

Détermination du type spectral des étoiles symbiotiques

Application aux évolutions du système symbiotique CI Cygni durant son outburst et éclipse de 2010

François Teyssier

25 12 2010

Objectif : apprécier le type spectral de la géante rouge d'un système symbiotique et son évolution à partir de la mesure d'un indice TiO

Référence : The cool components of symbiotic stars, S. J. Kenyon & T. Fernandez Castro, A. J., Vol. 93, 1987 (ci après : K87)

1. Définition des indices
2. Relations Indices TiO et type spectral
3. Application au système Ci Cygni

1. Définition des indices

L'estimation du type spectral est réalisée par la mesure du flux du continuum au niveau de bandes d'absorption TiO.

Dans cette publication, faisant référence aux travaux de O'Connell (1973), les indices TiO sont définis par :

$$[\text{TiO}] = -2.5 \times \log \left[\frac{F(\lambda_2)}{F(\lambda_1) + [F(\lambda_3) - F(\lambda_1)] \times \frac{(\lambda_2 - \lambda_1)}{(\lambda_3 - \lambda_1)}} \right]$$

Avec $F(\lambda_i)$ = moyenne de la valeur du continuum sur un intervalle de 30Å centré sur λ_i

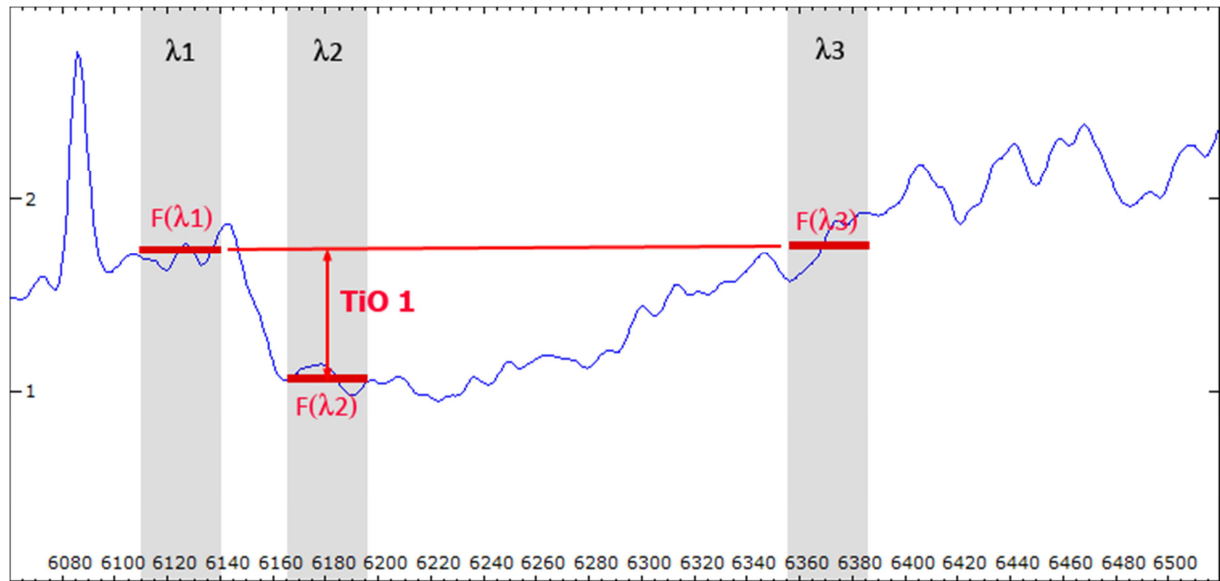
L'indice TiO1 mesure la profondeur de la bande 6180

$$[\text{TiO}]1 = -2.5 \times \log \left[\frac{F(6180)}{F(6125) + [F(6370) - F(6125)] \times 0.2245} \right]$$

Avec :

	λ	Intervalle
λ_1	6125 Å	[6110 ; 6140]
λ_2	6180 Å	[6165 ; 6195]
λ_3	6370 Å	[6355 ; 6385]

Les longueurs d'onde ont été adaptées par Kenyon et Fernandez Castro de façon à éviter l'influence de la raie [Fe VII] I 6078, présente dans les systèmes symbiotiques de forte excitation



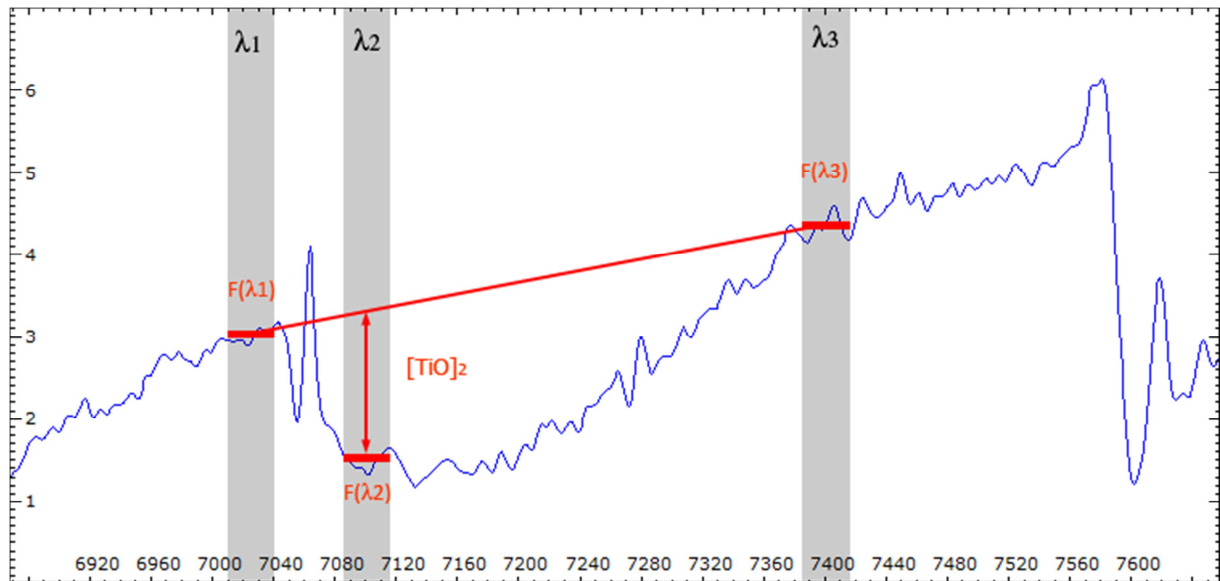
Les longueurs d'onde, intervalles de mesure du flux et mesure de l'indice représentés sur un spectre basse résolution de l'étoile symbiotique CI Cygni (30/06/2010). On note sur la gauche du graphe la raie [Fe VII] I 6087. Le domaine de mesure $\lambda 1$ a été défini de façon à éviter l'influence de cette raie sur la mesure $F(\lambda 1)$

Il s'agit donc de déterminer la profondeur de la bande d'absorption par rapport au continuum interpolé au niveau de la longueur d'onde choisie.

Indice [TiO]₂

Il est défini à partir des longueurs d'onde suivantes :

	λ	Intervalle
$\lambda 1$	7025 Å	[7010 ; 7040]
$\lambda 2$	7100 Å	[7085 ; 7115]
$\lambda 3$	7400 Å	[7385 ; 7415]

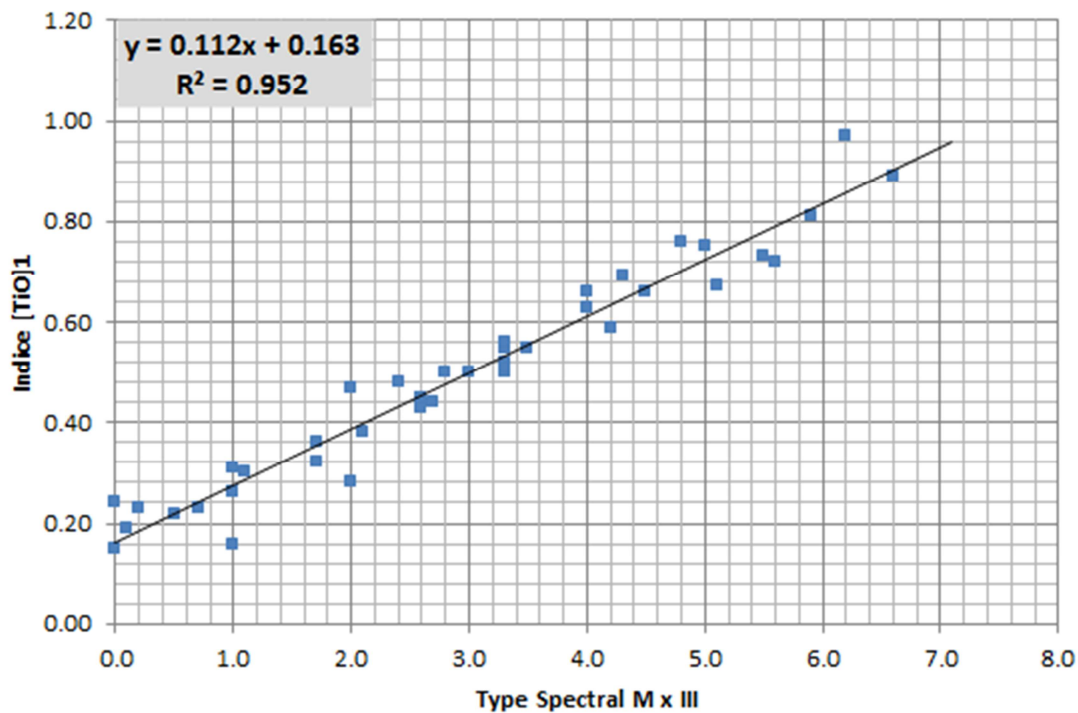


Indice TiO2 sur un spectre de C1 Cygni

2. Relations Indices TiO et type spectral

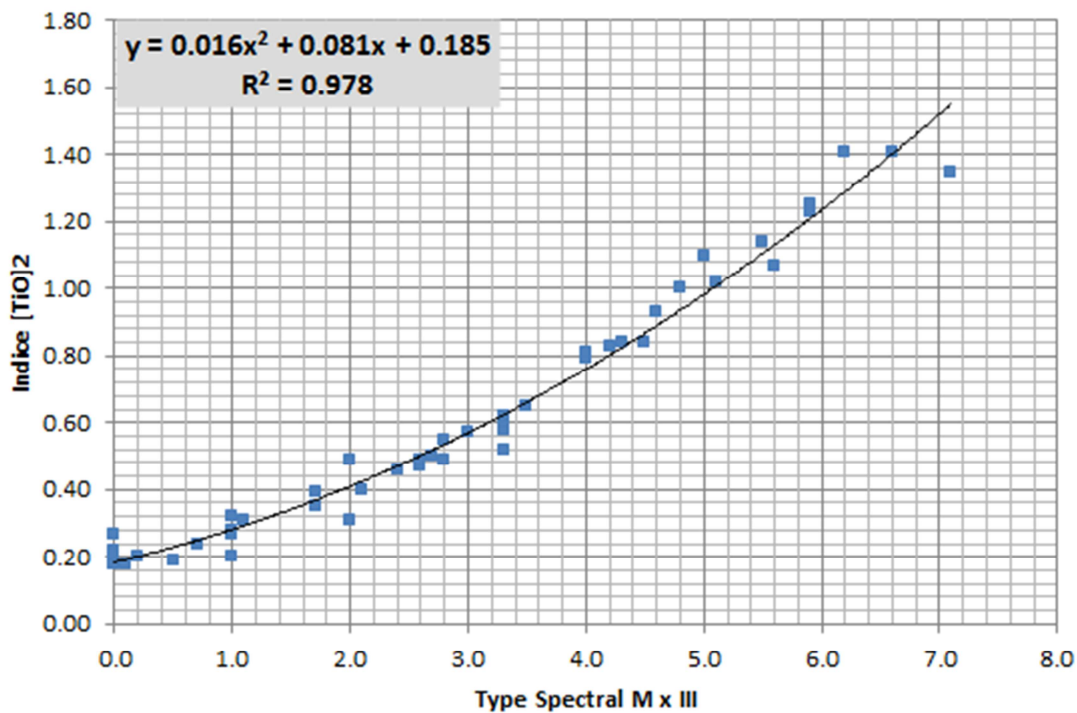
Dans K87, les mesures des indices $[TiO]_1$ et $[TiO]_2$ de plusieurs dizaines d'étoiles, sont alors corrélées avec le type spectral. Les variations des indices sont monotones par rapport au type spectral. Pour les géantes MIII, la dispersion est faible. K87 notent que cette dispersion est plus élevée dans le cas des super-géantes M1 et M2.

Les résultats des corrélations pour les géantes MIII sont présentés dans les deux graphes ci-dessous. La régression est calculée par Excel 2010.



Graph 1 : Corrélation Indice TiO1 en fonction du type spectral de géantes MIII

La corrélation est bonne avec un coefficient de 95%, conformément aux conclusions de K87.



Graph 2 : Corrélation Indice TiO1 en fonction du type spectral de géantes MIII

La meilleure corrélation est cette fois une régression polynomiale d'ordre 2 avec encore une bon coefficient de corrélation atteignant 98%.

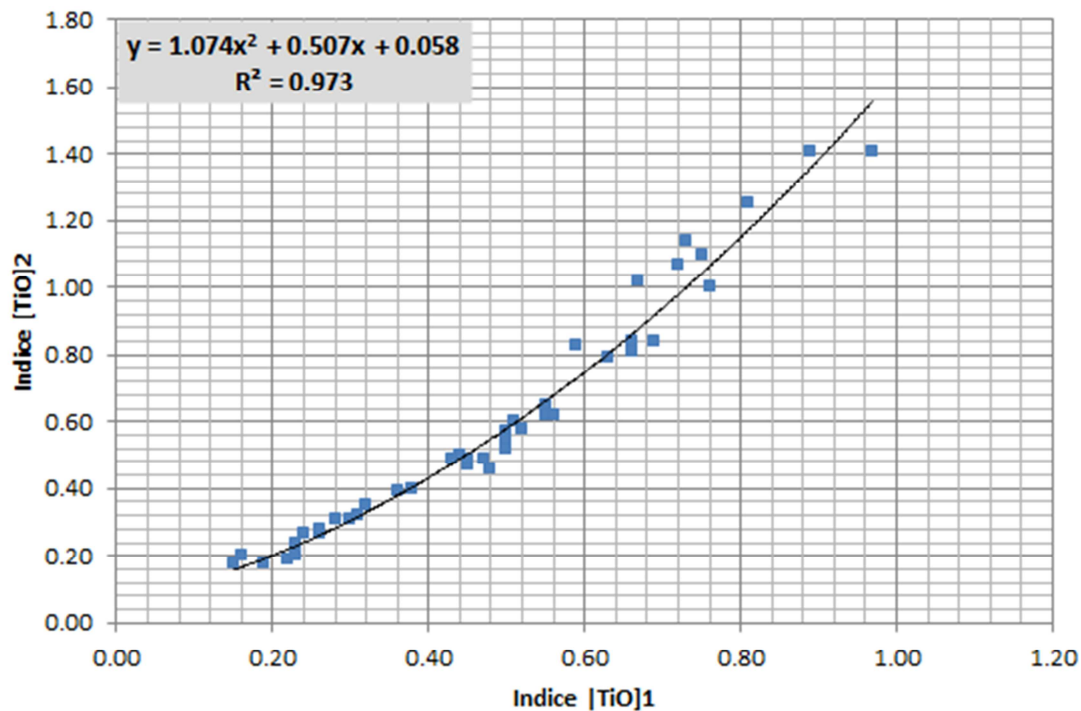
Les corrélations inverses (graphes 3 et 4 en annexe) permettent déterminer le type spectrale en fonction des indices TiO.

Pour $[TiO]_1$, cela donne :

$\text{Type spectral MIII} = 8.518 * - 1.2*[TiO]_1 - 1.254 \quad [1]$

Pour $[TiO]_2$:

$\text{Type spectral MIII} = -2.462 *[TiO]_2^2 + 8.966*[TiO]_2 - 1.351 \quad [2]$



Graphe 3 : relation entre les indices $[TiO]_1$ et $[TiO]_2$

3. Application à l'étoile symbiotique CI Cyg

Ces mesures ont été appliquées aux spectres basse résolution obtenus sur le système symbiotique CI Cyg durant son outburst et éclipse de 2010 (voir http://www.astrosurf.com/aras/CIcyg/CI_Cyg.html et <http://www.astronomie-amateur.fr/feuilles/Spectroscopie/SyS/CI%20Cyg.html>)

Les spectres ont été acquis à l'aide d'un spectrographe LHIRES III (Shelyak Instruments) muni d'un réseau 150 t/mm monté sur un SC 25 cm F/10. CCD : Starlight SXV H9.

Table des mesures en annexe 1

TiO1 : les mesures s'étendent de 0.33 à 0.65

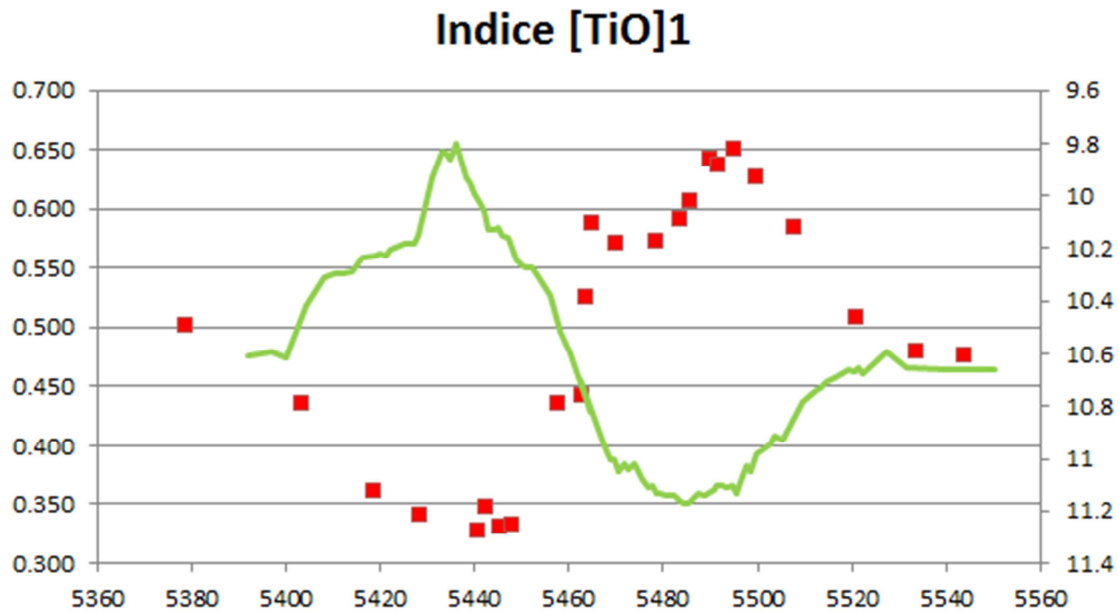
Ce qui correspond bien aux valeurs publiées par K87 : 0,63 – 0,43 – 0,59 – 0,54 – 0,32 – 0,34 – 0,50

TiO2 : mesures de 0.53 à 0.95.

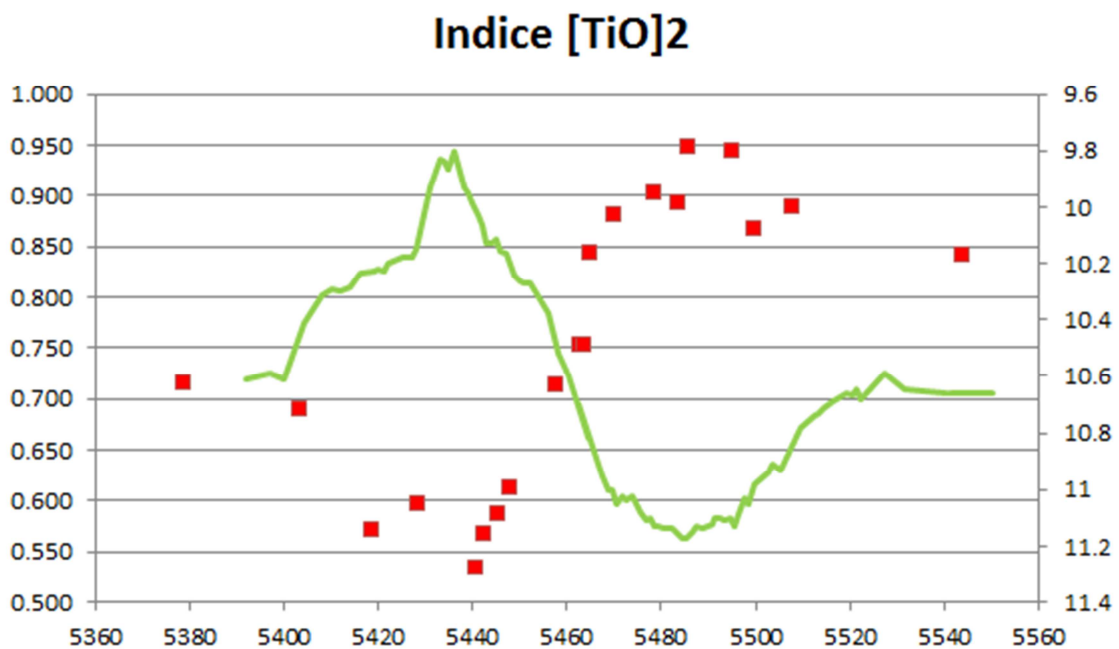
Là encore en accord avec les valeurs publiées : 0.95 – 0.81 – 0.91 – 0.92 – 0.78 – 0.77 – 0.86

On notera la variabilité non négligeable des indices publiés par K87 qui constatent une corrélation avec la phase orbitale : ces variations sont attribuées : 1) au phénomène d'éclipse 2) au réchauffement de la face de la géante rouge exposée au rayonnement de la naine blanche.

Remarque les valeurs publiées par K87 correspondent à une période calme du système et non un état d'outburst.



Graph 4 : CI Cygni : évolution de l'indice [TiO]1 en fonction du temps.
 Courbe de luminosité CCD V sur l'échelle de droite



Graph 5 : CI Cygni : évolution de l'indice [TiO]2 en fonction du temps.
 Courbe de luminosité CCD V sur l'échelle de droite

L'évolution des indices correspond à ce qui est attendu :

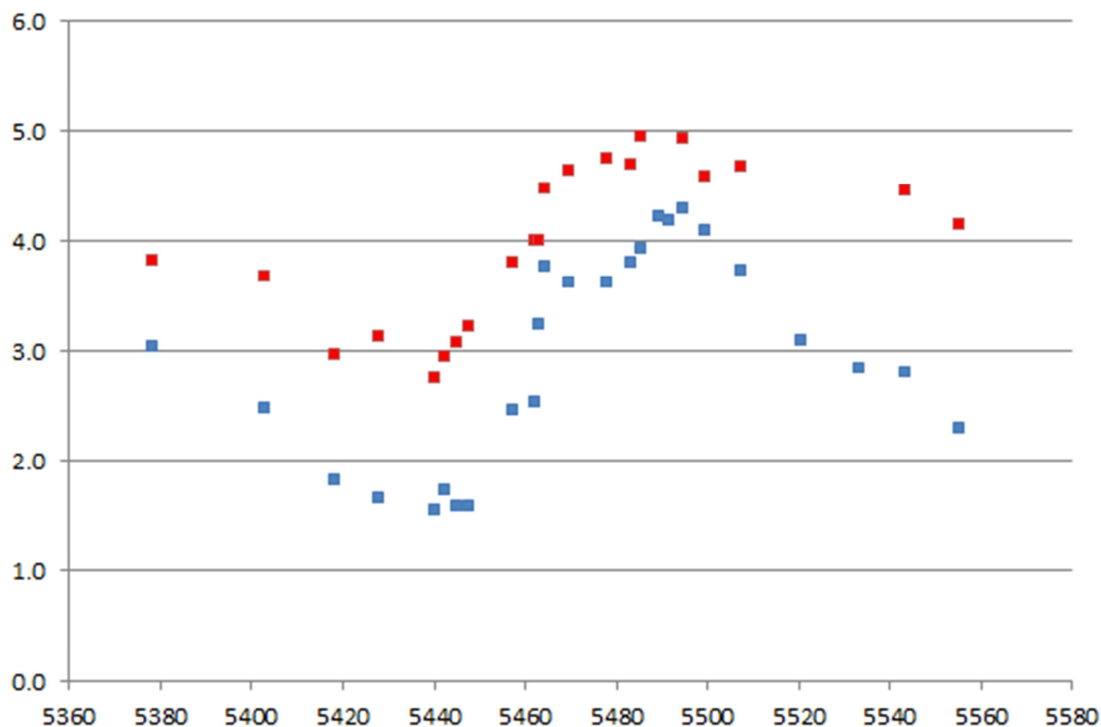
Dans la première phase, jusqu'à JD = 5435 (+2450000), (montée en luminosité provoquée par l'outburst), les indices décroissent : les bandes d'absorption comblées par l'augmentation de luminosité de la partie centrale du système (naine blanche et zones nébuleuses internes)

L'éclipse de ces zones, progressive à partir de JD 5435 jusqu'au maximum vers JD 5485 ((+2450000) , fait réapparaître la totalité des bandes d'absorption dont la profondeur s'accroît progressivement. Au maximum de l'éclipse, on retrouve un spectre équivalent à celui produit en période calme.

Le maximum de l'indice TiO1 est atteint un peu après le maximum de l'éclipse. La courbe est sensiblement déformée entre JD 5470 et 5485. Cela peut correspondre au maximum de l'outburst (masqué en photométrie V par l'éclipse)

Enfin, lors de la sortie de l'éclipse, les indices diminuent à nouveau, à mesure de la découverte des parties centrales du système, encore en outburst, quoique à un faible niveau.

A partir de ces mesures, on peut construire l'évolution du type spectral à partir des formules [1] et [2]



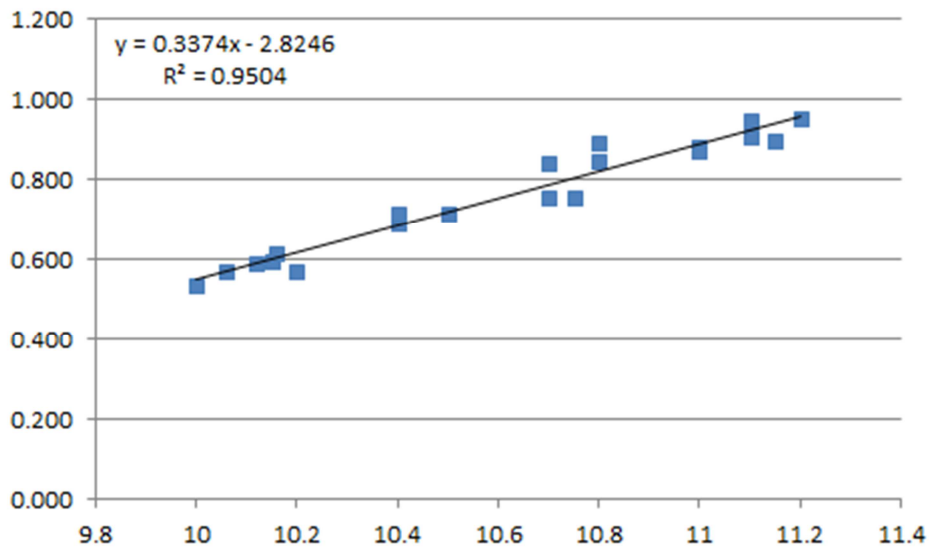
Graphique 6 : Evolution du type spectral de CI Cyg (30/06 au 15/12/2010) en fonction du temps (JD – 2450000) Bleu : à partir de l'indice TiO1 et rouge à partir de l'indice TiO2

Au maximum de l'éclipse, le type spectral déterminé à partir de l'indice TiO2 est M 4.9 correspond exactement à celui déterminé par Kenyon et Fernandez-Castro (4.9) et à celui publié par Mürset (1999) : M5 pour la bande TiO λ 7058.

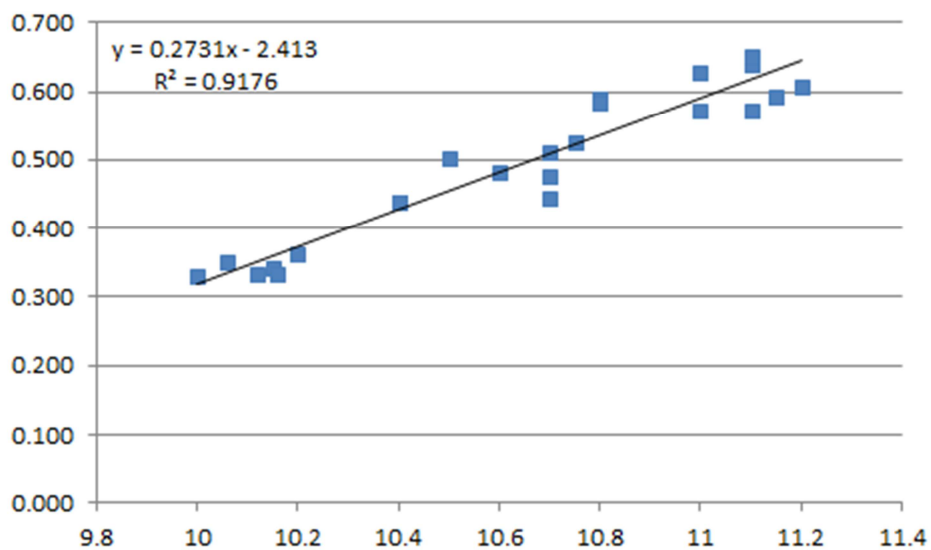
On notera le décalage important des types déterminés à partir des deux indices. L'indice TiO1 a tendance à définir un type plus chaud d'une à deux unités du fait de l'influence plus importante du

continuum produit par les zones nébulaires dans le bleu et le vert. *Il sera intéressant e faire correspondre ce décalage avec les mesures photométriques (V-R).*

On peut enfin établir une corrélation entre la magnitude V et les deux indices :



Graphe 7 : Indice TiO1 en fonction de la magnitude V



Graphe 8 : Indice TiO2 en fonction de la magnitude V

Conclusion :

Les mesures des indices TiO1 et TiO2 définis par Kenyon et Fernandez Castro (1987), ont permis d'estimer de façon quantitative l'évolution des bandes d'absorption TiO lors de l'outburst/éclipse de CI Cyg en 2010.

Les valeurs obtenus lors du maximum de l'éclipse (type spectral équivalent à celui du système en état calme) correspondent bien aux valeurs publiées.

Une corrélation entre la magnitude V et le type spectral a été mise en évidence.

On peut envisager des études sur l'évolution des bandes d'absorption en fonction de la phase orbitale des étoiles symbiotiques ; ou encore de la phase photométrique des Miras.

Références :

[1987AJ....93..938K](#)

Astron. J., 93, 938-949 (1987)

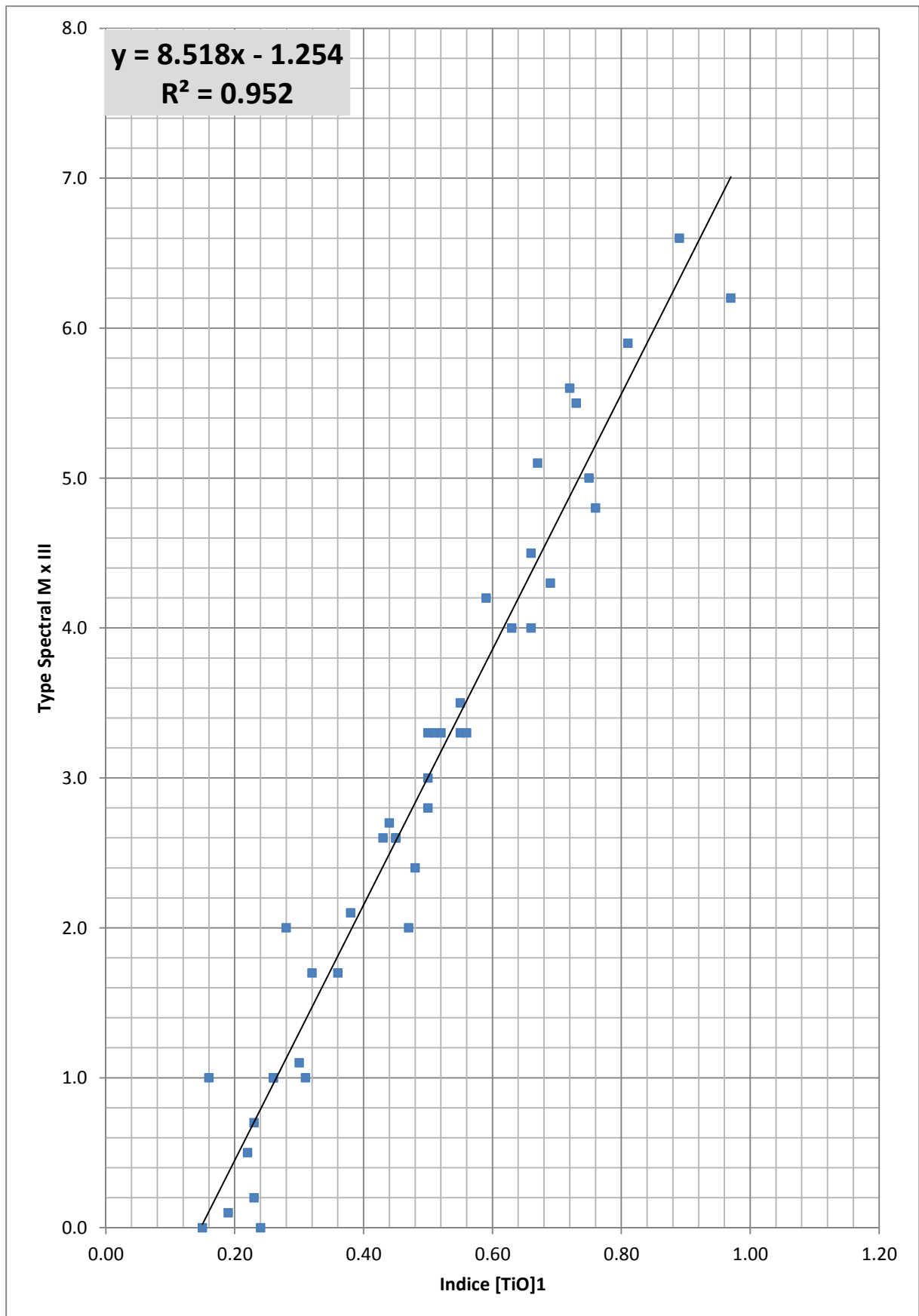
The cool components of symbiotic stars. I. Optical spectral types.

KENYON S.J. and FERNANDEZ-CASTRO T.

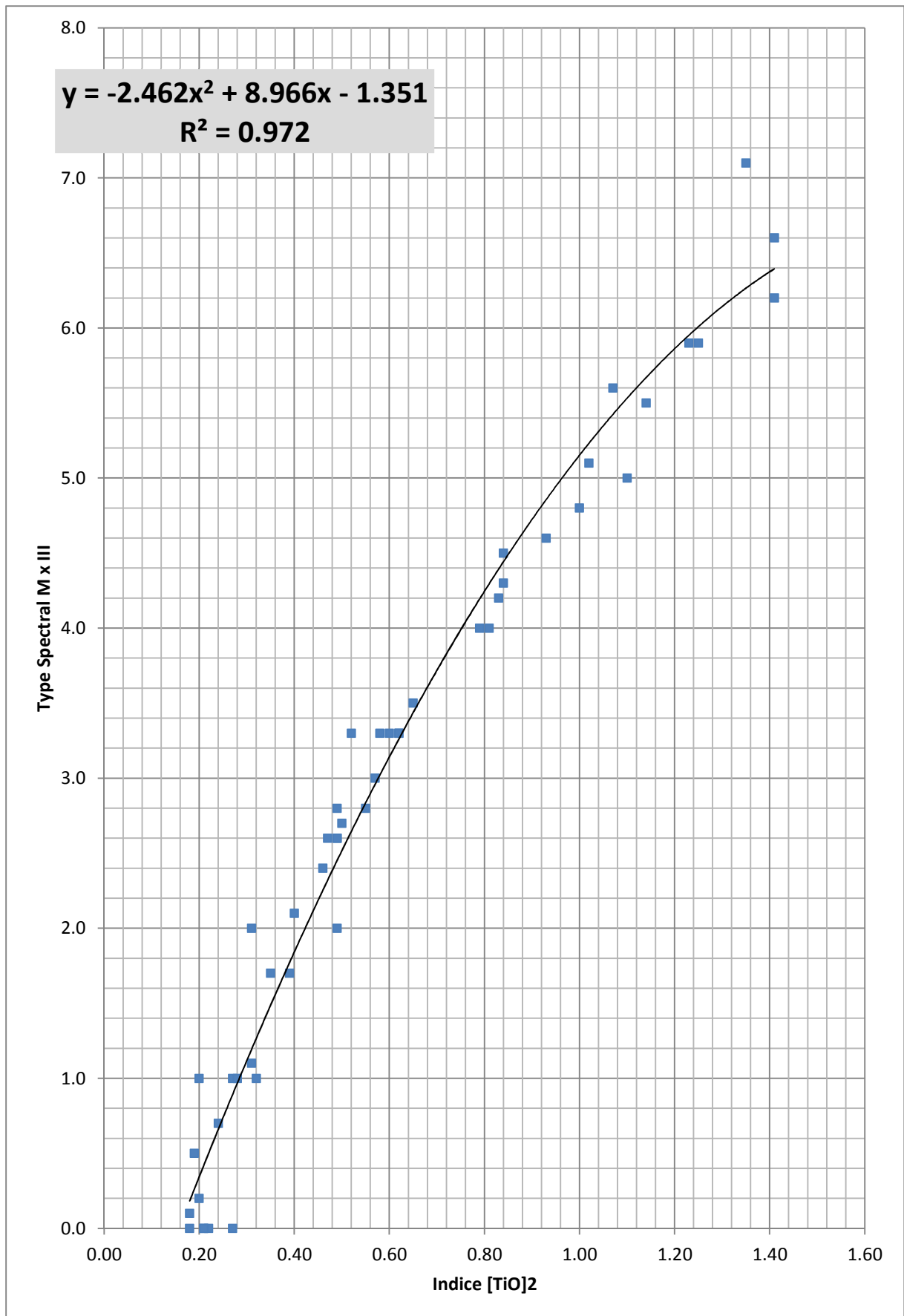
Annexe 1

Mesures de l'indice TiO1 sur l'étoile CI Cygni

Date	Mag V	JD (-2450000)	F(λ 1) 6125	F(λ 2) 6180	F(λ 3) 6370	Indice [TiO]1	Type Sp.
30/06/2010	10.5	5378.417	1.704	1.082	1.778	0.504	3.04
24/07/2010	10.4	5403.006	1.534	1.042	1.646	0.438	2.47
08/08/2010	10.2	5418.189	1.327	0.965	1.415	0.362	1.83
18/08/2010	10.15	5428.105	1.258	0.935	1.359	0.342	1.66
30/08/2010	10	5440.333	1.238	0.936	1.372	0.330	1.55
01/09/2010	10.06	5442.205	1.277	0.953	1.446	0.350	1.72
04/09/2010	10.12	5445.125	1.258	0.947	1.387	0.333	1.58
08/09/2010	10.16	5447.500	1.233	0.923	1.33	0.333	1.59
18/09/2010	10.4	5457.500	1.415	0.956	1.479	0.437	2.47
21/09/2010	10.7	5462.272	1.339	0.899	1.399	0.443	2.52
22/09/2010	10.75	5463.156	1.328	0.828	1.406	0.527	3.24
25/09/2010	10.8	5464.500	1.432	0.844	1.521	0.589	3.76
30/09/2010	11	5469.500	1.452	0.868	1.538	0.573	3.63
07/10/2010	11.1	5478.009	1.477	0.895	1.658	0.573	3.63
12/10/2010	11.15	5483.144	1.458	0.86	1.578	0.593	3.80
16/10/2010	11.2	5485.500	1.506	0.873	1.604	0.608	3.92
20/10/2010	11.1	5489.500	1.461	0.819	1.553	0.644	4.23
22/10/2010	11.1	5491.500	1.466	0.829	1.587	0.639	4.19
25/10/2010	11.1	5494.500	1.478	0.824	1.582	0.651	4.29
30/10/2010	11	5499.500	1.468	0.837	1.576	0.628	4.09
07/11/2010	10.8	5507.500	1.461	0.861	1.53	0.586	3.73
20/11/2010	10.7	5520.500	1.39	0.882	1.486	0.511	3.10
03/12/2010	10.6	5533.500	1.329	0.87	1.443	0.481	2.84
13/12/2010	10.7	5543.500	1.339	0.887	1.506	0.477	2.81



Annexe 2 : type spectral en fonction de l'Indice TiO₁



Annexe 3 : type spectral en fonction de l'Indice TiO₁

Indice	[TiO]1	[TiO]2
0.0	0.15	0.18
1.0	0.16	0.20
0.1	0.19	0.18
0.5	0.22	0.19
0.7	0.23	0.24
0.2	0.23	0.20
0.0	0.24	0.27
1.0	0.26	0.27
1.0	0.26	0.28
2.0	0.28	0.31
1.1	0.30	0.31
1.0	0.31	0.32
1.7	0.32	0.35
1.7	0.36	0.39
2.1	0.38	0.40
2.6	0.43	0.49
2.7	0.44	0.50
2.6	0.45	0.47
2.6	0.45	0.49
2.0	0.47	0.49
2.4	0.48	0.46
3.3	0.50	0.52
3.0	0.50	0.57
2.8	0.50	0.55
3.3	0.51	0.60
3.3	0.52	0.58
3.3	0.55	0.62
3.5	0.55	0.65
3.3	0.56	0.62
4.2	0.59	0.83
4.0	0.63	0.79
4.5	0.66	0.84
4.0	0.66	0.81
5.1	0.67	1.02
4.3	0.69	0.84
5.6	0.72	1.07
5.5	0.73	1.14
5.0	0.75	1.10
4.8	0.76	1.00
5.9	0.81	1.25
6.6	0.89	1.41
6.2	0.97	1.41

**Annexe 4 : valeurs utilisées par
Kenyon et Fernandez-Castro (1987)**

