

ÉVOLUTION DE L'ÉTOILE DZÊTA CANCRI

UN PLI CACHETÉ À L'ACADÉMIE DES SCIENCES RELANCE L'ÉTUDE DES COMPAGNONS INVISIBLES

Evolution of the star ζ Cancri - A sealed fold at the Academy of Sciences revives study of invisible companions

Jean-Claude Thorel

Invité scientifique à l'observatoire de la Côte d'Azur

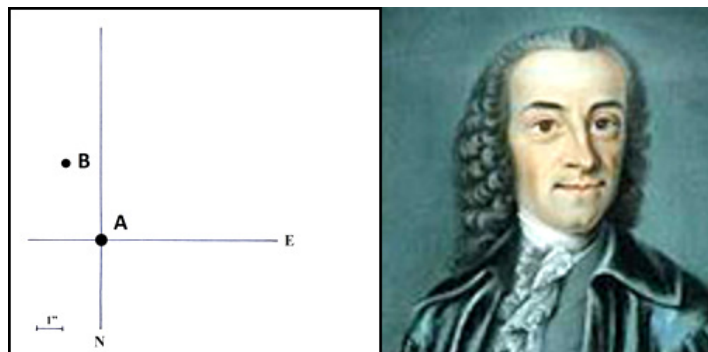


Résumé

Cet article présente l'histoire de l'étude de l'étoile ζ Cancri en tant qu'étoile multiple. Alors que l'existence de trois composantes de ce système est bien établie dès 1825 par James South, l'analyse du mouvement orbital de la composante C autour de AB suggère la présence d'un quatrième corps comme le proposent Otto Struve et Camille Flammarion qui ont tous deux envoyé indépendamment une note à l'Académie de Sciences. On confirmera ce quatrième compagnon autour de la composante C en 1983 par des observations interférométriques. Des mesures effectuées à la suite d'une occultation lunaire en 1998 feront même apparaître un cinquième corps E, proche de CD. L'étoile ζ Cancri, connue aussi sous le nom de STF 1196 serait donc un système quintuple.

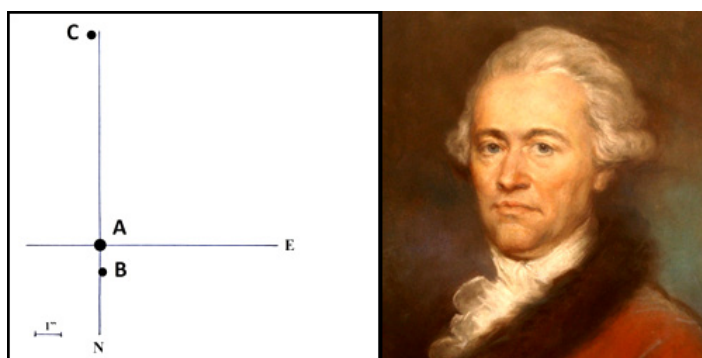
Abstract

This article presents the history of the study of the star ζ Cancri as a multiple star. While the existence of three components of this system is well established in 1825 by James South, the analysis of the orbital motion of the component C around AB suggests the presence of a fourth body as proposed by Otto Struve and Camille Flammarion who both independently sent a note to the Academy of Sciences. This fourth companion around the C component will be confirmed in 1983 by interferometric observations. Measurements made following a lunar occultation in 1998 will even reveal a fifth body E, close to CD. The star ζ Cancri, also known as STF 1196, would therefore be a quintuple system.

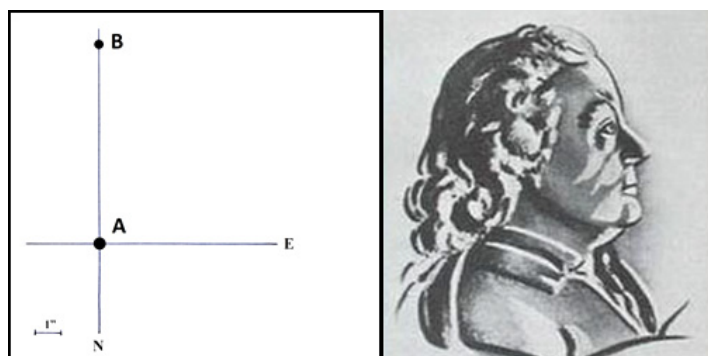


C'est **Tobias MEYER** (1723-1762) qui découvre, en **1756**, la duplicité de ζ Cancri. Il détermine la position relative des composantes par la différence des ascensions droites observées 4 fois, et des déclinaisons observées 7 fois, au quart de cercle mural de Göttingen. Les paramètres mesurés sont : angle de position (thêta) $\theta = 205,4^\circ$ et séparation (rho) $\rho = 3,3''$ (secondes de degré).

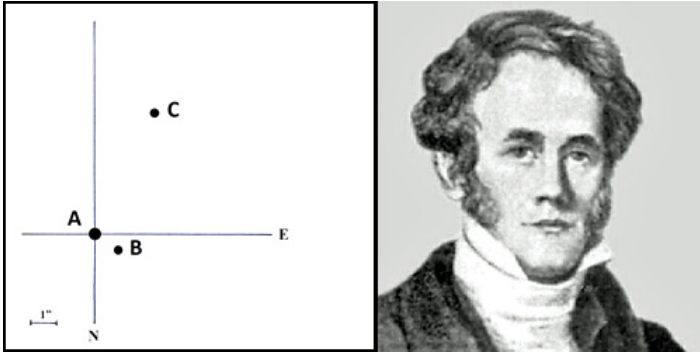
En **1778**, **Christian MAYER** (1719-1783), frère jésuite vivant à Mannheim, l'observe avec un quart de cercle mural de Bird de 8 pouces et avec un grossissement de 85 fois. Il trouve **180° pour θ et $7,7''$ pour ρ** . La valeur de l'angle de position ne cesse de diminuer, tandis que celle de la séparation reste à peu près constante, ce qui donne une orbite sensiblement circulaire.



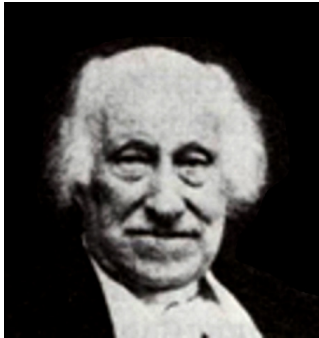
Mais c'est à **Friedrich Wilhelm HERSCHEL** (Frederick William) (1738-1822), qui a commencé, en 1776, un véritable travail sur les étoiles doubles, conséquence de ses recherches observationnelles sur les parallaxes stellaires, que revient la découverte du compagnon de l'étoile principale. Il observe ζ Cnc le **21 novembre 1781** et mesure l'angle de position $\theta = 3,475^\circ$, mais il doute encore de l'existence de ce compagnon.



L'ère des étoiles doubles visuelles commence

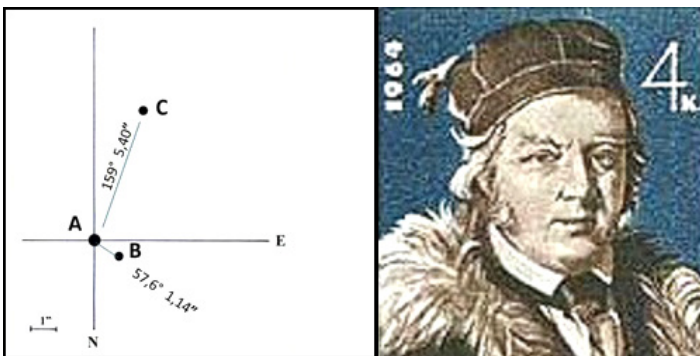


Même **John Frederick William HERSCHEL** (1792-1871), et **James SOUTH** (1785-1867) ce dernier observant à Blackmann Street avec un équatorial de 5 pieds de foyer, ne mentionnent pas l'observation de 1781 dans leur ouvrage commun sur leurs mesures de ζ Cnc, présenté à la Société Royale de Londres, ni en 1824.



Portrait de James SOUTH

Il faut attendre **1825** et les observations faites du 3 au 14 avril par ce même James SOUTH, avec un équatorial de 3 $\frac{3}{4}$ pouces et de 7 pieds, et un grossissement de 413 fois, depuis son observatoire privé de Passy près de Paris, pour avoir une confirmation de ce compagnon. La moyenne de ses mesures donne pour **AB 57,8° pour l'angle de position θ et 1,09'' pour la séparation ρ , et pour AC 150° et 5,30''**. Le compagnon de l'étoile principale A qui s'appelait B devient C.



En 1824, **Friedrich Georg Wilhelm STRUVE** (1793-1864) l'observe à l'observatoire de Dorpat (Tartu), Estonie, avec un équatorial de 24cm x 4,30m dont le pouvoir séparateur atteint $\rho = 0,50''$.

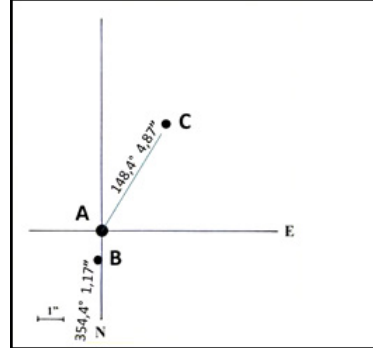
Le 21 mars 1826, il observe ζ Cancr et mesure un angle de position $\theta = 57,6^\circ$ avec une séparation $\rho = 1,140''$.

En avril 1826, il mesure AB/2-C : $\theta = 158,97^\circ \rho = 5,400''$ mgv A = 5,0 mgv B = 5,7 mgv C = 5,3.

Il dénommera ce couple Σ 1196 (STF 1196 AB) dans son catalogue "*Stellarum Duplicium et Mutiplicium Mensuræ Micrometrica*" publié en 1837. Plus connu sous le nom de

"*Catalogue de Dorpat*", il sera la "bible" des observateurs jusqu'à la parution des grands catalogues de Thomas LEWIS en 1906, de Sherburne Wesley BURNHAM (BDS) également en 1906 et de Robert Grant AITKEN (ADS) en 1932. Il mesure à nouveau ce couple en 1828, 1831, 1832, 1833, 1835, 1836. En 1834, il est appelé par le tsar Nicolas 1er pour être directeur du nouvel observatoire de Pulkovo.

L'ère des grandes lunettes et de l'astrométrie des étoiles doubles commence



Otto Wilhelm STRUVE (1819-1905) succède à son père. Il a fait l'observation de 17 000 étoiles doubles et en a découvert 514 serrées, référencées O Σ (STT) avec le grand réfracteur de Ferz et Mahler de Munich, de diamètre 38cm et de distance focale de 6,88m donnant un pouvoir séparateur $\rho = 0,32''$.

Le 16 avril 1843, il mesure ζ Cancr et trouve :

AB $\theta = 354,4^\circ \rho = 1,17''$ et AC $\theta = 148,4^\circ \rho = 4,87''$

En 1873, avec les mesures faites à Dorpat et Poulkovo, il commence l'étude du système ζ Cnc. Le compagnon B ne s'écarte jamais à plus de 1,20'' et en 1842, MÄDLER donnera une période P de 58,9 ans.

Dans la figure 1 ci-dessous, il représente les positions de B par rapport à A supposée immobile. L'orbite de B est circulaire avec une position fortement excentrique de A.

La figure 2 représente les positions des trois étoiles par rapport au centre optique O entre A et B, lequel est supposé immobile

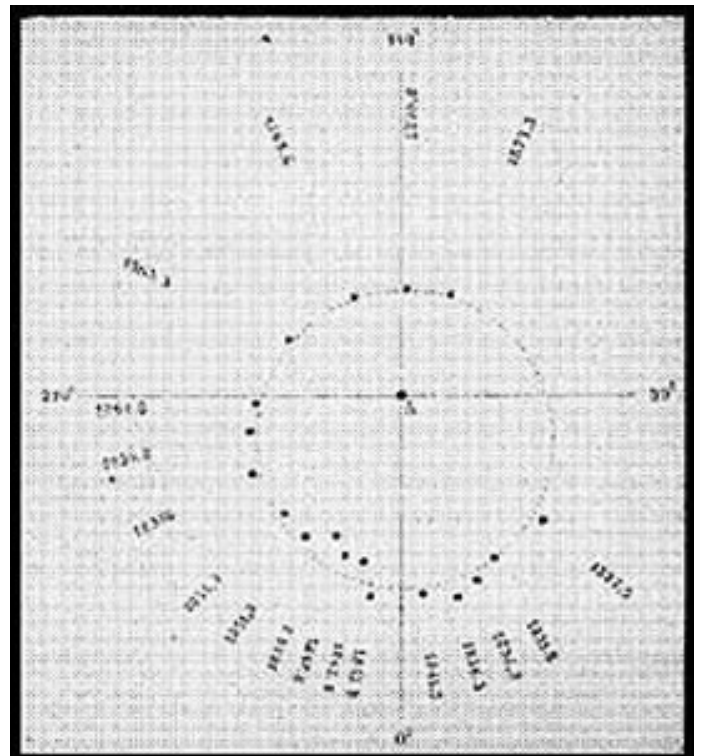


Figure 1 : positions de la composante B par rapport à A du système ζ Cnc reporté par Otto Struve

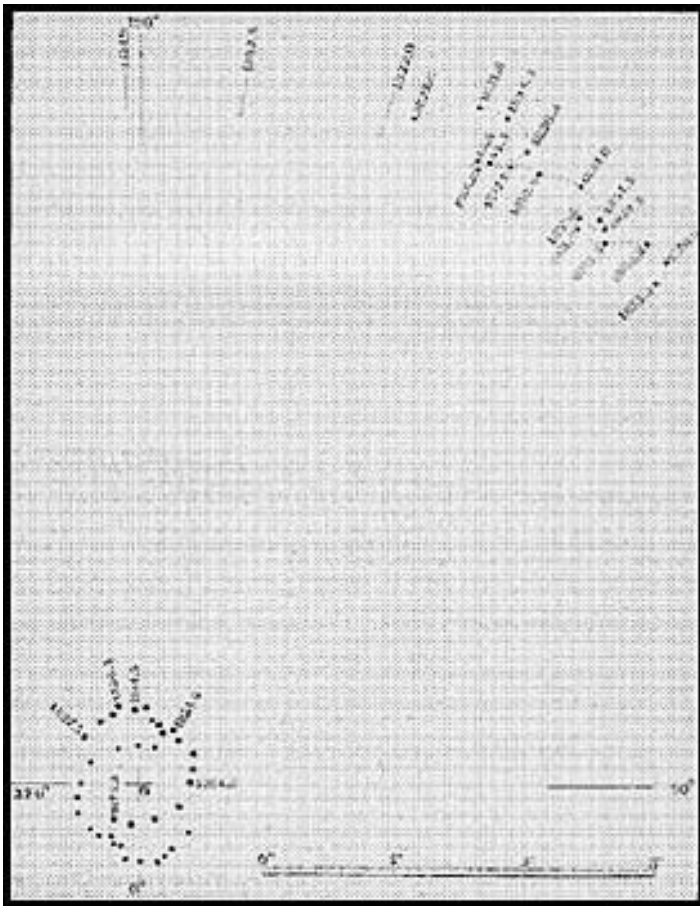


Figure 2 : positions de la composante C par rapport au centre optique entre A et B de ζ Cnc reporté par Otto Struve

ou transporté dans l'espace par un mouvement uniforme. L'angle de position de C, tantôt plus rapide tantôt nul ou même rétrograde montre que les mouvements angulaires plus rapides sont toujours accompagnés d'une augmentation de la distance, les mouvements rétrogrades, au contraire, d'une diminution.

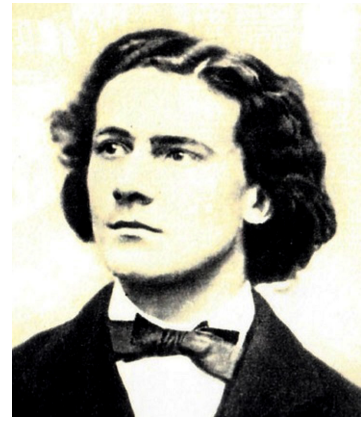
Otto STRUVE écrit : « Il serait inadmissible d'attribuer ces irrégularités aux imperfections des mesures. À la distance de 5", des erreurs de 6 degrés seraient déjà intolérables dans des observations isolées, à plus forte raison lorsqu'il s'agit de la moyenne de nombreuses mesures ... Les inégalités observées sont donc réelles et doivent trouver leur origine dans les lois de la nature.

Elles trouveraient une explication satisfaisante si l'étoile C, en poursuivant en moyenne une orbite uniforme autour de O, décrivait en même temps une orbite secondaire, approximativement circulaire, de 0,3" de rayon, dans une période de 20 ans. Une pareille orbite secondaire devrait probablement se produire s'il y avait encore un corps troublant, peut-être opaque ou moins luisant, dans le voisinage immédiat de C ».

Otto STRUVE évoque une 4ème composante en orbite autour de C à 0,3" en 20 ans dans un compte rendu qu'il envoie à l'Académie des Sciences.

Pendant ce temps là en France ? Un astronome, Camille FLAMMARION, commence l'étude du système ζ Cnc

1856-1858 : Il apprend le dessin chez un ciseleur-graveur où il est apprenti et découvre la photographie grâce à son père employé aux studios Tourmachon-Nadar. Il suit des cours du soir et obtient les bacs de Lettres et de Sciences et il écrit des ouvrages d'astronomie. Surmené, il fait régulièrement appel à un médecin. Le Docteur FOURNIER, par relation, lui ouvre les portes de l'observatoire impérial de Paris. Il est reçu brièvement par le directeur Urbain Le VERRIER, puis passe un examen évalué par Victor Alexandre PUISEUX. Le 25 juin 1858, il est embauché



Portrait de Camille FLAMMARION

comme élève astronome au Bureau des calculs. Il travaille à la correction des positions apparentes des étoiles observées à la lunette méridienne. Devenu assistant de Jean CHACORNAC, il fait des observations de la Lune avec le petit réfracteur de 30,5cm de diamètre de la Tour de l'Ouest.

1862 : C'est la parution de "La pluralité des mondes habités" chez Mallet-Bachelier, éditeur de l'observatoire de Paris. Il est sèchement congédié par Le VERRIER. Est-ce à cause de l'ouvrage, de l'édition ... ? Il est réengagé au Bureau des Longitudes par Charles Eugène DELAUNAY, comme calculateur des positions de la Lune publiées dans la « Connaissance des Temps ».

1873 : fort de ses connaissances et de ses pratiques, il rassemble les mesures de nombreux observateurs et commence l'étude du système ζ Cnc. Il est frappé par les irrégularités de l'étoile C et dessine 4 trajectoires (Fig. 3). Il donne une période de 60,45 ans. Mais en analysant les mesures déjà effectuées, il trouve que le mouvement orbital de C autour de AB n'est pas uniforme, et présente un festonnage. Il calcule une période orbitale de 772 ans. Mais il faut faire attention avec les données utilisées, car certains observateurs ont mesuré C par rapport à A et d'autre par rapport à AB/2. L'étoile C s'arrête vers 1836, rétrograde jusqu'en 1840-45, repart jusqu'en 1855, rétrograde de nouveau jusqu'en 1860, puis repart, formant ainsi un cycle de festons d'une période de 19/20 ans

En mars 1874, il communique cette curieuse orbite à plusieurs astronomes (FAYE, Directeur du Bureau des Longitudes, aux frères HENRY de l'Observatoire de Paris, Charles BOISSAY, rédacteurs des "Mondes", ..., et à José GONZALÈS Directeur de l'Observatoire Flammarion à Bogota, Colombie). Il demande à Otto STRUVE, directeur de l'observatoire de Poulkovo, de bien vouloir lui communiquer ses observations.

Otto STRUVE, qui travaille déjà sur un problème similaire de compagnon invisible pour Procyon (α CMI) et pour Sirius (α CMA), ne répond pas à FLAMMARION. En 1873, avec son réfracteur de 38cm de diamètre, la lunette la plus puissante du Monde à cette époque, il croit voir le compagnon perturbateur de ζ Cancri C. En 1874, il est affecté, perturbé, par le jeu de cache-cache du compagnon de Procyon. En effet les deux chiens de la mythologie céleste, Sirius et Procyon ne marchent pas droit. Ils reniflent tantôt d'un côté du sentier, tantôt de l'autre. Son père avait estimé des compagnons invisibles pour Sirius et Procyon. Malheureusement celui de Sirius fut découvert par Alan Graham CLARK (1832-1897) le 31 janvier 1862.

Mais les Américains viennent d'inaugurer la lunette de Washington de 66 cm de diamètre pour une distance focale de 9,90 m. Pour s'assurer d'une éventuelle priorité pour le compagnon de Procyon, il fait part de sa découverte à Simon

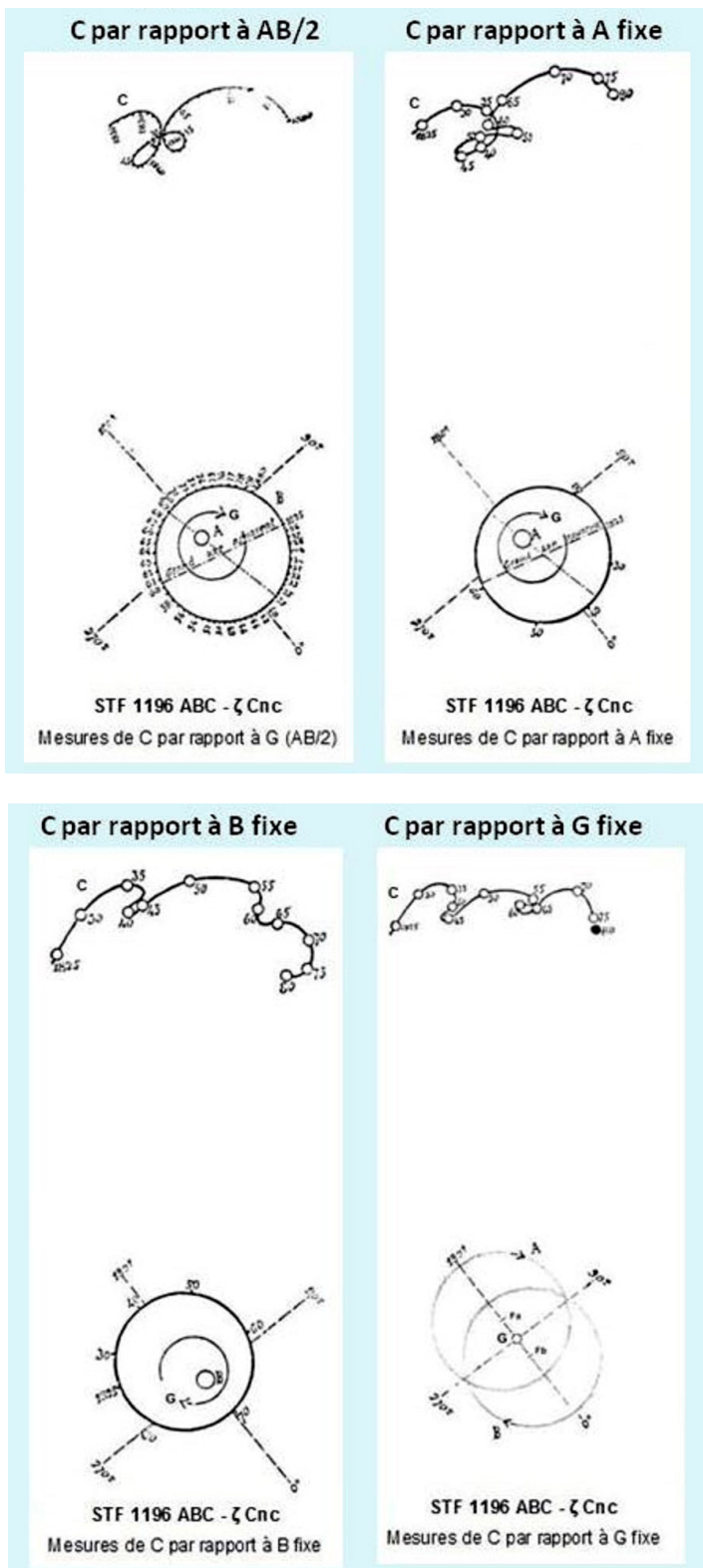


Figure 3 : dessins des trajectoires de la composante C réalisés par FLAMMARION en 1873

NEWCOMB (1835-1909). Dès le printemps 1874, Otto observe Procyon et note la présence du compagnon, et dès le mois de mai, en fait part à la Royal Astronomical Society. Il a un doute et demande à NEWCOMB d'observer Procyon, mais la météo est défavorable. Otto est rongé par le doute, et a peur d'être déconsidéré à la suite de sa note à la Royal Astronomical Society. Car en fait il n'a vu qu'un reflet, il en aura la certitude plus tard. Finalement John Martin SCHAEBERLE (1853-1924) découvrira ce compagnon en 1896.

C'est dans cet état d'esprit qu'Otto STRUVE reçoit la demande de FLAMMARION. Avec son père, depuis 1826, ils suivent

régulièrement ζ Cnc et, pour ne pas perdre le fruit d'un long travail de deux générations, il ne peut pas lâcher ζ Cancrî après avoir été leurré par le Petit Chien. Il ne répond pas à FLAMMARION et ne donne pas ses observations à cet astronome français qu'il considère davantage comme un écrivain.

Il n'a jamais accusé réception de la demande et le 14 décembre 1874, par l'entremise de Le VERRIER, l'Académie des Sciences reçoit de Pulkovo, une note d'Otto STRUVE relative aux : « Mesures micrométriques de l'étoile triple ζ Cnc ».

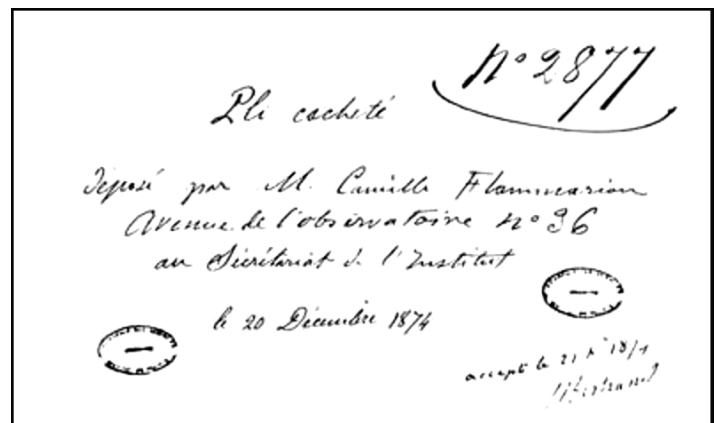
Petite histoire d'un pli cacheté à l'Académie des Sciences

Apprenant cela, FLAMMARION réagit vigoureusement et transmet à son tour à l'Académie des Sciences, le dimanche 20 décembre 1874, un pli cacheté (n° 2877) qui est accepté par Joseph BERTRAND, Président de l'Académie : « Sur l'étoile triple ζ du Cancer ».

Il s'exprime ainsi : « C'est une coïncidence bien remarquable que M. Otto STRUVE ait justement fait cette découverte après avoir reçu ma lettre ; c'en est une autre non moins curieuse qu'il se soit justement occupé de l'analyse de cette étoile en même temps que moi (qui consacrais alors exclusivement mon temps - 1873 et 1874 - à cette analyse des couples rapides); c'en est une troisième qu'il ait construit l'orbite apparente par la méthode graphique que j'employais comme première approximation de préférence à l'analyse mathématique; c'en est une quatrième qu'il ait envoyé sa découverte en France contrairement à ses habitudes allemande et russe, etc ... En raison de ces curieuses coïncidences, j'ai, le jour même de la publication de son travail dans les "Comptes Rendus", remis à l'Académie des Sciences un pli cacheté constatant les résultats auxquels j'étais parvenu, indépendamment de l'astronome russe (ne pas lire rusé) et antérieurement à leur publication. (Ce document est toujours à l'Académie des Sciences, et on le décachettera quand M. Otto STRUVE le désirera) ».

Il sera envoyé à Jean-Claude PECKER, membre de l'Académie des Sciences, et sera ouvert le 23 novembre 1989.

Mais le pli de FLAMMARION est d'un style fleuri dans lequel on perçoit le théoricien. Il est moins précis que celui d'Otto STRUVE,



Pli cacheté de Camille FLAMMARION déposé à l'Académie des Sciences

il ne prend date que sur les résultats, il ne contient aucune conclusion et ne présente aucune hypothèse : « L'orbite de l'étoile B est régulière, peu excentrique, comme on le voit sur la figure ci-incluse (Fig. 4). Cette étoile accomplit autour de A sa révolution en 59 ans. Pour parler rigoureusement, il faut dire que les deux étoiles A et B gravitent ensemble autour de leur centre commun de gravité, situé dans l'espace entre elles-deux. Éloignée à 5 fois environ la distance AB, l'étoile C suit une orbite qui n'a encore été tracée par aucun astronome, et qui a été, de la part de Sir John HERSCHEL entre autres le sujet d'un embarras dont il a déclaré ne pouvoir sortir.

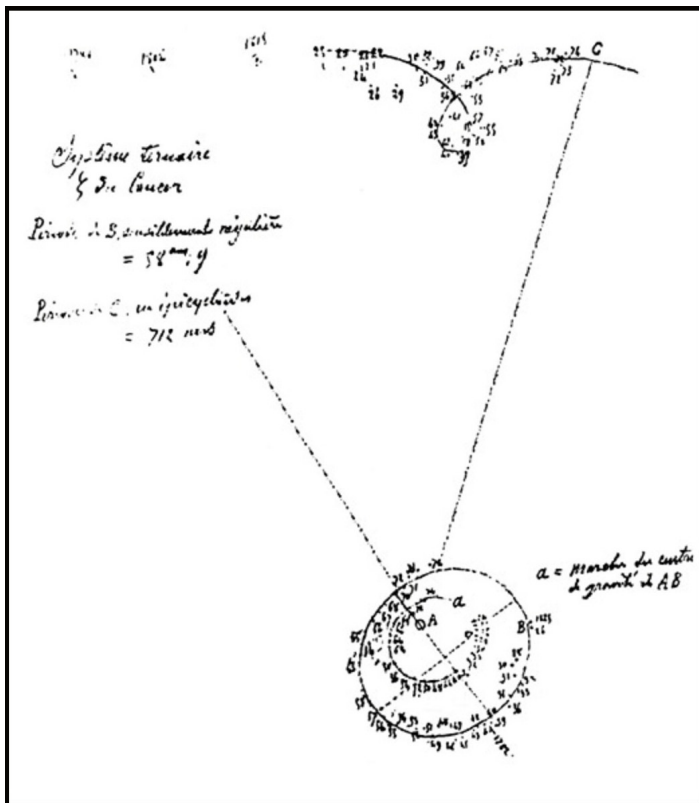


Figure 4 : dessin des trajectoires des composantes du système ζCnc par FLAMMARION envoyé à l'Académie des Sciences en 1874

L'étoile C accomplit sa translation autour du centre de gravité de AB, lequel centre se déplaçant suivant la courbe fermée indiquée sur la figure fait décrire à C le long de son orbite une courbe analogue, comme si l'étoile s'était rattachée à ce centre par une règle rigide.

L'orbite de C se compose ainsi de boucles successives et s'accomplit en 712 ans.

Les deux orbites sont à peu près entre elle comme celles d'Uranus et Jupiter. Cette marche en épicycloïdes est le fait nouveau et capital qui résulte de la comparaison de toutes les observations que j'ai pu réunir ».

Sur le dessin (Fig. 4), il est noté :

AB : P = 58,9 ans et AC : P = 712 ans

Il affina ses calculs dans son catalogue, en 1878 :

AB : P = 60,45 ans et AC : P = 772 ans

La copie du Russe est meilleure. Otto Wilhelm STRUVE, en 9 pages, présente les observations de son père : 26 mesures de AB et 27 mesures de AB/2-C, et les siennes : 90 mesures de AB et 84 mesures de AB/2-C. Les mesures y sont discutées et des propositions d'orbites en sont déduites et expliquées et une analyse détaillée du système est développée et des suppositions de résolution sont proposées. Il étudie avec précision les observations et conclut en supposant la présence d'un quatrième corps, compagnon de l'étoile C, décrivant autour de cette dernière une orbite relative ayant pour rayon 0,3" de degré, dans une période de 20 ans. Bien entendu, il ne cite FLAMMARION en aucun moment.

De 1876 à 1878 Camille FLAMARION observe les étoiles doubles avec le grand réfracteur de 38cm de diamètre et 8,83 m de distance focale, de la Tour de l'Est de l'observatoire de Paris, et en août 1878, il publie le fruit de son travail : « Catalogue des étoiles doubles et multiples en mouvement relatif certain ». En 1882, il écrit dans son livre « Les étoiles et les curiosités du ciel » : « Pour moi, je ne regarde jamais cette toile qui scintille d'une calme lumière dans l'alignement de Castor et Pollux, sans m'intéresser à

ces balancements mystérieux et sans rêver au calendrier fantastique de ce lointain univers ».

En 1887, Vasily d'ENGELHARDT (1828-1915) et en 1913, Giorgio ABETTI (1882-1982), ajoutent 4 composantes (3+1) qui forment 6 systèmes cités dans le WDS sous l'identifiant 08122+1739 de STF 1196. Compte tenu de leur éloignement de ζ Cancri, ils ne sont pas considérés dans la présente étude.

À la poursuite du quatrième corps

En 1888, **Hugo von SEELIGER** (1849-1924) observe au Sternwarte von München avec le réfracteur de 10,5 Zoll (28,4cm) de diamètre et de 15 Füßen (4,87m) avec un pouvoir séparateur $\rho = 0,42''$. Il calcule l'orbite de AB sans tenir compte du compagnon C et trouve : $a = 0,85''$ et $P = 60$ ans

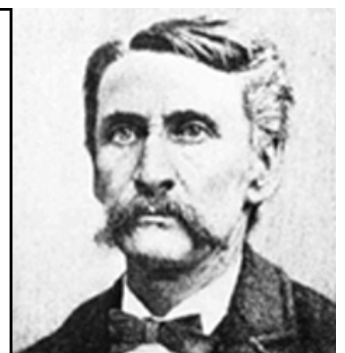
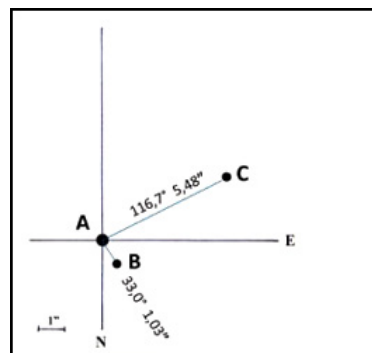
Il constate que le compagnon C n'a pratiquement pas d'action sur les éléments orbitaux de AB, et le barycentre ne diffère pas du milieu de la distance entre A et B. Le mouvement du compagnon C rapporté à A donne une séparation $\rho = 5,44''$ et une période $P = 706$ ans.



Portrait de Hugo von SEELIGER

Par contre, le compagnon C parcourt cette orbite avec un mouvement onduleux, donnant les paramètres orbitaux suivants : demi grand axe de l'orbite $a = 0,22''$, période de révolution P de 17,6 ans et une excentricité de l'orbite $e = 0,111$, avec un passage au périastre $T = 1860,13$.

Il conclut que les irrégularités apparentes dans le mouvement de C seraient expliquées par une quatrième étoile sombre D.



Depuis 1888, **Sherburne Wesley BURNHAM** (1839-1921) travaille au Lick Observatory, au Mont Hamilton, USA. Il observe avec le grand réfracteur de 91cm de diamètre et de 17,60m de distance focale. **En février et mars 1892**, il mesure les paramètres de ζ Cancri et obtient :

- 1892,17 AB $\theta = 33,0^\circ$ $\rho = 1,03''$
- 1892,14 AC $\theta = 116,7^\circ$ $\rho = 5,48''$

Le 9 février 1894, il reçoit la Médaille d'Or de la Royal

Astronomical Society : « *For his Discoveries and Measurements of Double Stars* ».

En 1906, pour vérifier le mouvement du compagnon C, il mesure sa position par rapport à une étoile extérieure au système. Les positions observées (Fig. 5) donnent un mouvement rectiligne. BURNHAM nie la réalité des irrégularités du mouvement de C et les attribue à des erreurs d'observations et note avec quelque perfidie : « *On peut toujours arranger des erreurs pour en tirer quelque chose* ».

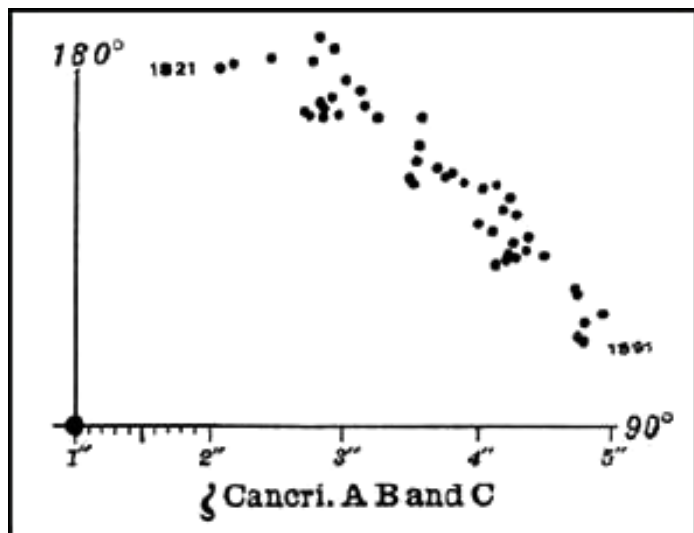
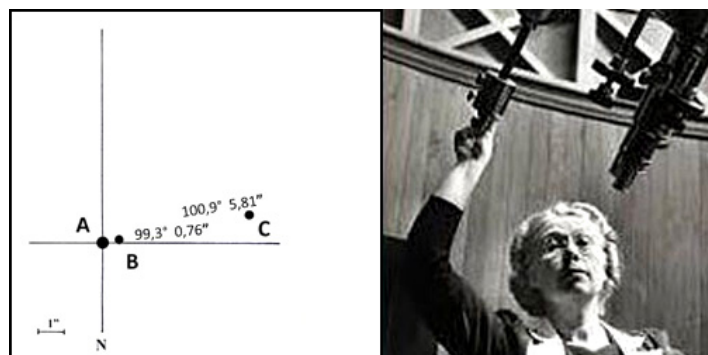


Figure 5 : positions de la composante C reportées par BURNHAM en 1906



En 1933, Maud Worcester MAKEMSON (1891-1977), à la suite des travaux d'Hugo von SEELIGER, étudie le système ζ Cancri et son mystérieux corps sombre. Pour les calculs d'orbite, elle utilise la méthode de Thorvald Nicolai THIELE (1838-1910) et se base sur les mesures publiées par William August DOBERCK (1852-1941) et les combinaisons figurant dans l'ADS à la page 554, à savoir : AB, AC, AB/2-C, BC, AB-D, CD. Elle appelle c (petit c) le compagnon sombre de C. Pour rester homogène avec les écrits précédents, nous l'appellerons D, donc Cc = CD. Elle donne les résultats suivants :

Le système AB :

- Masse $M = 2,177 M_{\odot}$
- Demi grand-axe de l'orbite $a = 0,949'' = 19,77 \text{ua}$
- Période $P = 59,6 \text{ ans}$ (\approx Soleil à Uranus*)

Le système CD :

- Masse $M = 0,386 M_{\odot}$
- Demi grand-axe de l'orbite $a = 0,236'' = 4,92 \text{ua}$
- Période $P = 17,64 \text{ ans}$ (\approx Soleil à Jupiter*)

*Résultats qui confirment ceux de FLAMMARION donnés dans son pli cacheté.

Pour le système AB-CD, c'est-à-dire CD tournant autour de AB, elle donne les éléments orbitaux : $a = 7,285'' = 151,8 \text{ua}$ avec le périastre à 104 ua et l'apoastre à 199 ua $P = 1137 \text{ ans}$ avec passage au périastre $T = 1871,6$ L'ensemble du système ABCD aurait une masse $M = 2,56 M_{\odot}$ (selon MAB+MCD) ou $M = 2,73 M_{\odot}$ (selon le court arc de l'orbite AB-CD).

En 1938, cela fait déjà 5 années que Paul BAIZE (1901-1995) observe avec le petit équatorial de la Tour de l'Ouest de l'observatoire de Paris. Avec un diamètre de 30,5cm et une distance focale de 5,25 m, cet instrument offre une résolution ρ d'environ 0,40". Médecin pédiatre, il s'intéressa aux étoiles doubles depuis son plus jeune âge et son travail sur les étoiles doubles attira l'attention d'Ernest Benjamin ESCLAGON (1876-1954), alors directeur de l'observatoire de Paris qui lui permit d'utiliser ce prodigieux instrument pour un amateur.



Portrait de Paul BAIZE

BAIZE montre que BURNHAM a tort avec sa réflexion sur les irrégularités (Fig. 6). Il donne une des causes possibles des irrégularités sur les mesures. « *La principale source d'erreurs tient à ce que les observateurs n'indiquent pas toujours avec exactitude s'ils mesurent AC ou bien BC, ou bien encore C rapporté milieu de AB. Cependant que l'on considère les mesures de AC ou de AB/2 C, les irrégularités périodiques dans la marche de C persistent, et l'on ne peut aujourd'hui douter sérieusement de leur existence* ».

En 1938, 249 (1er avril), il mesure :

- AB : $\theta = 99,3^{\circ}$ et $\rho = 0,76''$ - AB jaune clair
- AC : $\theta = 100,9^{\circ}$ et $\rho = 5,81''$ - C jaune + foncé
- BC : $\theta = 101,4^{\circ}$ et $\rho = 4,99''$

Il confirme les études de SEELIGER et fait la remarque que les trois étoiles sont alignées.

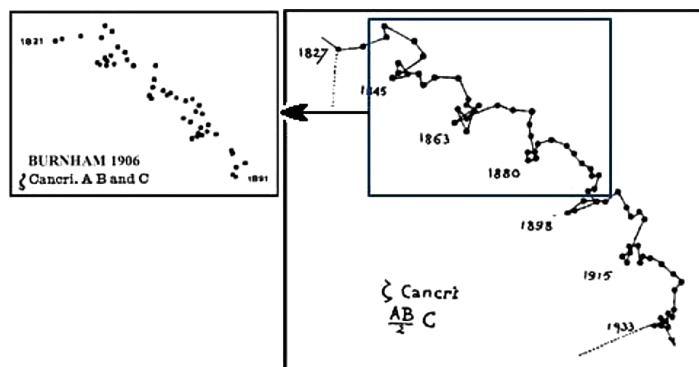


Figure 6 : positions de la composante C reportées par Paul BAIZE

Évocation d'une seconde binaire serrée

En 1949, Peter van de KAMP (1901-1995), directeur de l'observatoire Sproul, s'intéresse aux perturbations de l'orbite C qui lui apparaissent établies hors de tout doute. Il observe avec le réfracteur de 61cm de diamètre et 10,98m de distance focale,

avec un pouvoir de résolution p de $0,20''$. Il reprend l'étude de ζ Cancri. Le but est de voir quels renseignements peuvent être obtenus sur les masses de C et D à partir de l'orbite observée de C. Les observations visuelles observées sont censées se référer au centre du système CD, l'orbite de ce photo-centre est supposée similaire à l'orbite relative de CD.



Portrait de Peter Van de KAMP

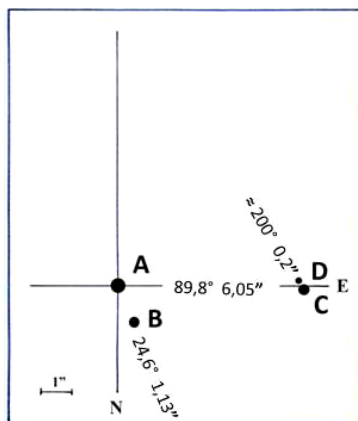
Pour la valeur adoptée d'une parallaxe de $0,039''$, la valeur linéaire du demi grand axe est de $6,05$ ua. Tant que le compagnon D demeure invisible nous ne pouvons pas connaître la valeur du demi grand axe de l'orbite relative de C et D.

Toutefois, elle peut être estimée en faisant des hypothèses raisonnables sur la somme des masses. Puisque C est une étoile de type G0 sur la séquence principale, la masse du système CD est susceptible d'être supérieure à la masse du Soleil. Pour affiner le choix, il suppose que la masse de C soit égale à la masse du Soleil, $M+m$ donnerait $2,7 M_{\odot}$ et $1,7 M_{\odot}$, le demi grand axe de l'orbite relative serait alors de $9,4$ ua soit $0,37''$. Il conclut à la présence effective d'un compagnon D et d'une magnitude deux à trois fois plus pâle que C.

C'est Peter van de KAMP qui a suggéré pour la première fois que le composant invisible D de ζ Cnc pourrait être une naine blanche et même une binaire, ce qui ferait de ζ Cnc un système quintuple.

Charles GASTEYER (1927-1978) travaille au Dearborn Observatory, Evanston, Illinois, USA. En 1954, à partir d'observations photographiques réalisées depuis 1914, et ses propres mesures, il donne les résultats suivants, et il nomme D le compagnon de C. :

- **AB : $\theta = 24,6^{\circ}$ et $p = 1,13''$**
- **AC : $\theta = 89,8^{\circ}$ et $p = 6,05''$**



Il confirme l'hypothèse de Peter van de KAMP que D serait une naine blanche. Ce compagnon serait de m_{gv} de 8 à 10 et à $0,2''$ de C. Il détermine les différences de magnitudes, les orbites et les masses des différentes combinaisons :

• **différences de magnitude :**

- AB = Δm 0,3
- BC = Δm 0,2
- AB-C = Δm 1,1

• **orbites :**

AB :	P = 59,7 ans	e = 0,32	T = 1930
AB-C :	P = 1150 ans	e = 0,26	T = 1960
CD :	P = 17,5 ans	e = 0,11	T = 1944

• **masses :**

- MA = $0,99 M_{\odot}$
- MB = $0,88 M_{\odot}$
- MC = $0,90 M_{\odot}$
- MD = $0,90 M_{\odot}$

Avec l'ère de l'interférométrie appliquée aux grands télescopes, les astronomes disposent de puissants moyens pour observer les étoiles doubles très serrées. En vain, à l'observatoire de Kitt Peak (Kitt Peak National Observatory ou KPNO), près de Tucson en Arizona, USA, avec le télescope Mayall de 4m de diamètre, ils n'ont jamais rien décelé malgré de nombreuses tentatives qui s'échelonnent de 1974 à 1990.

Simultanément, la vitesse radiale de ce système est surveillée dans le but d'observer le couple CD comme binaire spectroscopique. En 1975, **Helmut Arthur ABT** (1925 -) trouve bien une variation de vitesse du compagnon D durant les 17,5 années de période, mais il juge ses données insuffisantes pour en tirer des éléments spectroscopiques.

En 1983, **Donald William McCARTHY Jr** annonce la détection du fameux compagnon de C, par l'interférométrie des tavelures en infrarouge. Il présente des résultats obtenus avec les télescopes Bok de 2,3 m et Mayall de 4 m des observatoires Stewart et Kitt Peak en Arizona. Le compagnon aurait été décelé à la longueur d'onde de $2,2 \mu\text{m}$ et à seulement 10° de la position angulaire prédite, et avec une séparation de $0,34''$ de l'étoile C, position prédite par Otto STRUVE en 1874. La masse de ce corps D serait de 1,25 masse solaire, soit un peu plus fort que celle calculée par l'astrométrie.

Problème résolu en astrométrie, mais non en astrophysique.

Wulff Dieter HEINTZ (1930-2006) a été une des figures géantes dans l'astronomie des étoiles doubles pendant de nombreuses décennies. Il reste le plus grand contributeur privilégié d'orbites pour le sixième catalogue d'étoiles binaires visuelles. Il travaille au Sproul Observatory, Swarthmore, Pennsylvanie, USA, et il observe avec le réfracteur qu'a utilisé Peter van de Kamp avant lui.



Portrait de Wulff Dieter HEINTZ

Il poursuit l'étude et les discussions sur ζ Cancri, système très complexe qui se compose d'une paire visuelle AB (magnitudes 5,6-6,0 classe spectrale F8 V) et d'une étoile C éloignée à 6" (magnitude 6,3 classe spectrale G0 V) avec un composant D non résolu sur une orbite de 17 ans.

La période de CD autour de AB est d'environ 1100 ans et l'épicycle de C a été observé neuf fois. L'objet est inhabituel par les quatre masses presque égales.

La figure 7 représente le système de ζ Cancri soumis à l'étude de W. D. HEINTZ.

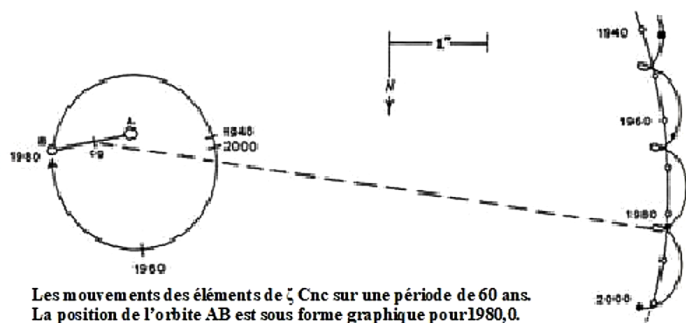


Figure 7 : les orbites selon Heintz

Pour son étude, datée de 1993, il a opté pour quelques simplifications :

- l'orbite de CD est assez petite pour ne pas être sensiblement perturbée.
- les masses de C et D étant presque égales, CD peut être approximativement considéré comme un seul corps agissant sur l'orbite de AB.

Pour accomplir cette étude, il dispose de 3000 observations visuelles sur 170 ans de la paire AB, et quelques mesures speckle récentes. Les positions de C proviennent également de nombreuses observations visuelles et photographiques, de 135 plaques de parallaxe du réfracteur de Sproul réparties sur 69 ans et des mesures avec quatre étoiles de référence.

La parallaxe adoptée est $0,045'' \pm 0,002$.

De nombreuses mesures visuelles, en particulier dans les petits télescopes, sont enregistrées sous forme de AB/2-C, sans préciser exactement le point de référence, comme le centre géométrique ou le centre lumineux de AB. Avec le réfracteur de 61 cm de diamètre du Sproul Observatory il mesure :

- 1992,11 AB : $\theta = 149,6''$ $\rho = 0,66''$
- 1992,12 AB-C : $\theta = 78,5''$ $\rho = 6,43''$

En 1996, il donne :

• **les éléments orbitaux :**

CD : $P = 19,5$ a = $0,3728''$ $e = 0,5967$ $T = 1748$

• **les masses solaires :**

A = $1,11 M_{\odot}$
 B = $1,00 M_{\odot}$
 C = $0,99 M_{\odot}$
 D = $0,93 M_{\odot}$

Ce qui est en désaccord avec le rapport de masse des étoiles simples de classe G et M.

• **Magnitude visuelle et type spectral :**

mgv A = 5,6 F8V - mgv B = 6,0 F8V - mgv C = 6,2 G0V

Ses travaux le conduisent à formuler que D serait une naine blanche massive

John Barrie HUTCHINGS (1941 -) est un astronome à l'Herzberg Institute of Astro-physics, National Research Council of Canada à Victoria, en Colombie Britannique. **Roger Francis GRIFFIN** (1936 -) est astronome à l'observatoire de Cambridge dans l'Est de l'Angleterre.

Dans leur publication, après avoir rappelé ce qui est connu du système ζ Cancri, ils se posent la question principale restée en suspens : quelle est la nature du compagnon D de l'étoile C, puisque l'orbite de C a révélé un compagnon de masse comparable et une distance $\rho \approx 0,4''$? C'est clair qu'il doit être beaucoup plus pâle aux longueurs d'onde visibles. Ils suggèrent par conséquent que ce compagnon serait une naine blanche ou bien une paire serrée d'étoiles de classe M assez faible dans le visible. Cette binarité de D a déjà été évoquée par Peter van de KAMP.

En janvier et février 2000, ils observent à Hawaï avec le télescope de 3,58m (CFHT = Canada France Hawaï Telescope) équipé d'une caméra à optique adaptative, aux longueurs d'onde de 1,2 et 1,7 et 2,2 μ m. Ils mettent en évidence le compagnon D (Fig. 8) et ils concluent que les différences de couleur entre C et D montrent un type spectral G0 et M2.

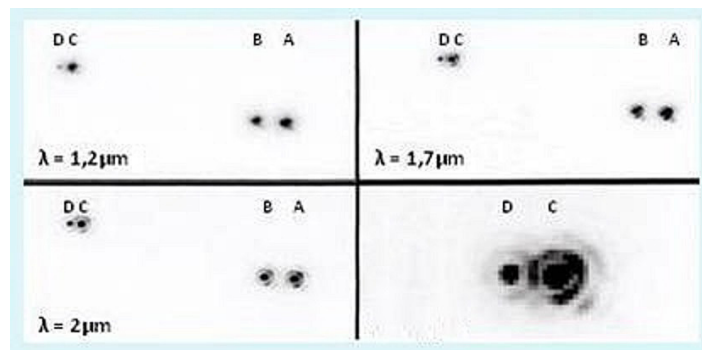


Figure 8 : image de ζ Cancri guidée sur l'étoile C. Le Nord est à $2,8^\circ$ à gauche de la verticale et l'Est est à gauche.

Les filtres sont :

- J (en haut à gauche, $1,2\mu\text{m}$),
- Continuum de Fe II (en haut à droite, $1,7\mu\text{m}$),
- Bry (en bas à gauche, $2\mu\text{m}$).

En bas à droite est le détail de la Paire CD avec filtre continuum Fe II. Séparation de CD de $0,32''$.

En reprenant les masses solaires calculées par HEINTZ en 1996 (C = $0,99 M_{\odot}$ et D = $0,93 M_{\odot}$) le compagnon D serait une binaire non résolue de classe M. Le rapport de masse C/D ne concorde pas avec le rapport de masse des étoiles simples de type G et M de la séquence principale. Toutefois si D est un système binaire de deux étoiles proches de type spectral M2 la masse serait de $0,78 M_{\odot}$, et pour une paire de type M0, la masse serait de $0,94 M_{\odot}$.

HUTCHINGS renforce l'évocation d'Otto STRUVE par une orbite spectroscopique qu'il appelle HUT 1 Ca,Cb et dont les paramètres sont les suivants (Fig. 9) :

Système Ca-Cb :

- $a = 0,3728''$
- $P = 19,05$ ans
- $e = 0,088$
- $T = 1973,05$
- **grade 4.**
-

Les mesures en angle de position et de séparation, sont :

le 24 janvier 2000 :

- AB : $\theta = 83,69''$ $\rho = 0,837''$
- Ca-Cb : $\theta = 86,2''$ $\rho = 0,336''$

21 février 2000 :

- AB : $\theta = 82,97''$ $\rho = 0,841''$
- Ca-Cb : $\theta = 84,5''$ $\rho = 0,317''$

Toutes les étoiles sont à la même distance. L'utilisation de la magnitude absolue pour obtenir le Δm entre Ca et Cb ($M - M = 5 \log(D) - 5$ soit $m = M - 5 + 5 \log(D)$ avec D en parsecs) donne :

Δm dans le V ($0,5\mu m$) = 4,5 si Cb est de classe M2 et 3,5 si Cb est de classe M0 par rapport à G0

Δm dans le K ($2,2\mu m$) = 4,1 si Cb est de classe M2 et 3,5 si Cb est de classe M0 par rapport à G0

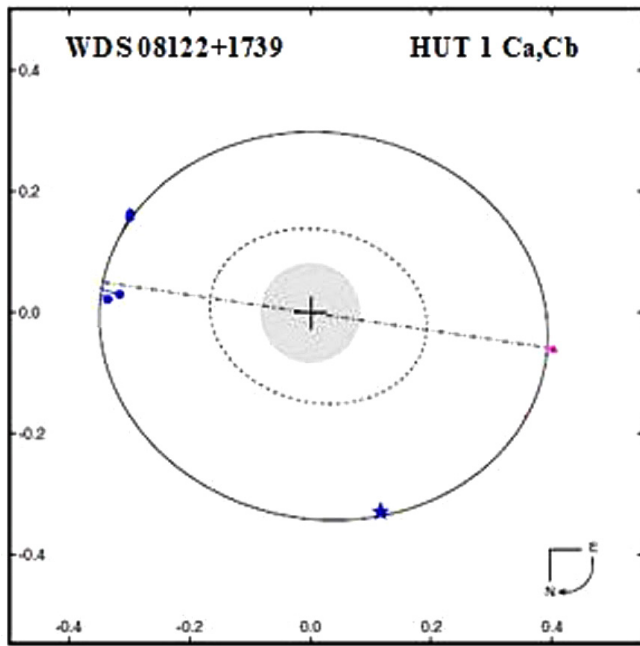


Figure 9 : Orbite spectroscopique de Ca-Cb

Mise en évidence d'une 5ème composante ?

À la même époque, **Andrea RICHICHI** (1962 -) travaille à l'European Southern Observatory à Garching, près de Munich, en Allemagne. Il observe à l'observatoire de Calar Alto. Jusqu'en 2018, cet observatoire était conjointement géré par le gouvernement régional d'Andalousie, Espagne, et l'Institut Max Planck d'Heidelberg en Allemagne. Maintenant c'est le Centro Astronomico Hispano en Andalucia, en Espagne.

Le 07 décembre 1998 avec le télescope de 1,23m, il constate un compagnon supplémentaire dans le système de ζ Cnc. Cette découverte a été faite lors d'une occultation par la Lune. Les résultats de ses travaux sont publiés en décembre 2000.

Un filtre de large bande K standard à $2,2\mu m$ et un diaphragme de $21''$ sont utilisés. Le signal est à la limite de détection, mais il est confirmé par trois méthodes d'analyse de données indépendantes. Ce sont :

- **Figure 10**, la méthode LSM utilise un modèle-ajustage de précision de moindres carrés pour s'adapter à la courbe de lumière obtenue par occultation. Dans le cas de binaire les paramètres obtenus sont la position et la luminosité de chaque composante. Le trait plein est le meilleur ajustement LSM pour une partie de la courbe de lumière qui englobe le système CD uniquement. Les points sont les données fournies par l'occultation lunaire LO.

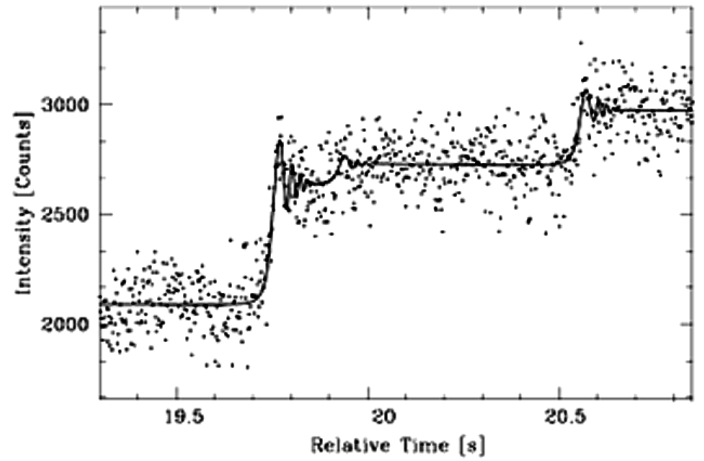


Figure 10 : profil de luminosité selon la méthode LSM

- **Figure 11**, la méthode BB, dite "Pont de Bolzano" consiste en une sorte d'intégration des données de calcul. Le tracé qui en résulte se compose idéalement en ligne segmentée. Les points où se produisent les changements de pente sont indicatifs de la présence de composantes stellaires (semblables à des points) et sont marqués par des étiquettes C, D, E.

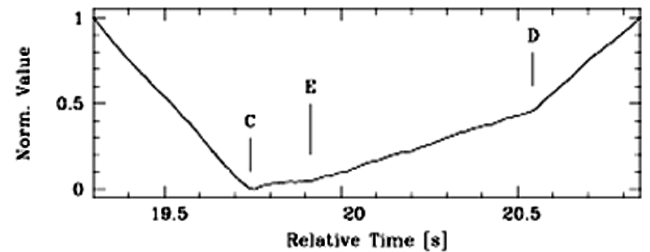


Figure 11 : profil de luminosité selon la méthode BB

- **Figure 12**, la méthode CAL est utilisée en l'absence d'informations sur le profil de luminosité de la source. Un profil initial est modifié par itération en utilisant un algorithme jusqu'à ce qu'un critère de convergence soit satisfait. Dans ce cas, les itérations ont cessé lorsque l'écart atteint a été le même que celui obtenu avec la méthode LSM.

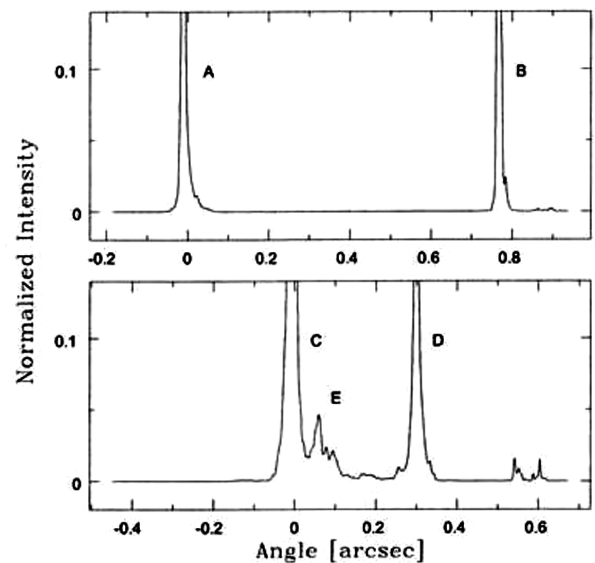


Figure 12 : partie supérieure : Profil de luminosité récupéré par la méthode de CAL pour une section de 3,2s de la courbe de lumière centrée sur la paire AB. Partie inférieure : Idem, avec la section à 3,2s centrée sur la paire CD. La pointe supplémentaire au-dessus du niveau de bruit, est révélatrice de la présence de E

Le point principal est que les 3 méthodes conduisent à la présence d'un compagnon supplémentaire appelé E par RICHICHI, dans le système CD.

Par les occultations lunaires :

CD = orbite en 17,5 ans

CE = orbite en ≈ 2 ans

1998,34 - HEINTZ

C-D $\theta = 116^\circ$ et $\rho = 0,32''$

2000,06 - HUTCHINGS-GRIFFIN

Ca-Cb $\theta = 86,2^\circ$ et $\rho = 0,336''$ (Ca-Cb = CD)

2000,10 HEINTZ

C-D $\theta = 91^\circ$ et $\rho = 0,37''$

2000,14 - HUTCHINGS-GRIFFIN

Ca-Cb $\theta = 84,5^\circ$ et $\rho = 0,317''$ (Ca-Cb = CD)

2000,04 - RICHICHI

(band K)

AB : $\theta = 99,3^\circ$ et $\rho = 0,7747'' \pm 0,0021$ m1 - m2 : 4,60 - 4,89

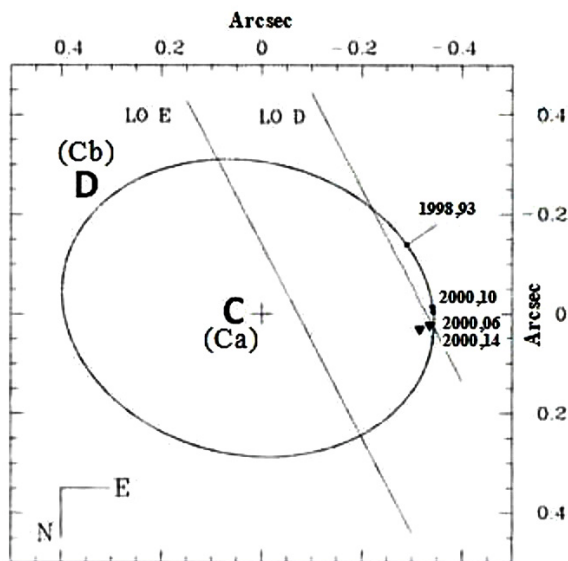
AC : $\theta = 114,0^\circ$ et $\rho = 5,0600'' \pm 0,019$ m1 - m2 : 4,60 - 5,15

Ca-Cb : $\theta = 117,3^\circ$ et $\rho = 0,2928'' \pm 0,0013$ m1 - m2 : 5,15 - 5,99

CE : $\theta = 117,3^\circ$ et $\rho = 0,0637'' \pm 0,006$ m1 - m2 : 5,15 - 7,02

Si E devait être beaucoup plus proche de C que de D, cela pourrait être une naine de classe M2 à M5 avec une période aussi courte que 2 ans environ.

Il ne faut pas confondre le compagnon E cité par Andrea RICHICHI avec celui de Vasily ENGELHARD recensé dans le WDS (ENH 1 AB, E et EF) situé à plus de 9 minutes de degré de ζ Cancri.



Orbite calculée de D autour de C.

En février 2008, **Jean-Claude THOREL** observe à l'observatoire de Nice, par bonnes nuits et images nettes, avec le réfracteur de 50cm de diamètre utile et de 7,501m de distance focale, équipé d'un micromètre à enregistrement électronique. Il mesure dzêta Cancri AB et AB-C. Il n'aperçoit pas le dédoublement de C, et compare ses observations avec les orbites calculées.

AB : orbite calculée par Staffan SÖDERHJELM

(Sod1999 - grade 1)

P = 60 ans - T = 1889,19

a = 0,862'' - e = 0,32

• **Calculé :** 2008,137 $\theta = 43,3^\circ$ $\rho = 1,03''$

• **Observé :** 2008,137 $\theta = 43,3^\circ$ $\rho = 1,12''$

• **Écart O-C :** $\theta = 0,0^\circ$ $\rho = +0,09''$

AB-C : orbite calculée par Wulff Dieter HEINTZ

(Hei 1996b de grade 4)

P = 1115 ans - T = 1970

a = 7.70'' - e = 0,34

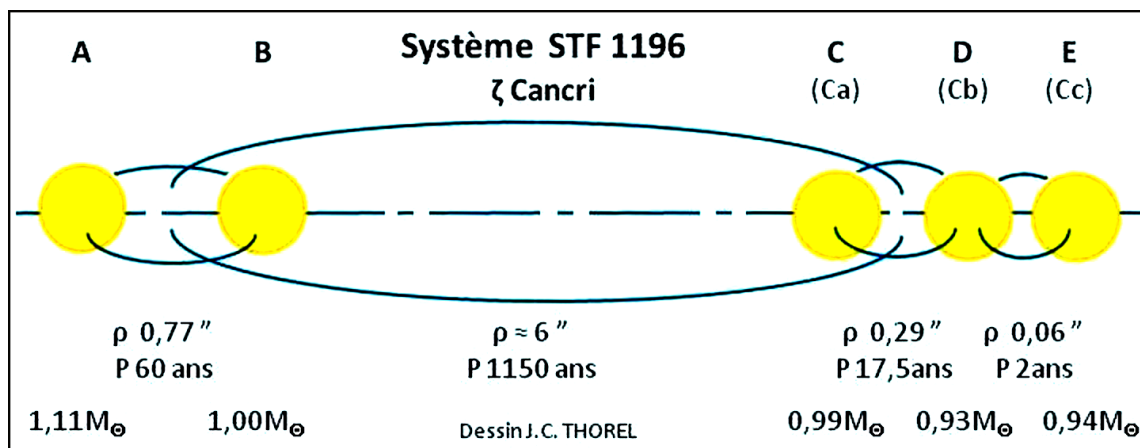
• **Calculé :** 2008,137 $\theta = 69,2^\circ$ $\rho = 5,91''$

• **Observé :** 2008,137 $\theta = 68,1^\circ$ $\rho = 6,09''$

• **Écart O-C :** $\theta = -1,1^\circ$ $\rho = +0,18''$

Appellation de ζ Cnc dans les différentes publications

- **ζ Cnc** - Uranometria de Johann BAYER, 1603
- **16 Cnc** - Historia Coelestis Britannica de FLAMSTEED, 1725
- **ADS 6650** - New General Catalogue of Double stars within 120° of the North Pole de Robert Grant AITKEN, 1932
- **AGK3+17°867** - Astronomische Gesellschaft Katalog (Dritte), 1975
- **BD+18°1867** - Bonner Durchmusterung, 1862-1883
- **BDS 4477** - A General Catalogue of Double Stars within 121° of the North Pole de Sherburne Wesley BURNHAM, 1906
- **CCDM 08123+1738** - Catalogue des Composantes d'étoiles Doubles et Multiple 1994 et 2002.
- **GC 11142-11143** - General Catalogue of 33,342 Stars, Benjamin Boss, 1936.
- **HD 68257-68255-68256** - Henry Draper Catalogue of Stellar Spectra, 1918-1924
- **H I.24 et H III.19** - XII - Catalogue of double Stars, by M. HERSCHEL F.R.S. - The Philosophical Transactions of the Royal Society of London, vol. 72, 1782, pages 121 et 132.
- **HIP 40167** - HIPPARCOS Double and Multiple Systems Annex
- **HR 3208-3209-3210** - Harvard Revised Photometry Catalogue créé en 1908 par l'observatoire de Harvard.
- **SAO 97645-9764** - Smithsonian Astrophysical Observatory Star Catalogue.



Représentation graphique des combinaisons des cinq étoiles

- **Sh 90** - Observations of the Apparent Distances and Positions of 380 Double and Triple Stars, Made in the Years 1821, 1822 by SOUTH James et HERSCHEL John - The Philosophical Transactions of the Royal Society of London, vol. 114, 1824, p 115-116.
- **STF 1196** - Stellarum Duplicium et Multiplicium Mensuræ Micrometricæ. Petropoli, 1837 Friedrich Georg Wilhelm STRUVE
- **Tegmine** - Le nom propre Tegmine a été officialisé pour l'étoile **ζ Cancri A** par l'Union astronomique internationale le 12 septembre 2016.
- **WDS 08122+1729** - Washington Double Star catalogue maintained by the United States Naval Observatory.

Références bibliographiques

- **BAIZE Paul** - Système où l'existence d'un corps invisible est certaine - L'Astronomie, Société Astronomique de France, 1936, p 376
- **BAIZE Paul** - Mesures d'étoiles doubles faites à l'équatorial de 0,305 m de l'Observatoire de Paris- Journal des Observateurs, vol. 26, n° 7, p. 69, juillet 1943
- **BATTEN Alan** - The Lives of Wilhelm and Otto STRUVE - Reidel Publishing Company, Dordrech, Holland
- **BURNHAM Sherburne Wesley** - Double star observations made with L 36inch and L 12inch in Lick from August 1888 to June 1892 - Publications of the Lick Observatory of the University of California Vol. II, p 66, 1894
- **BURNHAM Sherburne Wesley** - For his Discoveries and Measurements of Double Stars - Memoirs of the Royal Astronomical Society, vol. LIII, p.309-1899
- **BURNHAM Sherburne Wesley** - A General Catalogue of Double Stars within 121° of the North Pole - 1906, The Carnegie Institution of Washington
- **COUTEAU Paul** - Les dessous d'un pli cacheté déposé par Camille FLAMMARION - La vie des Sciences - Comptes rendus, série générale, tome 7, 1990, n° 1, p. 81
- **FLAMMARION Camille** - Catalogue des Étoiles Doubles et Multiples en Mouvement Relatif Certain - pp 47/49, 1878 - Imprimeur-Libraire GAUTIER-VILLARS, Paris
- **FLAMMARION Camille** - Les étoiles et les Curiosité du Ciel - pp337/342, 1892 - Librairie MARPON et FLAMMARION
- **FLAMMARION Camille** - Mémoires Biographiques et Philosophiques d'un Astronome - 1911 - Ernest FLAMMARION éditeur
- **GASTEYER Charles** - The Quadruple system ζ Cancri - Astronomical Journal, vol. 59 Number 7 n° 1219 pp 242-250 August 1954
- **GRIFFIN Roger Francis** - Spectroscopic Binary Orbits from Photoelectric Radial Velocities - Paper 150 : ζ Cancri C - The Observatory, volume 120, n° 1154, February 2000.
- **HEINTZ Wulff Dieter** - Mikrometermessungen von Doppelsternen - Astronomische Nachrichten Band 285 Heft 5/6 pp 249/254 1960
- **HEINTZ Wulff Dieter** - Observations (3320) of 1150 double stars and 221 new double stars (HEI 610 to HEI 683) with L 61cm, L 91cm, T 60cm, T 100cm and T 91cm - XV - Astrophysical Journal Supplement Series, n° 83 p 362 December 1992
- **HEINTZ Wulff Dieter** - Observations of double stars and new pairs - XVII - 722 ** et new HEI 850 to HEI 900 with L 61cm - Astrophysical Journal Supplement Series, vol. 105-p. 475/480-August 1996
- **HEINTZ Wulff Dieter** - A Study of Multiple star System - ζ Cancri (ADS 6650) - Astronomical Journal, vol 111 n° 1-pp 408-411 January 1996
- **HUTCHINGS John Barrie** - Direct Observation of the Fourth Star in the ζ Cancri system - Publication of the Astronomical Society of the Pacific, n° 112, p 833-836, June 2000
- **KAMP Peter van de** - On the Mass of the Unseen Companion in ζ Cancri - Astronomical Journal, vol. 053-n° 07/1171-p. 207/209-June 1948
- **LEWIS Thomas** - Mesures of the Double Stars contained in the Mensuræ Micrometricæ of F.G.W. STRUVE - Memoirs of the Royal Astronomical Society, 1906
- **MAKEMSON Maud Worcester** - The Multiple System of Zeta Cancri - Astronomical Journal, vol. XLII n° 17/988 April 1933
- **RICHICHI Andrea** - An investigation of the multiple star Zet Cnc by a lunar occultation - Astronomy & Astrophysics, vol. 364-p. 225/231-September 2000
- **SEELIGER Hugo von** - Fortgesetzte untersuch, über das mehrfache system ζ Cancri- Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in München, 1888
- **SEELIGER Hugo von** - Bemerkung über Dzêta Cancri - Astronomische Nachrichten Band 128 n° 3051 p. 047. 1891
- **SEELIGER Hugo von** - Über das Mehrfache Sternsystem ζ Cancri - Astronomische Nachrichten Band 199 n° 4769 p. 273. 191
- **SOUTH James** - Observations of the Apparent Distances and Positions of 380 Double and Triple Stars, Made in the Years 1821, 1822, and 1823 - The Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1824, vol. III, page 115
- **SOUTH James** - Observations of the Apparent Distances and Positions of 458 Double and Triple Stars, Made in the Years 1823, 1824, and 1825; together with a re-examination of 36 stars of the same description, the distances and positions of which were communicated in a former Memoir - The Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1826, page 322
- **THOREL Jean-Claude** - Mesures de 61 étoiles doubles visuelles, 20ème série, avec L 52cm de Nice - Observations et Travaux, n° 72, page 17/20, mai 2009
- **STRUVE Otto** - Mesures micrométriques de l'étoile triple ζ Cancer - Comptes rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, tome 79 - juillet/août 1874, page 1463.



Jean-Claude Thorel

Invité scientifique à l'Observatoire de la Côte d'Azur, Jean-Claude est un observateur chevronné qui a produit plus de 6 000 mesures micrométriques d'étoiles doubles avec les grands réfracteurs de l'observatoire. Passionné d'histoire et habile dessinateur, il est aussi l'auteur d'ouvrages historiques et recueils de dessins