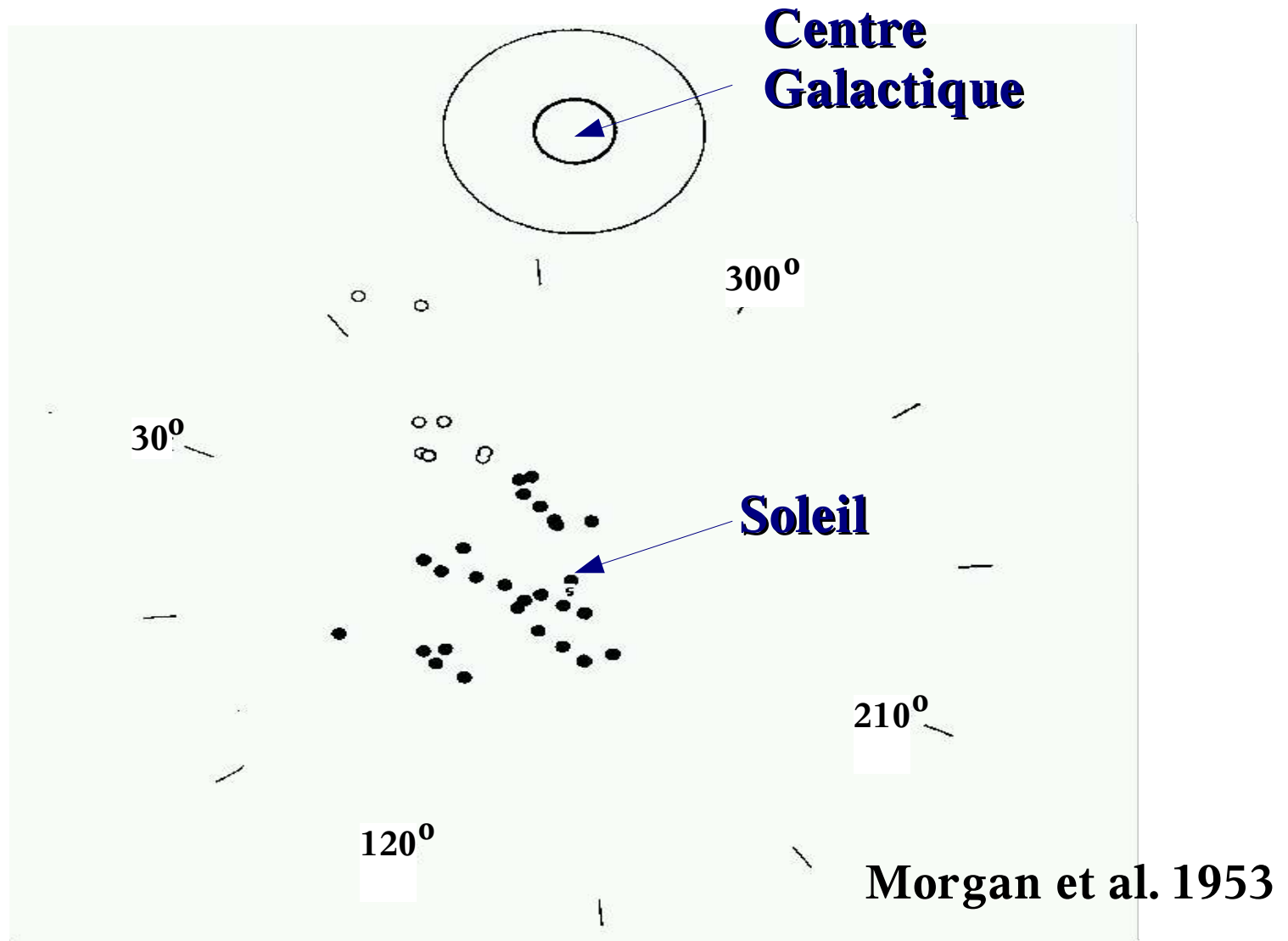
Histoire de la Voie Lactée

Gaia : une carte 3D de la Voie Lactée

- 2 telescopes
1.45 x 0.5 m
Focale : 35 m
- Camera de 1 Gpixel (106 CCDs)
~1 degré carre
60 μ as/pixel



La Voie Lactée : une galaxie spirale



Histoire de la Voie Lactée

Gaia : une carte 3D de la Voie Lactée

Radial Velocity Spectrograph

Analyse automatique des données spectrales de Gaia : MATISSE

• *Responsable de l'unité de développement*

Generalized Stellar Parametrizer-spectroscopy (GSP-spec)

- *Catalogue des paramètres stellaires:*

Temperature effective

Gravité

Metallicité globale

Abondances chimiques individuelles

Archéologie galactique : cinématique

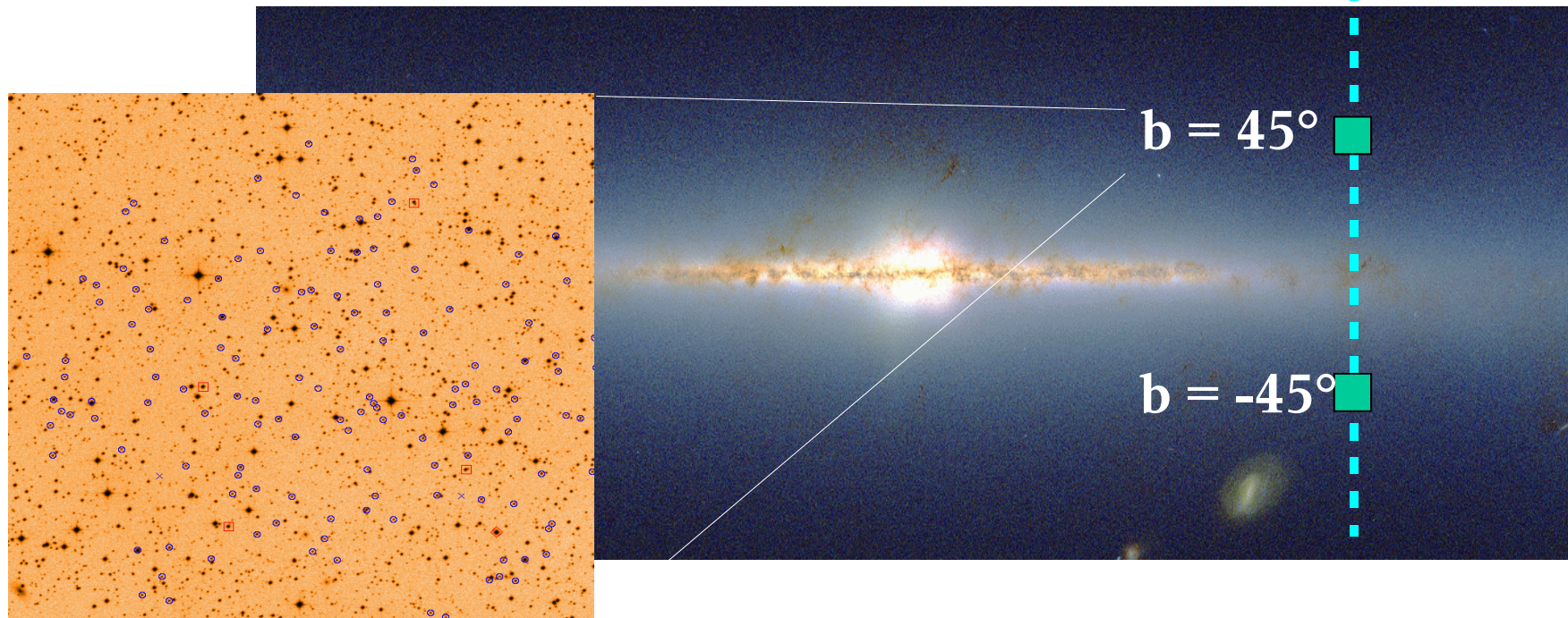
FORMATION DU DISQUE EPAIS

Gradients verticaux dans la structure galactique

$v_{rad} \Rightarrow$ vitesse azimutale orbitale

4 nuits VLT (total de 8 nuits)
~ 1500 étoiles $16.0 < V < 18.5$

$l = 270^\circ$



Archéologie galactique : cinématique

FORMATION DU DISQUE EPAIS

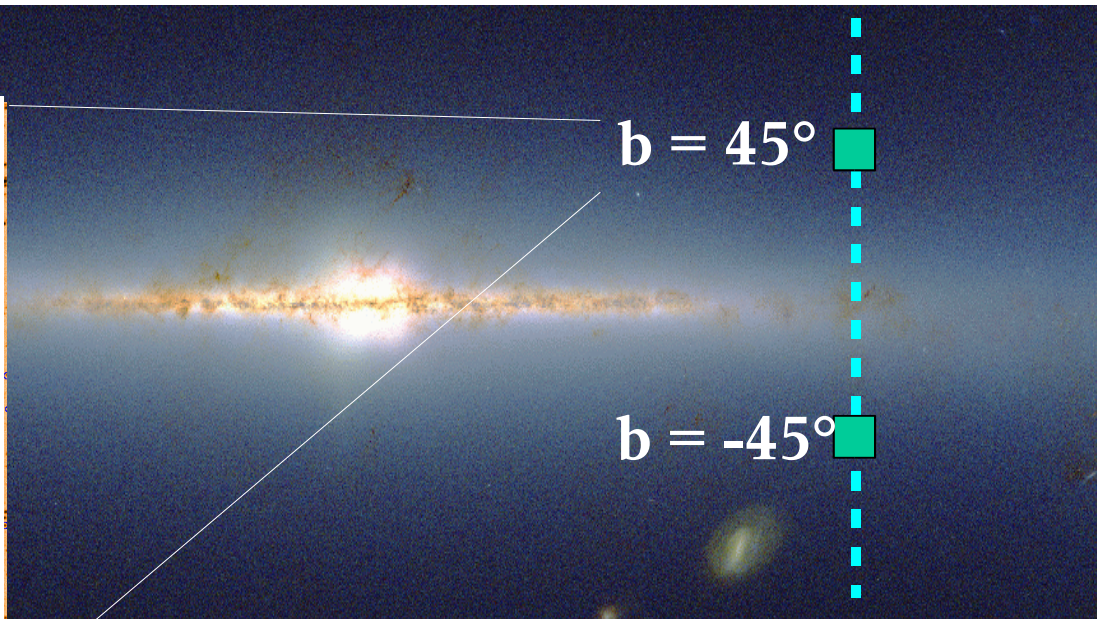
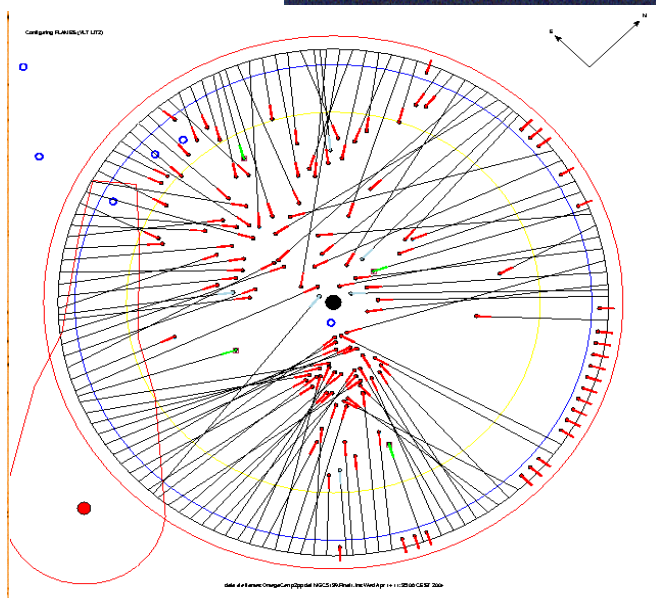
Gradients verticaux dans la structure galactique

v_{rad} => vitesse azimutale orbitale

4 nuits VLT (total de 8 nuits)
~ 1500 étoiles $16.0 < V < 18.5$

Spectrographe
multifibres
FLAMES

$l = 270^\circ$



La Voie Lactée : une galaxie spirale

Modèles de formation

- *Disque Epais :*
 - *Par rechauffement du disque mince ?*
Accrétion d'un gros satellite?
 - *Par dissipation ?*

Archéologie stellaire Galactique

1. Introduction: La Voie Lactée, une galaxie spirale

2. L'histoire de la Galaxie cachée dans ses populations stellaires :

âges

cinématique

abondances chimiques

Théorie de l'évolution stellaire

3. La mission Gaia

4. Conséquences pour les modèles d'évolution galactiques

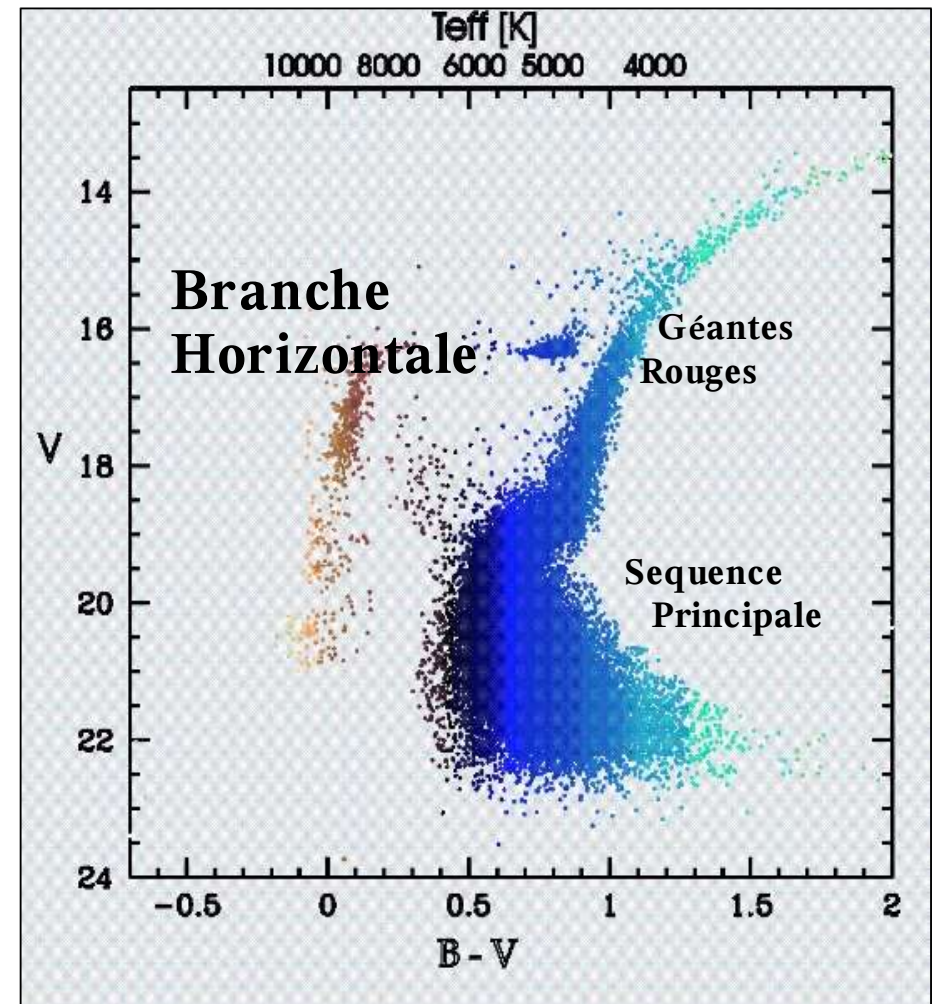
Archéologie Galactique : Evolution stellaire

Etoiles de la Branche Horizontale

Température/abondances chimiques non prédites par les modèles d'évolution stellaire

Origine étoiles vieilles et chaudes ???

- Erreurs dans les indicateurs d'âge des galaxies
- Problème pour les Histoires de Formation Stellaires des galaxies naines satellites



Archéologie Galactique : Evolution stellaire

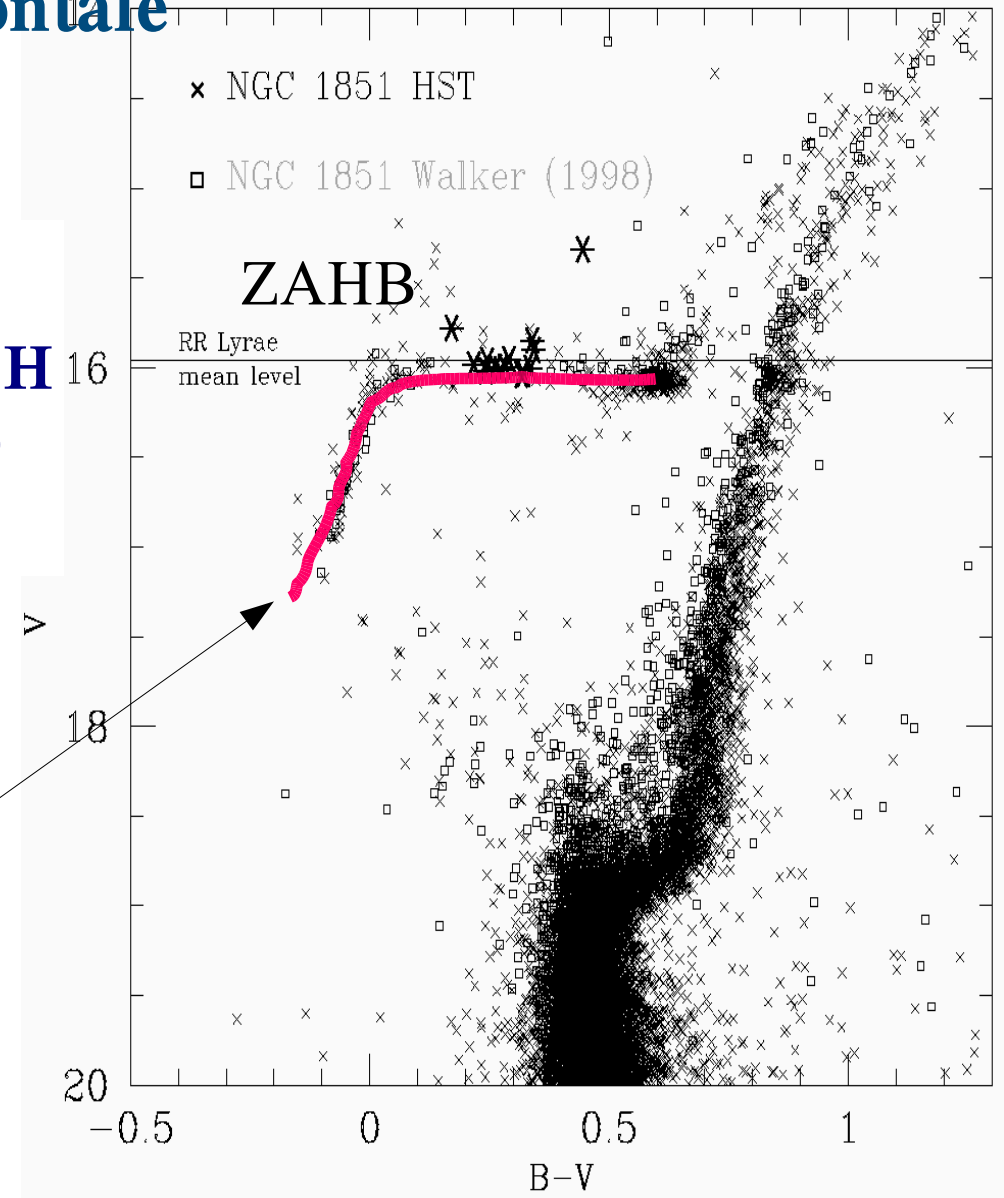
Etoiles de la Branche Horizontale

Température

- **Deuxième paramètre**
Analyse de la morphologie de BH de 54 amas (technique de PCA)
Recio-Blanco et al. (2005b)

Modèles de Cassisi et al. 1999

Température maximale
de la BH : $T_{\text{eff}}^{\text{HB}}$

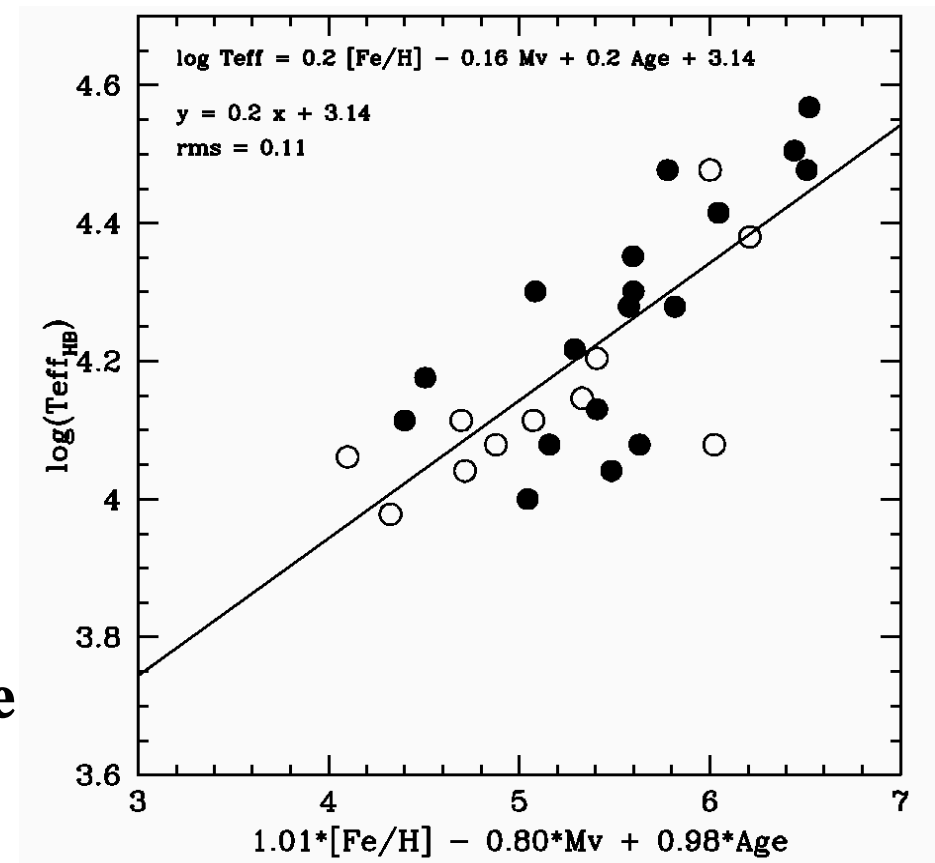


Archéologie Galactique : Evolution stellaire

Etoiles de la Branche Horizontale

Température

- **Deuxième paramètre**
Analyse de la morphologie de BH de 54 amas (technique de PCA)
Recio-Blanco et al. (2005b)
 - Forte dépendance avec la masse totale de l'amas
 - Influence d'une possible première génération d'étoiles



Archéologie Galactique : Evolution stellaire

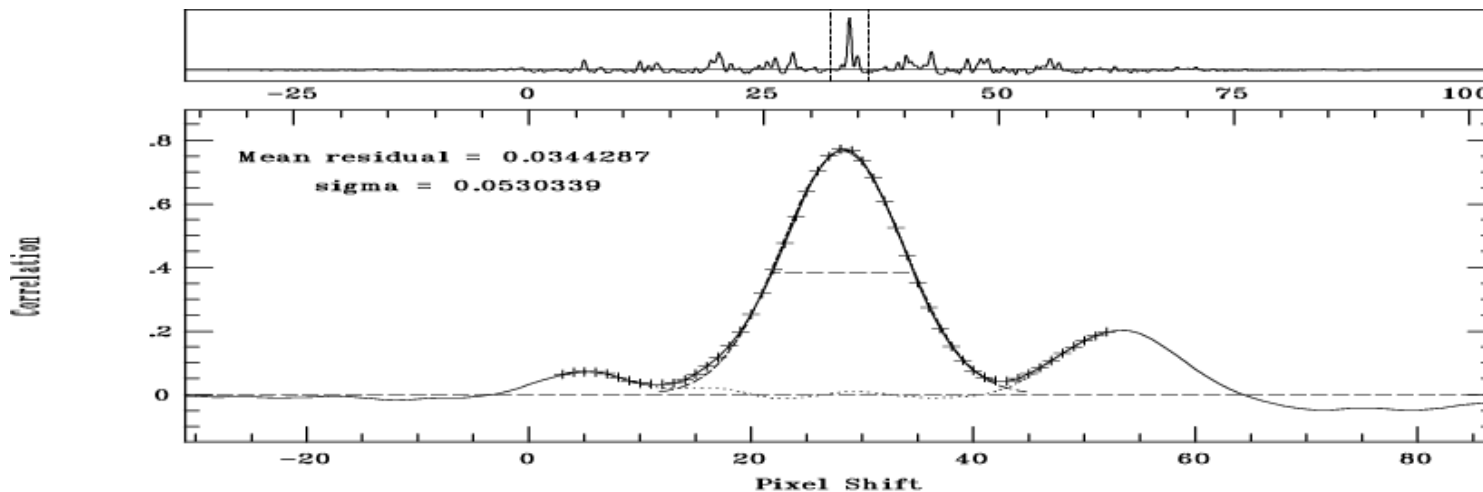
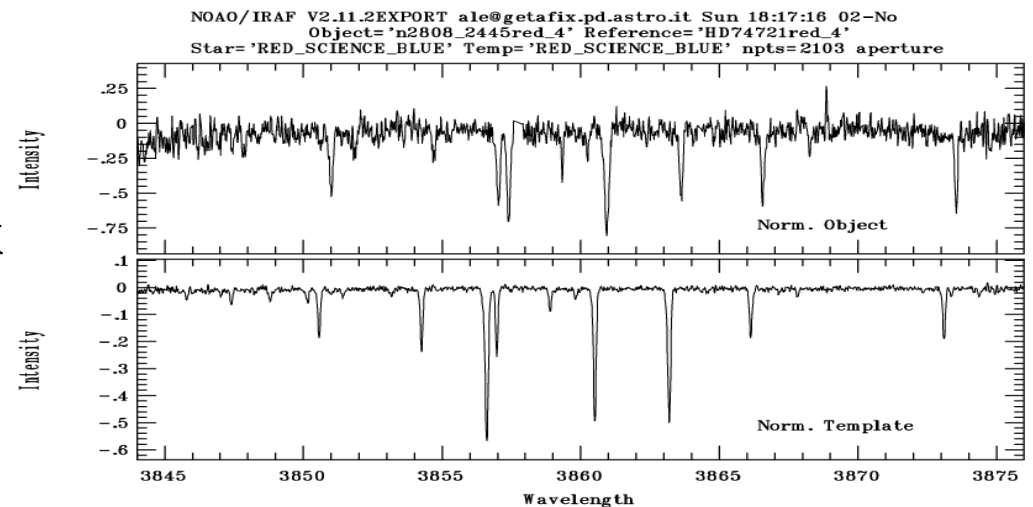
Etoiles de la Branche Horizontale

Abondances chimiques

- Anomalies de rotation et lévitation radiative de métaux

Recio-Blanco et al. (2002, 2005)

Mésure de la rotation avec la technique de cross-correlation

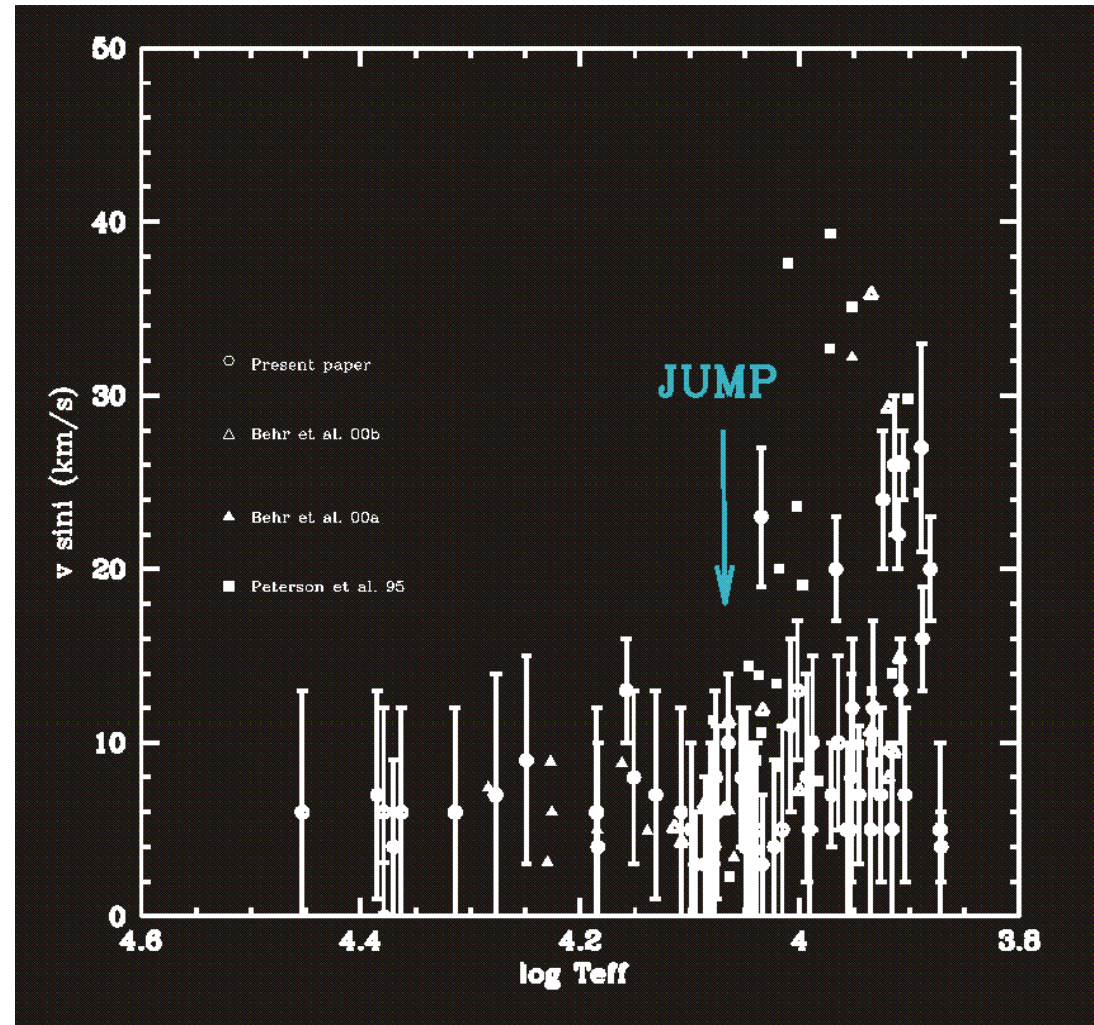


Archéologie Galactique : Evolution stellaire

Etoiles de la Branche Horizontale

Abondances chimiques

- **Anomalies de rotation et lévitation radiative de métaux**
Recio-Blanco et al. (2002, 2005)
- Rotation rapide pour étoiles avec $T_{\text{eff}} < 11500 \text{ K}$



Archéologie Galactique : Evolution stellaire

- Anomalies d'abondances chimiques :

Diffusion et lévitation radiative, melanges et processus de transport non-standards, pollution

 *Erreures dans l'interpretation des abondances chimiques stellaires dans le cadre de l'évolution chimique de la Galaxie*

- Origine inconnue de certains stades évolutifs des étoiles

Le rôle de la densité et la dynamique stellaires

 *Erreurs dans les histoires de formation stellaire et les synthèses de populations des galaxies*

La Voie Lactée : une galaxie spirale

Modèles de formation

- ***Bulbe :***

A partir de la fusion initiale

Par accrétion de matière ?

Evolution dynamique d'une barre ?

- ***Halo et Disque Mince :***

Par l'accrétion de matière ?

Archéologie stellaire Galactique

1. Introduction: La Voie Lactée, une galaxie spirale

2. L'histoire de la Galaxie cachée dans ses populations stellaires :

âges

cinématique

abondances chimiques

3. La mission Gaia

4. Conséquences pour les modèles d'évolution galactiques

Archéologie galactique : chimie

- **Lévitiation radiative de métaux (branche horizontale)**

Recio-Blanco et al. (2002, 2005), Fabian, Recio-Blanco et al. (2005)

Pace, Recio-Blanco et al. (2006)

Fe, Ti, Cr, P, Mn...

Abondances de certaines
métaux jusqu'à 400-1000
fois majeures plus les
étoiles plus chaudes

