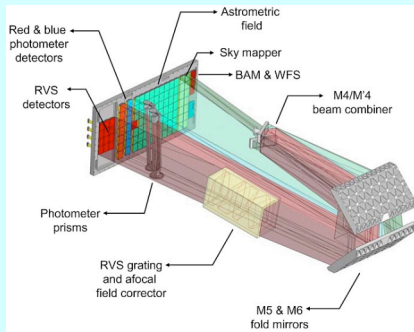


Viala Y.P.¹, Blomme R.², Damerjji Y.³, Delle Luche C.¹, Frémat Y.², Gosset E.³, Jonkheere A.², Katz D.¹, Martayan C.^{1,2}, Morel T.³, Poels J.³, Royer F.¹

(1) Observatoire de Paris, (2) Observatoire Royal de Belgique, (3) Institut d'Astrophysique de Liège



Radial Velocity Spectrometer (RVS)

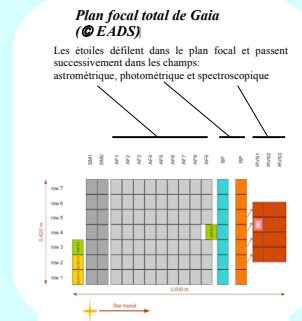
Le spectromètre RVS de Gaia a pour principal objectif la mesure de **vitesses radiales** d'environ 100 à 200 millions d'étoiles.

La précision attendue, en fin de mission est de **1 km/s** pour les étoiles jusqu'à la magnitude **V-13 (G0V)** et de **15 km/s** pour les étoiles jusqu'à **V-16 (G0V)**.

Cette 3^{ème} composante de la vitesse, jointe aux mesures très précises, que permettra Gaia, des deux composantes du mouvement propre sur le ciel ainsi que de la position et de la distance des objets, feront de la base de données Gaia un outil essentiel pour l'étude de la **cinématique** et de la **dynamique** de la Galaxie.

Parmi les autres intérêts scientifiques on peut citer :

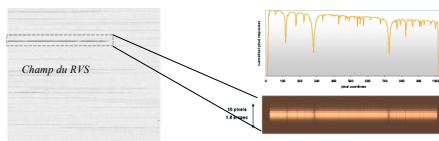
- La correction de l'effet de perspective des mesures astrométriques
- La détection et caractérisation des systèmes multiples



Caractéristiques principales du RVS

- Spectromètre **intégral de champ**
- Dispersion spectrale sur le CCD dans le sens du balayage.
- Lecture des CCD en mode **TDI** (Time Delay Integration)
- Réseau + optique dioptrique, alimenté par les 2 télescopes astrométriques (champs superposés, F= 35m)
- Domaine spectral = [847 nm - 874 nm]
- Résolution :
 - 11500 (1104 pixels) pour $G_{RVS} \leq 11$
 - 5000 (361 pixels) pour $G_{RVS} > 11$
- Chaque étoile sera observée environ **40** fois sur la durée totale de la mission

Spectre 2D typique pour une étoile G2V dans le RVS (© EADS)



Le traitement des données spectroscopiques au sein du "Data Processing and Analysis Consortium" (DPAC)

Le "pipe-line" d'acquisition et de traitement des données de Gaia a été confié à un **consortium**, le **DPAC**, comprenant l'Agence Spatiale Européenne et les instituts européens participant à la mission

Au sein de ce consortium, neuf **unités de coordination (CU)** ont chacune en charge une **problématique scientifique** spécifique de la mission

L'unité de coordination **CU6** a la responsabilité du **traitement des données spectroscopiques** fournies par le RVS

Cette unité de coordination est elle-même divisée en **unités de développement (DU)** au sein desquelles sont développés et maintenus les **algorithmes de traitement des données**

Outre le management, la coordination technique et l'assurance qualité, les principaux "workpackages" de la CU6 sont :

- Extraction des spectres
- Calibration du RVS (en longueur d'onde et en flux)
- Point zéro des vitesses radiales
- Analyse d'un transit unique (STA)
- Analyse des transits multiples (MTA)

Dans la suite de ce poster sont présentées les premières déterminations de vitesses radiales obtenues pour des étoiles simples au sein de l'unité de développement "Analyse d'un transit unique"

Détermination de vitesses radiales d'étoiles simples au sein de l'unité "Analyse d'un transit unique" (STA)

Quatre algorithmes différents ont été développés pour la détermination de la vitesse radiale d'une étoile simple :

- **Cross-corrélation** du spectre objet avec un "template" dans l'**espace direct**
- **Cross-corrélation** du spectre objet avec un "template" dans l'**espace de Fourier**
- Cross-corrélation dans l'espace de Fourier utilisant la **méthode de Chelli**
- Méthode de la **distance minimum** entre le spectre objet et une série de "templates"

Ces méthodes sont décrites dans une note technique à l'ASE : "Single Transit Analysis Software Design Description" (GAIA-C6-SP-OPM-YV-002-2)

Relations avec les autres CU du DPAC

CU8 "Données auxiliaires"

- Les **templates** sont produits par le module "génération de templates", au sein de "STA"
- Ces templates sont générés à partir de **spectres synthétiques** délivrés par la CU8
- Cette CU8 est chargée de fournir aux autres CU du DPAC les **données astrophysiques auxiliaires** utilisées par les différents algorithmes

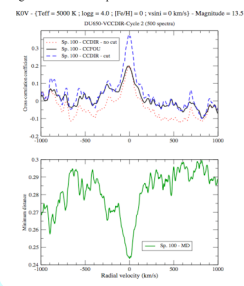
CU2 "Données simulées pour Gaia"

- La CU2 alimente le DPAC en données **simulant** les observations produites par les différents instruments (astrométrique, photométrique et spectroscopique) à bord de Gaia
- Les **spectres objets** fournis par la CU2 prennent en compte les **paramètres** (psf, réponse instrumentale) du spectromètre RVS
- Pour chaque jeu de paramètres atmosphériques-magnitude, la CU2 produit une série de n spectres, affectés de la même vitesse radiale et ne différant entre eux que par la réalisation, aléatoire, du bruit.
- Chacun des quatre modules décrits plus haut détermine la vitesse radiale et l'erreur sur celle-ci pour chaque spectre individuel

Fonctions de corrélation et fonction "minimum distance" pour une étoile K0V

La figure ci-dessous montre, pour une étoile K0V de magnitude $G_{RVS} = 12.6$, les fonctions de corrélations dans l'espace direct et de Fourier et la fonction minimum distance.

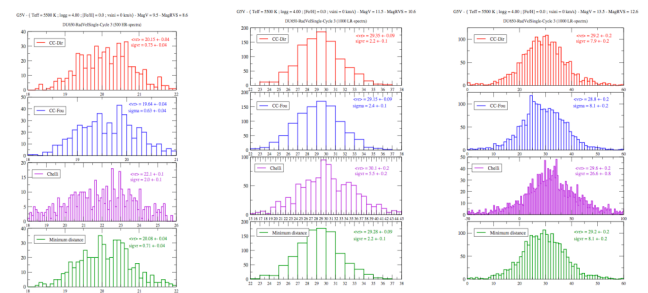
L'abscisse du maximum (minimum) donne la vitesse radiale de l'étoile. Les déterminations des vitesses radiales par les 3 algorithmes sont très proches les unes des autres.



Performances comparées des quatre modules de détermination des vitesses radiales pour une étoile de type solaire

La figure ci-dessous montre, pour 3 étoiles G5V de magnitudes $G_{RVS} = 8.6, 10.6$ et 12.6 , les histogrammes des vitesses radiales dérivées par les 4 algorithmes dédiés à cette tâche. Sur chaque figure sont données :

- la médiane ($\langle v_r \rangle$), indiquant un possible biais (les spectres haute et basse résolution sont décalés de 20 et 30 km/s, respectivement)
- la dispersion (quantile) qui mesure l'erreur (Monte Carlo) sur la vitesse radiale



Résultats préliminaires pour des étoiles de type solaire:

➢ La figure précédente montre des **résultats similaires** pour **trois des quatre algorithmes** (à l'exception de la méthode Chelli) de détermination des vitesses radiales

- ✓ sur l'**allure générale des histogrammes** des vitesses radiales
- ✓ sur la **vitesse moyenne** de la distribution qui présente un **léger biais** par rapport à la valeur attendue (due à la pente différente du spectre objet et du template ?)
- ✓ Sur la **dispersion** de la distribution qui indique la **précision** atteinte sur la détermination de V_{rad}

➢ Les erreurs obtenues : **0.7, 2 et 8 Km/s** pour des magnitudes $G_{RVS} = 8.6, 10.6$ et 12.6 , sont assez proches des spécification, au moins pour les étoiles brillantes, ce qui est encourageant à ce stade initial de développement des algorithmes

Erreurs (Monte Carlo) sur les vitesses radiales :

Spectral Type	Teff K	[Fe/H]	[alpha/alpha]	Magnitude G_{RVS}	CCDR km/s	CCFou km/s	Chelli km/s	MinDist km/s
K5V	4000	0.00	0.00	8.7	0.63	0.63	1.8	0.62
	4000	0.00	12.7	7.1	7.5	22.2	7.4	
G5V	4000	0.00	8.6	0.73	0.63	2.0	0.71	
	4000	0.00	12.6	7.9	8.1	26.6	8.1	
F5V	4000	0.00	8.2	0.87	0.85	3.7	0.86	
	4000	0.00	12.2	8.6	8.8	46.2	8.5	
A5V	10000	0.00	7.5	0.94	0.92	5.9	0.96	
	4000	0.00	11.5	11.1	12.9	46.2	10.6	
B2V	20000	0.00	6.8	3.0	3.1	15.5	2.4	
	4000	0.00	10.8	31.9	33.7	315	24.8	
B0V	30000	0.00	6.4	2.7	2.8	17.0	2.3	
	4000	0.00	9.9	33.5	18.3	204	26.9	
O6V	39000	0.00	6.4	4.1	0.5	14.5	53.0	

Conclusion et perspectives :

- Pour un transit unique, les algorithmes de détermination des vitesses radiales (sauf peut-être la méthode Chelli) permettent de déterminer, avec une **bonne précision**, une **vitesse radiale** pour des étoiles de magnitude $G_{RVS} \leq 14$ et pour les **types spectraux F-G-K**
- La magnitude limite et la précision sont **moins bonnes** pour les étoiles plus chaudes, de type O-B-A
- Les tests **doivent être étendus** aux étoiles froides (M) et particulières (raies en émission...)

➢ Reste à faire dans le cadre de la DU "Analyse d'un transit unique" :

- ✓ La détermination de la **vitesse de rotation projetée $V_{sin i}$**
- ✓ L'**identification** éventuelle d'un **système double** à partir de l'analyse des fonctions de corrélation et "minimum distance"

L'analyse de l'ensemble des transits pour un objet donné, objectif de l'unité de développement "Multiple Transit Analysis" doit permettre d'améliorer la magnitude limite atteinte et la précision en vitesse