

# "La détermination de l'orientation des pôles orbitaux de binaires du voisinage solaire"

"A la mémoire de Jean DOMMANGET (1924-2014), astronome à l'Observatoire Royal de Belgique et initiateur d'une collaboration de dix ans entre professionnels et amateurs au sein de la Commission des Etoiles Doubles de la Société Astronomique de France"

Jean-Louis Agati<sup>1</sup>, Daniel Bonneau<sup>2</sup>, Alain Jorissen<sup>3</sup>, Edgar Soulié<sup>4</sup>, Pierre Verhas<sup>1</sup>

1 - Membre de la commission Etoiles Doubles de la Société Astronomique de France (SAF); 2 - Astronome honoraire, Observatoire de la Côte d'Azur (OCA), Laboratoire Lagrange; 3 - Professeur, Institut d'Astronomie et d'Astrophysique, Université Libre de Bruxelles; 4 - Président de la Commission des Etoiles Doubles de la Société Astronomique de France (SAF)

## □ Détermination du pôle orbital d'une binaire

➤ Mesures astrométriques de la position relative des composantes A et B en fonction du temps → dessin de l'orbite projetée sur le plan tangent à la sphère céleste.

➤ Deux orbites réelles symétriques par rapport au plan tangent à la sphère céleste résultent du calcul d'orbite.

→ Détermination de quatre ( $P$ ,  $T$ ,  $e$ ,  $a$ ) des sept éléments de l'orbite relative du couple.

→ Détermination ambiguë des paramètres  $i$  l'inclinaison,  $\omega$  l'argument du périastre et  $\Omega$  l'angle de position du nœud ascendant.

→ Ambiguïté sur la détermination du pôle  $\Pi$  du plan orbital, pour lequel le mouvement de la composante B est direct (Figure 1).

➤ Des mesures de la vitesse radiale des composantes du couple sont indispensables pour lever cette ambiguïté, fixer les valeurs des paramètres  $i$ ,  $\omega$  et  $\Omega$  de l'orbite réelle et permettre le calcul de la position de son pôle.

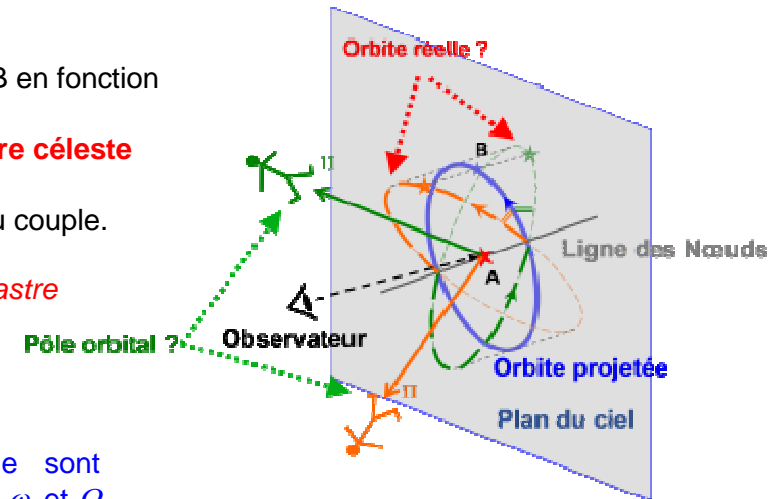


Figure 1 : deux orbites réelles résultent du calcul de l'orbite, d'où l'ambiguïté sur la position du pôle orbital de l'orbite réelle.

## □ Recherches sur l'orientation des pôles orbitaux des binaires

✓ En 1962, Jean Dommanget entreprend la recherche de l'orientation des pôles orbitaux de couples visuels pour lesquels l'ambiguïté sur l'inclinaison et le nœud ascendant a pu être levée. Ceci permet en 1968 la détermination de l'orientation des plans orbitaux de 70 couples. Une nouvelle recherche entreprise en 1982 fournit les orientations des plans orbitaux des 145 couples. Ces études conduisent Jean Dommanget à proposer notamment que les pôles orbitaux des 8 couples proches ( $d < 10$  pc) et du système solaire apparaissent regroupés autour des positions ( $l = 100^\circ$ ;  $b = -15^\circ$ ) ou ( $l = 280^\circ$ ;  $b = +15^\circ$ ) (Dommanget 1988, 2005).

✓ En mars 2005, Jean Dommanget et Edgar Soulié proposent qu'un groupe au sein de la commission des étoiles doubles de la SAF entreprenne une nouvelle recherche sur la base d'un matériel d'observation récent et plus étendu. Objectif: chercher à confirmer les résultats de l'étude de 1988 en traitant les couples stellaires situés à des distances jusqu'à 20 pc.

## □ La Recherche de mesures de vitesse radiale pour les binaire d'orbite connue

1 - Construction d'un échantillon de binaires à partir des orbites publiées dans le 6<sup>ème</sup> Catalogue d'Orbites de Binaires Visuelles disponible à l'USNO (6th COVBS) et des parallaxes Hipparcos (données par SIMBAD au CDS).

2 - Pour chacune de ces binaires, recherche des mesures de vitesse radiale des composantes dans le 9<sup>ème</sup> Catalogue d'Orbites de Binaires Spectroscopiques (SB9), lors d'une recherche bibliographique menée à l'O.R.B. ou suite à des contacts avec les astronomes Roger Griffin, Helmut Abt et Alan Batten. Pour une cinquantaine de couples, des mesures ont été tirées dans la base des données CORAVEL (mise à disposition par Stéphane Udry de l'Observatoire de Genève) ou obtenues au moyen du spectrographe HERMES/Mercator.

➤ Obtention d'un échantillon de 95 binaires d'orbites connues dont les distances au Soleil sont  $\leq 18$  pc, pour lesquelles des mesures de vitesse radiale sont disponibles et la détermination des positions des pôles orbitaux est a priori possible.

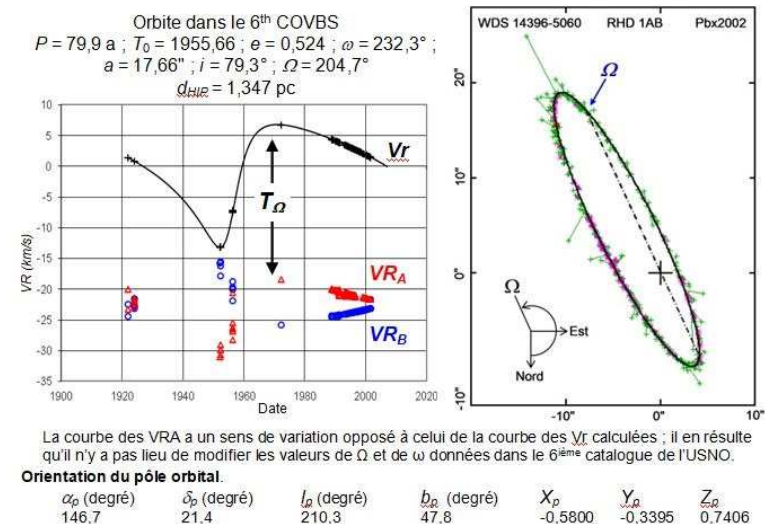
## □ Détermination du pôle orbital par confrontation de l'orbite calculée et des vitesses radiales mesurées.

➤ Détermination du nœud ascendant par comparaison de la courbe calculée pour  $V_r$  avec l'allure des variations des vitesses radiales mesurées ( $V_{RA}$ ,  $V_{RB}$  ou  $V_{RB} - V_{RA}$ ).

$$V_r = K_{AB} [\cos(v + \omega) + e \cos \omega] \quad \text{avec} \quad K_{AB} = 29,76 \frac{d}{P} \frac{a \sin i}{\sqrt{1-e^2}}$$

Avec  $K_{AB}$  la semi-amplitude de la vitesse radiale relative en km/s;  $P$  la période orbitale en année;  $e$  l'excentricité,  $a$  le demi grand-axe en seconde de degré et  $d$  la distance du couple en parsec.

➤ Pour chaque binaire de notre échantillon, nous avons comparé les vitesses radiales mesurées avec les vitesses radiales relatives calculées pour les mêmes dates. L'obtention de l'accord entre ces vitesses, obtenu en ajustant éventuellement les valeurs des éléments  $i$  et  $\omega$ , permet de déterminer la valeur de l'angle de position  $\Omega$  du nœud ascendant (Figure 2).



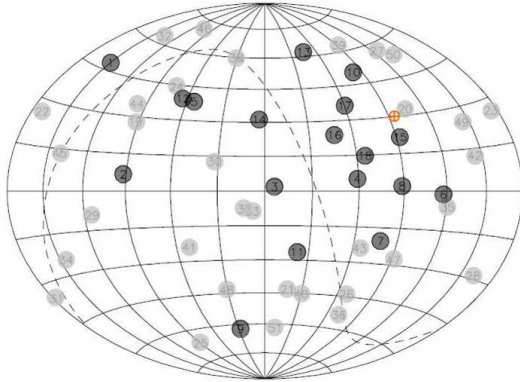
**Figure 2 :** détermination du passage au Nœud ascendant  $\Omega$  par comparaison des vitesses radiales mesurées et de la vitesse radiale relative calculée puis calcul de l'orientation du pôle orbital. de la binaire WDS 14396-6050 = RHD 1AB

➤ Ambiguïté sur l'angle de position du nœud ascendant et l'inclinaison levée pour 51 systèmes de distance  $< 18$  pc. Pour ces couples, calcul des coordonnées du pôle orbital II dans les référentiels des coordonnées équatoriales ( $\alpha_p$ ,  $\delta_p$ ) puis des coordonnées galactiques ( $l_p$ ,  $b_p$ ) et de son vecteur unitaire ( $X_p$ ,  $Y_p$ ,  $Z_p$ ).

✓ Pour certains couples, cette analyse n'a pas donné de résultats satisfaisants, en raison de périodes orbitales très longues (orbite visuelle prématurée), de vitesses radiales constantes ou d'incertitudes sur les mesures de vitesse radiale.

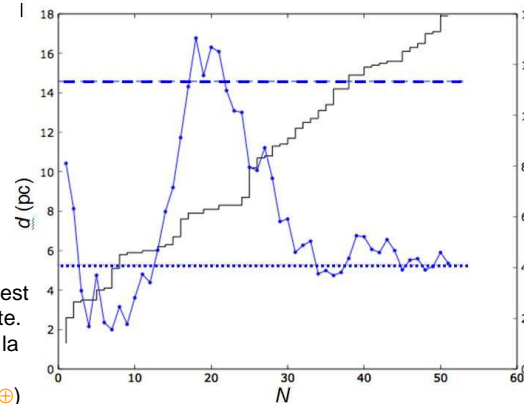
## □ Distribution spatiale des pôles orbitaux et analyse statistique des résultats.

- Distribution sur le ciel des pôles orbitaux pour les 51 systèmes de distance inférieure à 18 pc (Figure 3).
- **L'anisotropie apparente de cette distribution pour les étoiles à  $d < 8,1$  pc, est-elle pas due à l'effet du hasard ?**



**Figure 3** : positions sur le ciel, en coordonnées galactiques, des pôles orbitaux des 51 systèmes ( $d < 18$  pc). Le centre galactique est au centre de la grille et la ligne pointillée dessine l'équateur céleste. Les cercles sombres identifient les 18 systèmes ( $d < 8,1$  pc) dont la distribution paraît, selon l'analyse statistique, la plus significativement différente de l'isotropie. Le pôle de l'écliptique ( $\oplus$ ) est situé à la position  $l = 96.4^\circ$ ,  $b = 30^\circ$

- Analyse statistique sur des échantillons de taille croissante sondant des volumes de plus en plus importants autour du Soleil pour évaluer le risque de première espèce de rejeter l'hypothèse nulle d'isotropie alors que celle-ci est vraie.



**Figure 5** : Evolution, en fonction du nombre  $N$  de systèmes considérés ( $1 \leq N \leq 51$ ), du paramètre de Rayleigh – Watson  $W = 3 R^2 / N$ , avec  $R^2 = (\sum_{i=1}^N x_i)^2 + (\sum_{i=1}^N y_i)^2 + (\sum_{i=1}^N z_i)^2$ , où  $(x_i, y_i, z_i)$  sont les coordonnées du vecteur unitaire correspondant au pôle du système  $i$  ( $i = 1, \dots, N$ ; ligne bleue et échelle de droite). L'isotropie correspond à  $W = 3$ . La droite horizontale bleue pointillée marque le niveau de risque  $\alpha_R$  de 1% de rejeter l'hypothèse d'isotropie alors qu'elle est vraie. On constate que ce niveau est dépassé (soit  $\alpha < 1\%$ ) pour l'échantillon couvrant un volume de rayon 8 pc autour du Soleil ( $N \sim 18$ ). La courbe noire (échelle de gauche) donne le nombre de systèmes en fonction de la distance échantillonnée. Pour l'échantillon complet ( $N = 51$ ,  $d < 18$  pc), le risque de première espèce  $\alpha_R$  monte à 18% (courbe horizontale pointillée), et l'hypothèse nulle d'isotropie ne peut donc être rejetée.

**Test de Rayleigh-Watson** (évaluant l'écart à la valeur nulle du module du vecteur résultant de la composition des vecteurs unitaires associés à chacun des pôles orbitaux) pour tester l'hypothèse d'isotropie contre l'hypothèse d'une distribution de type unimodale.

- Pour les systèmes avec  $d \leq 8,1$  pc, ce test signale un écart significatif par rapport à l'isotropie, avec une probabilité pour que la distribution soit isotrope de  $\alpha = 0,5\%$ . (Figure 5).

- ✓ Robustesse des résultats contrôlée, en étudiant les risques de biais induits par les effets de sélection et la présence de systèmes multiples.
- ✓ L'examen d'un éventuel alignement des pôles dans le contexte des théories de formation des étoiles binaires et de la cinématique galactique, donne plusieurs arguments dynamiques qui montrent que l'origine physique d'une telle coplanarité, si elle existe, sera difficile à expliquer.

## □ Conclusions

- ✓ Le nombre des binaires disponibles, est encore insuffisant et la réalité de l'écart par rapport à l'isotropie de la distribution des pôles orbitaux des binaires du voisinage solaire ne peut donc pas être évaluée avec certitude.
- ✓ Cette recherche devrait être considérée comme une incitation à la réalisation d'autres études sur ce problème, en particulier dans le contexte de la mission Gaia.

➤ **Tous les détails de cette recherche sont donnés dans la publication finale (Agati et al. 2015)**

Références:

- Dommanget, J., Astrophysics & Space Science, 142, 171 (1988).
- Dommanget, J., Ciel et Terre, 121, n°1, 2 (2005).
- Agati, J.-L. et al. Astronomy & Astrophysics, 574, A6 (2015).