

Photométrie avec AstroImageJ : un transit d'exoplanète

Avant d'être mis à la disposition du grand public et de s'être quelque peu étoffé avec une photométrie désormais « multi-usage », AIJ était un logiciel tout spécialement conçu – dès l'origine – par l'équipe du projet KELT ([North](#) & [South](#)) pour l'exploitation d'images produites dans le cadre de la recherche/validation d'exoplanètes « à transit » encore inconnues. Le nouveau venu ne devra donc pas s'étonner de la richesse des possibilités offertes en matière d'analyse de résultats dans ce domaine très particulier de la photométrie (et aussi de la complexité du soft), dans la mesure où c'est le coeur même du programme que nous allons maintenant explorer.

Pour accompagner ce tutoriel, une série d'images acquises au cours d'un transit de l'exoplanète HAT-P-20 b sont disponibles en téléchargement sur [la page d'accueil du tutoriel](#) (142 Mo).

S'il préfère, l'utilisateur peut disposer d'une autre séquence d'images, obtenues à l'Université de Louisville avec un télescope de grand diamètre, pendant un transit de l'exoplanète WASP-12 b. [Téléchargement sur la page d'accueil d'AIJ](#) (4.5 Go).

Les démonstrations ci-dessous ont été faites avec les images de la série HAT-P-20 b, mais le principe est transposable avec la séquence WASP-12 b.

Note : cette partie du logiciel est assez peu décrite dans la documentation disponible en anglais, et bon nombre de fonctions ne le sont pas du tout.

HAT-P-20 b

HAT-P-20 b a été découverte en 2010 par le réseau [HATNet](#) (*Hungarian Automated Telescope Network*), un réseau de petits « télescopes » (en fait de gros téléobjectifs ayant 200mm de focale pour 110mm de diamètre), entièrement automatisés et placés sous l'égide du *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics*. HAT-P-20 b est une planète de type « Hot Jupiter », qui orbite autour de son étoile parente en un peu moins de trois jours. De magnitude 11.34 (type spectral K7), l'étoile est également connue sous le matricule UCAC4 572-039995. Il s'agit d'une étoile double répertoriée sous le numéro POU 2795A : 11.80/13.80, séparation 6.90 » en 2001.

L'observation d'un tel transit est assez aisée, même avec un petit diamètre instrumental, puisque la profondeur est confortable, égale à 0.0204 mag (110mm de diamètre seulement, pour l'instrument de découverte, on se souvient). La durée du transit est, quant à elle, égale à un peu moins de 111 minutes.

L'acquisition des images a été faite le 05 février 2016 en tout début de nuit, avec un début de phénomène se produisant 2 minutes avant la fin du crépuscule astronomique, à une altitude de 43° allant en augmentant, ce qui était plutôt favorable. De fait, les premières images furent obtenues tandis que le ciel n'était pas tout à fait noir encore, avec un Soleil à -12°. D'assez nombreux

passages de cirrus sont ensuite venus amoindrir la qualité des images ; pour autant, le transit demeure bien reconnaissable sur les courbes, ce qui sera suffisant pour notre propos.

Acquisition : FS102 + APN Canon650D ; exposition : 302sec à 200 iso. Couche verte seulement (V Johnson).

Copies d'écran de l'[Exoplanet Transit Database](#) pour le 05 février 2016 :



ETD - Exoplanet Transit Database

[Observers community](#) | [How to contribute to ETD](#) | [Model-fit your data](#) | [Transit predictions](#) | [KEPLER Transit predictions](#) | [KEPLER Candidates](#)

Your ELONGITUDE (in deg): 0° - 360°Your LATITUDE (in deg): 90° - 0° - -90°**Available predictions:** (UT evening date)

2016-02- 04, **05**, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29,

2016-03- 01, 02, 03, 04, 05, 06,

User defined time span: From: Till:

Transits predictions for ELONGITUDE: 5° and LATITUDE: 45°

OBJECT		BEGIN (UT/h,A)	CENTER (DD.MM. UT/h,A)	END (UT/h,A)	D (min)	V (MAG)	DEPTH (MAG)	Elements Coords
CoRoT-19 b	Mon	15:32 6°,E	05.02. 17:53 29°,SE	20:14 44°,S	282	14	0.0076	55257.44102+3.89713*E RA: 06 28 08.04 DE: -00 10 14.4
HAT-P-53 b	And	16:53 79°,SW	05.02. 17:57 68°,W	19:01 57°,W	128.07	13.73	0.0135	55829.44781+1.9616241*E RA: 01 27 29.5 DE: +38 58 05.3
WASP-82 b	Ori	16:36 34°,SE	05.02. 19:05 47°,S	21:35 39°,SW	299.09	10.1	0.0068	56157.9898+2.705782*E RA: 04 50 38.56 DE: +01 53 38.1
HAT-P-20 b	Gem	18:30 43°,E	05.02. 19:26 53°,E	20:21 61°,SE	110.88	11.34	0.0204	55080.92661+2.875317*E RA: 07 27 39.89 DE: +24 20 14.7
HAT-P-56 b	Gem	19:24 62°,SE	05.02. 20:33 71°,SE	21:41 72°,S	136.3	10.908	0.0120	56553.61645+2.7908327*E RA: 06 43 23.5 DE: +27 15 08.2
XO-3 b	Cam	19:30 77°,N	05.02. 20:57 68°,NW	22:23 57°,NW	173	9.86	0.0048	54864.76684+3.1915289*E RA: 04 21 52.71 DE: +57 49 01.89
GJ436 b	Leo	20:35 22°,E	05.02. 21:06 27°,E	21:37 33°,E	62	10.68	0.0090	54222.6157+2.643901*E RA: 11 42 10.01 DE: +26 42 37
HAT-P-52 b	Ari	20:32 51°,W	05.02. 21:44 38°,W	22:57 25°,W	144.43	14.068	0.0146	55852.10326+2.7535953*E RA: 02 50 53.20 DE: +29 01 20.6
EPIC-210957318 b	Tau	22:14 35°,W	05.02. 23:25 23°,W	0:35 11°,W	141.3	13.53	0.0183	57063.8071+4.098507*E RA: 03 29 22.07 DE: +22 17 57.9



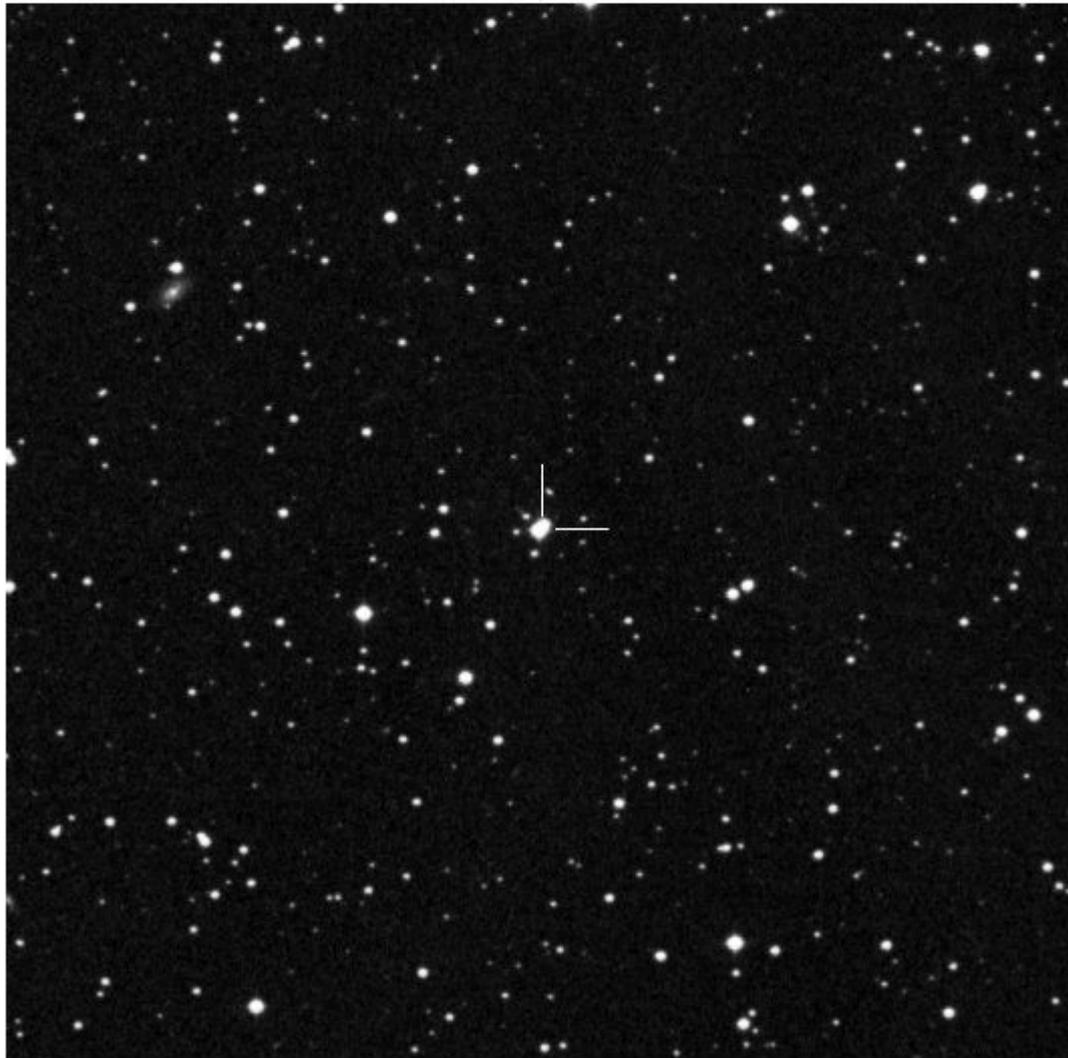
ETD - Exoplanet Transit Database

[Observers community](#) | [How to contribute to ETD](#) | [Model-fit your data](#) | [Transit predictions](#) |
[KEPLER Transit predictions](#) | [KEPLER Candidates](#)

HAT-P-20 b (Gem)

RA (J2000): 07 27 39.89, DE (J2000): +24 20 14.7,
V = 11.34 mag, dV = 0.0204 mag, duration = 110.88 minutes

Per = d, T0(HJD) =



15' x 15' image from the [Digitized Sky Survey](#) at the [STScI Archive](#).

Your ELONGITUDE (in deg): 0° - 360°

Your LATITUDE (in deg): 90° - 0° - -90°

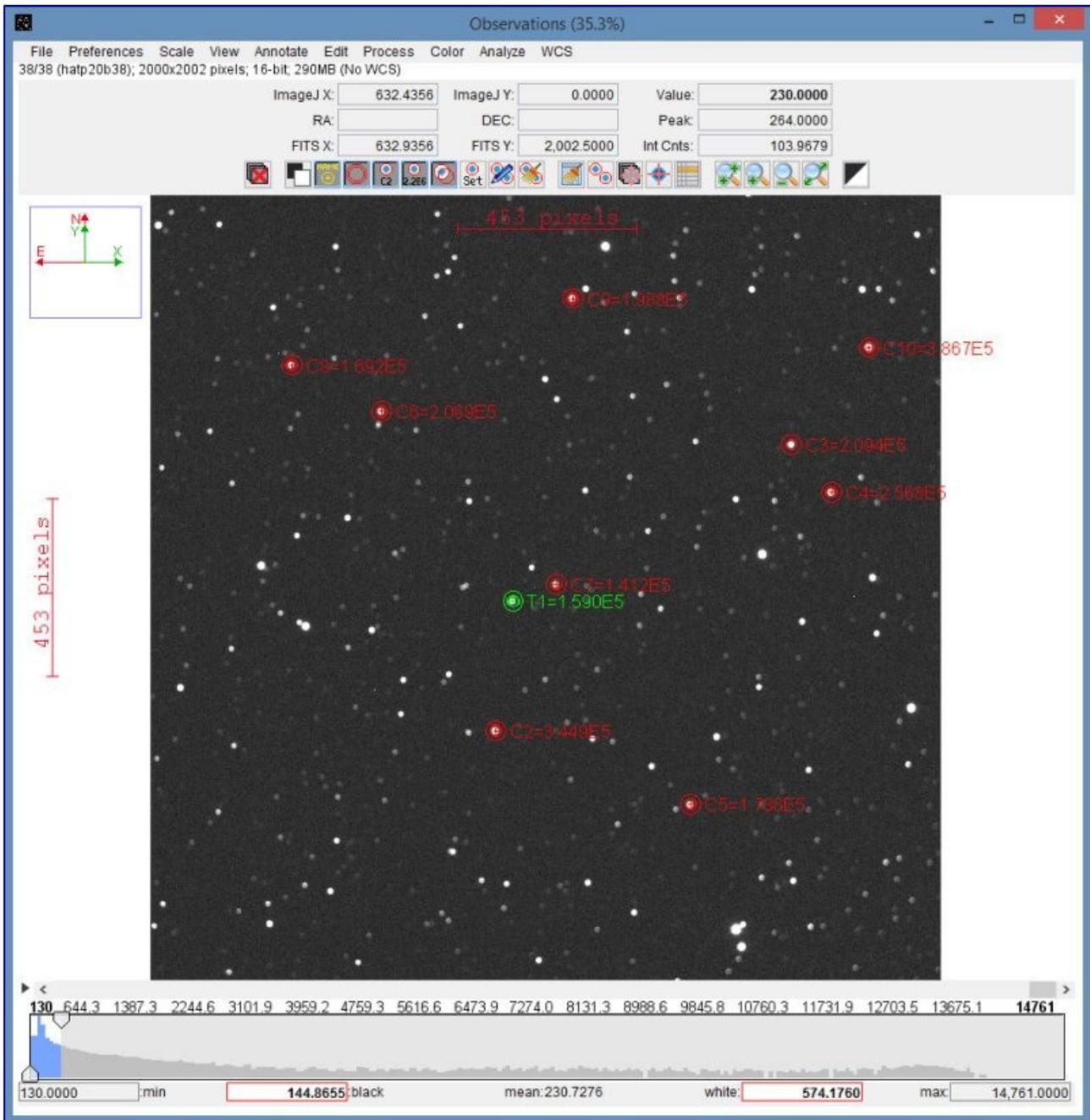
Transits predictions for NEXT 365 days.

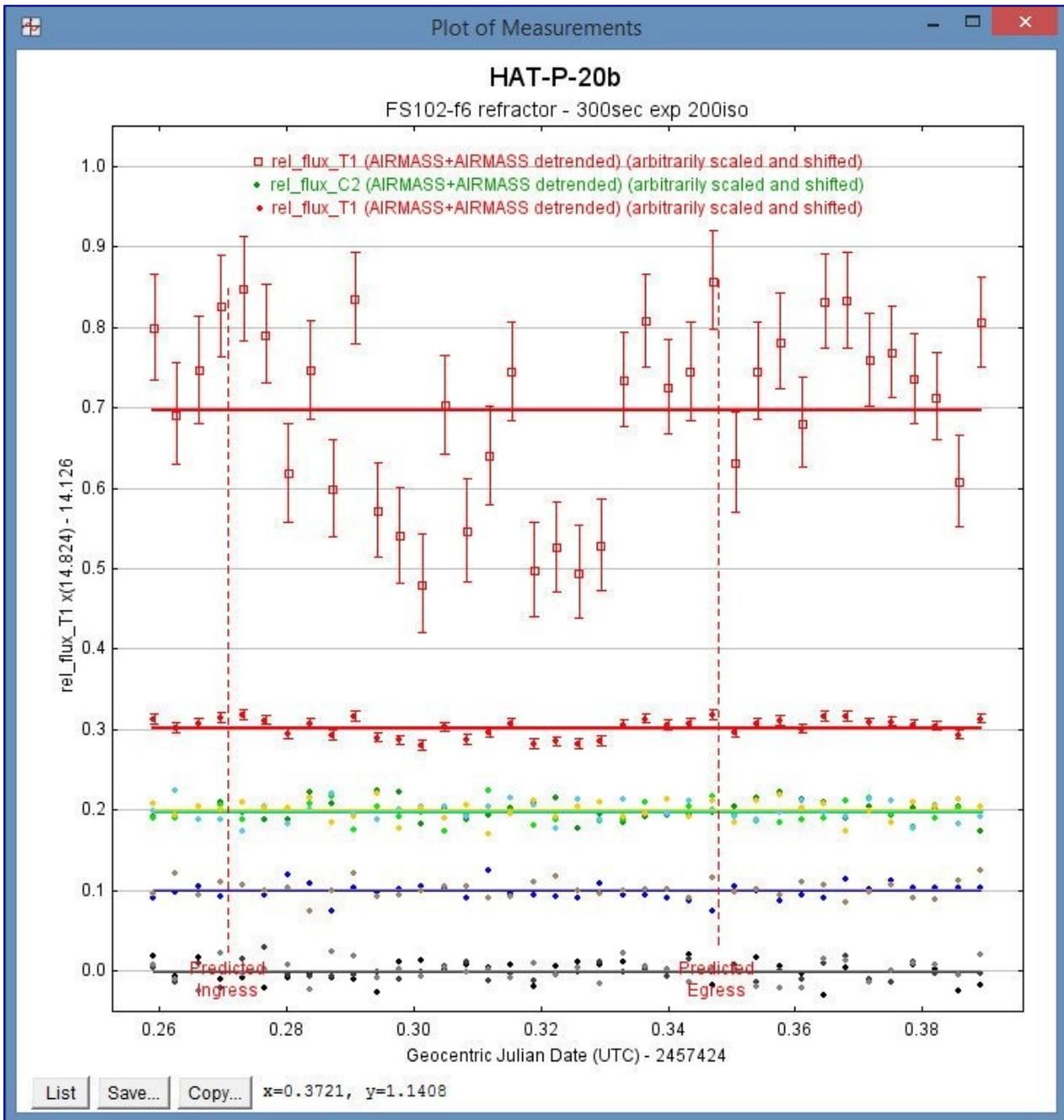
Première courbe

Une fois notre séquence d'images en mémoire, nous avons la possibilité de demander une réduction astrométrique au logiciel, pour chacune des images, ou de lancer une photométrie multi-ouverture directement.

Pour cette fois, nous avons choisi des étoiles de comparaison un peu au hasard dans les environs de notre cible, sans tenir compte ni de leur couleur ni de leur éventuelle variabilité. Ce n'est pas très scientifique il est vrai, de prime abord, mais on se rassure tout de même en songeant que l'altitude de la cible et de ses comps étaient suffisamment importante pour que ces étoiles ne soient pas soumises à des phénomènes de type extinction différentielle, et que, si variation il y a de l'une de nos comps, celle-ci sera moyennée de fait, puisque nous allons travailler avec une dizaine de comps. AIJ nous permettra par ailleurs de constater, en cours de processus, que nos comps sont suffisamment stables pour ne pas induire d'erreurs supplémentaires dans la courbe finale. Enfin, il sera toujours temps de modifier notre liste de comps en cas de problème, puis de relancer une extraction de données photométriques après coup ; cela ne nous prendra que quelques secondes, les réglages de la courbe active demeurant en mémoire, d'une session de travail à l'autre. Evidemment, en cas de publication de nos données, le plus grand soin devrait être apporté à ce sujet, et donner une liste de comps fiables serait une obligation.

Le seul point sur lequel il faut être absolument intransigeant, c'est de ne pas inclure d'étoiles saturées dans notre choix de comps (il y en a dans les images fournies).





Data Set	Col	Plot	Auto Scale	X-data	Input to Flag	Y-data	Auto Error	Function	Y-operand	Color	Symbol	Lines	Bin Size	Fit Mode	Trend Select	Trend Coefficient	Trend Dataset	Items/Flag/Out Flag	Page Ref	Scale	Axis Shift	Legend Type	Custom Legend	Data Set
1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	default	<input type="checkbox"/>	rel_flux_T1	<input checked="" type="checkbox"/>	none		red	box	<input type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000000	AIRMASS	<input checked="" type="checkbox"/>		48.5	15.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Legend1	1
2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	default	<input type="checkbox"/>	rel_flux_C2	<input type="checkbox"/>	none		dark gray	dot	<input type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000000	AIRMASS	<input checked="" type="checkbox"/>		5	-30	<input checked="" type="checkbox"/>	Legend2	2
3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	default	<input type="checkbox"/>	rel_flux_C3	<input type="checkbox"/>	none		green	dot	<input type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000000	AIRMASS	<input checked="" type="checkbox"/>		5	-29.8	<input checked="" type="checkbox"/>	Legend3	3
4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	default	<input type="checkbox"/>	rel_flux_C4	<input type="checkbox"/>	none		blue	dot	<input type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000000	AIRMASS	<input checked="" type="checkbox"/>		5	-30.8	<input checked="" type="checkbox"/>	Legend4	4
5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	default	<input type="checkbox"/>	rel_flux_C5	<input type="checkbox"/>	none		light blue	dot	<input type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000000	AIRMASS	<input checked="" type="checkbox"/>		5	-30	<input checked="" type="checkbox"/>	Legend5	5
6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	default	<input type="checkbox"/>	rel_flux_C6	<input type="checkbox"/>	none		black	dot	<input type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000000	AIRMASS	<input checked="" type="checkbox"/>		5	-30.9	<input checked="" type="checkbox"/>	Legend6	6
7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	default	<input type="checkbox"/>	rel_flux_C7	<input type="checkbox"/>	none		dark gray	dot	<input type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000000	AIRMASS	<input checked="" type="checkbox"/>		5	-48.5	<input checked="" type="checkbox"/>	Legend7	7
8		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	default	<input type="checkbox"/>	rel_flux_C8	<input type="checkbox"/>	none		gray	dot	<input type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000000	AIRMASS	<input checked="" type="checkbox"/>		5	-30	<input checked="" type="checkbox"/>	Legend8	8
9		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	default	<input type="checkbox"/>	rel_flux_C9	<input type="checkbox"/>	none		yellow	dot	<input type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000000	AIRMASS	<input checked="" type="checkbox"/>		5	-30.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Legend9	9
10		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	default	<input type="checkbox"/>	rel_flux_C10	<input type="checkbox"/>	none		brown	dot	<input type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000000	AIRMASS	<input checked="" type="checkbox"/>		5	-46	<input checked="" type="checkbox"/>	Legend10	10
11		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	default	<input type="checkbox"/>	rel_flux_T1	<input checked="" type="checkbox"/>	none		red	dot	<input type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000000	AIRMASS	<input checked="" type="checkbox"/>		5	-21	<input checked="" type="checkbox"/>	Legend11	11
12		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	default	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	none		black	dot	<input type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0		<input checked="" type="checkbox"/>		6	-0.98	<input checked="" type="checkbox"/>	Legend12	12

A ce stade de l'exploration de nos données, nous nous retrouvons à peu de choses près avec un graphique qui ressemblerait à celui qu'on aurait obtenu en sortie de Muniwin.

Nous avons choisi de laisser à AIJ le soin de déterminer les rayons des cercles photométriques (les valeurs retenues par le logiciel peuvent être inspectées dans la table de mesures) – il serait intéressant de comparer ce résultat avec une valeur fixe –, et nous avons bien entendu, intégré le facteur « Airmass » à nos calculs.

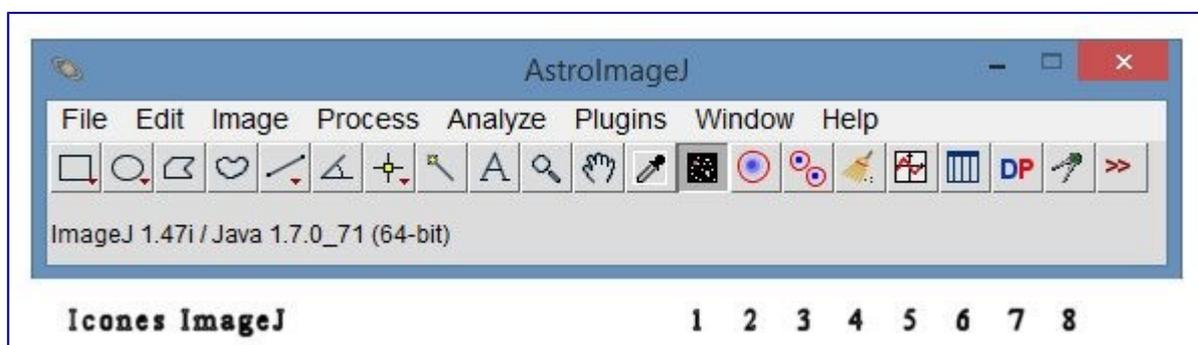
Pour plus de clarté, plutôt que d'afficher une courbe par comp, nous avons pris le soin de décaler chacune des courbes disponibles afin de les grouper par trois, et nous n'avons conservé qu'une légende pour l'ensemble de nos comps (toutes les légendes eussent été identiques).

La courbe de HAT-P-20 b figure en rouge, avec la marge d'erreur ajoutée (barrettes verticales) ; elle n'est pas très belle, mais pour autant, le transit se laisse discerner, ce qui est le principal. Nous avons choisi de faire figurer cette courbe deux fois sur notre graphique (rel_flux_T1) : en haut, l'échelle (« scale ») est portée à 50, alors qu'en bas, on a conservé une échelle identique à celle utilisée pour l'affichage des comps (« Scale » = 5), ce qui permet encore de distinguer le transit et de relativiser.

Dans la fenêtre « *Multi-plot Y-data* », nous avons coché les cases « *Auto Error* », ce qui nous a permis d'afficher les barrettes d'erreur pour notre cible. Attention : il s'agit ici d'une « erreur » approchée, puisque nous n'avons pas renseigné les éléments essentiels à ce calcul, à savoir « gain », « courant d'obscurité » (« *Dark current* ») et « bruit de lecture » (« *Read out noise* ») (fenêtre « *Aperture photometry settings* »).

Enfin, nous avons fait figurer les instants de début (« *ingress* ») et de fin du transit (« *egress* »), qui nous sont connus et que l'on a convertis en Jour Julien, temps coordonné (JD – UTC).

Note : pour convertir les instants d'un transit, qui sont connus en TU (site ETD, par exemple), il faut utiliser le « *Coordinate converter* », que l'on appelle avec l'icône 8 de la console AIJ. Dans les champs « *Epoch of interest* », UTC, on renseigne la date et l'heure de début de transit, par exemple, et le soft retourne la date en JD ; ici 2016-02-05 à 18h30 TU devient JD 2457424.270833. On aurait pu obtenir ce même résultat par le truchement de l'atlas « Cartes du Ciel », ou par tout autre moyen disponible.



Coordinate Converter

File Preferences Network Help

Current UTC-based Time
 UTC: 2016-02-13 13:08:53 Local: 2016-02-13 02:08:53 PM JD: 2457432.047838 LST: 22:40:56

SIMBAD Object ID (or SS Object) _____ Time Zone _____ Observatory ID _____
 _____ UTC offset: 1 _____ Custom Lon, Lat, and Alt entry _____

Target Proper Motion (mas/yr) _____ Geographic Location of Observatory _____
 pmRA: 0 pmDec: 0 Lon: +00:00:00 Lat: +00:00:00 Alt: 0

Standard Coordinates

 J2000 Equatorial RA: 00:00:00 Dec: +00:00:00 J2000 Ecliptic Lon: 00:00:00 Lat: 00:00:00

 B1950 Equatorial RA: 23:57:26.234 Dec: -00:16:42.28 Galactic Lon: 96:20:14.17 Lat: -60:11:18.79

Epoch of Interest

UTC-based Time
 UTC: 2016-02-05 18:30:00 UT  08:04 PM JD: 2457424.270833 LST: 03:31:24
 Lock Local: 2016-02-05 07:30:00 PM  06:24 AM HJD: 2457424.266724 dT: -00:05:55

Dynamical Time
 Update  Auto Leap-secs: 35.0 OSU/internal BJD: 2457424.267523 dT: -00:04:46

Equatorial RA: 00:00:48.561 Dec: +00:05:16.48 Ecliptic Lon: 00:13:14.19 Lat: 00:00:00.64

Horizontal Alt: 37:22:30.51 Az: 270:06:38.13 Direction - Hour Angle - Zenith Distance - Airmass
 Dir: W HA: 03:30:35 ZD: 52:37:29 AM: 1.6439

Phase - Altitude - Proximity

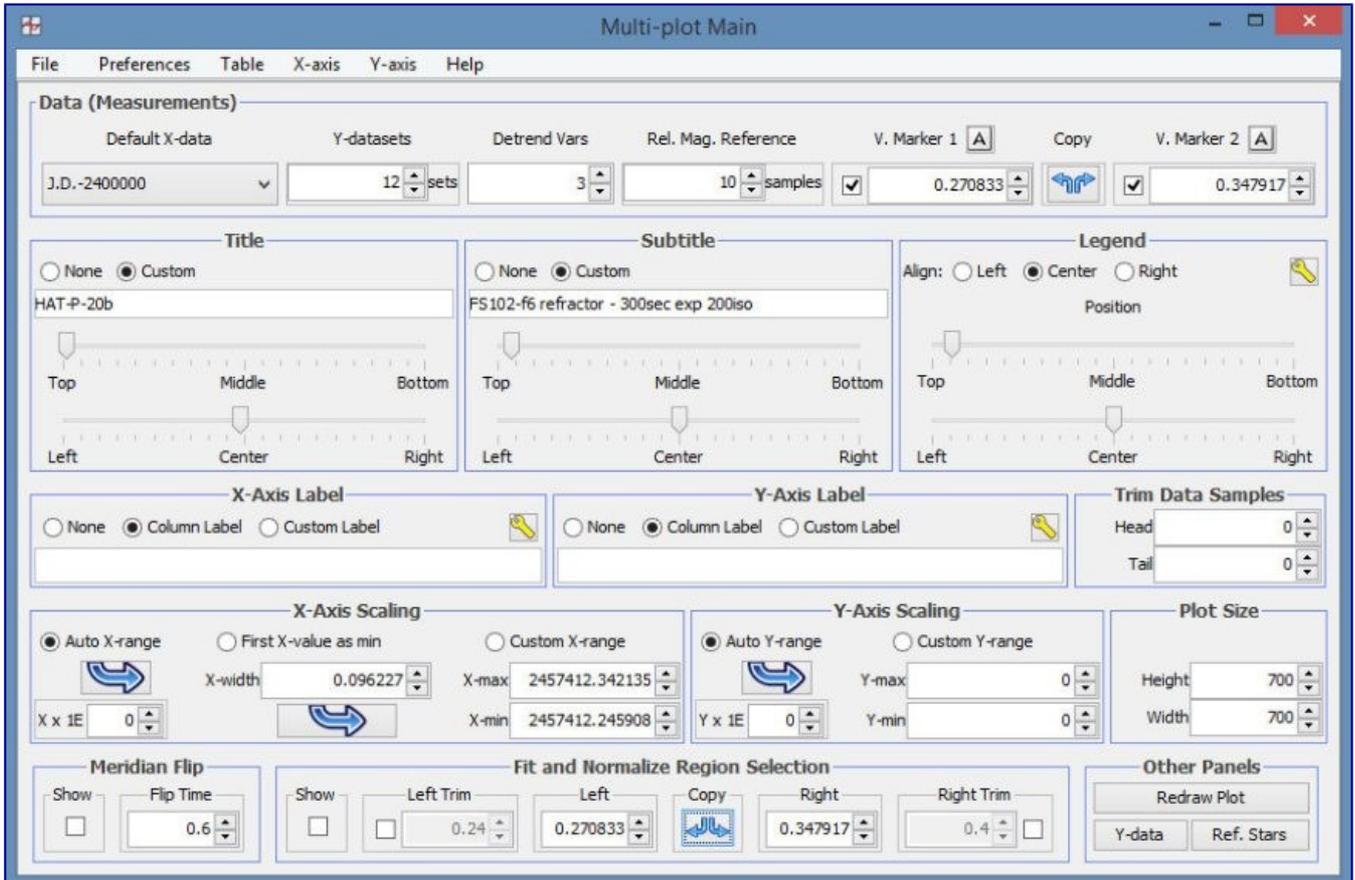
	Moon	Mercury	Venus	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptune	Pluto
	Down	Down	Down	Down	Down	Down	53.05	17.52	Down
	81.14	69.33	74.30	132.87	171.65	105.79	17.27	21.60	74.28

Lorsque les instants du transit nous sont connus en JD, il convient de reporter ces valeurs dans le bas de la table « *Multi-plot main* », dans les champs « *Fit and normalize region selection* », respectivement « *left* » et « *right* » pour « *ingress* » et « *egress* ». Seuls les chiffres après la virgule nous intéressent, le reste de la date étant sous-entendu.

Nous allons maintenant déporter notre attention dans le haut de la fenêtre (« *V.Marker 1 & 2* ») : cliquer sur l'icône « *Copy* » (double flèche bleue) permet de reporter les valeurs que nous avons entrée dans le bas de la fenêtre (nous aurions aussi bien pu rentrer ces chiffres manuellement une deuxième fois).

Note : la manipulation inverse fonctionne aussi, et l'on aurait pu commencer par rentrer les valeurs dans le haut de la fenêtre, pour les copier en bas.

Les textes des « markers » peuvent être édités (icônes « A » ; ici « Predicted ingress », qu'on aurait pu prendre la peine de traduire en français ...). Pour faire apparaître textes et limites sur notre graphique, cocher les cases prévues à cet effet, à côté des champs valeur des marqueurs (voir copie d'écran ci-dessous).



Modélisation d'un transit (model-fit)

Après avoir tracé sommairement la courbe photométrique de HAT-P-20, nous allons maintenant essayer de modéliser le transit observé, c'est à dire essayer d'interpréter ce qui a été vu.

Deux cas possibles :

- Le transit observé est celui d'une exoplanète qui n'est pas encore répertoriée (non publiée), et il s'agit, au travers de la modélisation, de tenter de déterminer les principaux paramètres du système, les principales caractéristiques de la planète, en fonction de ce que l'on sait ou suppose de l'étoile hôte, par exemple. En pratique, on fait varier une série de paramètres afin de tracer une courbe théorique dont la forme viendra épouser au mieux celle que l'on a obtenue au télescope. Lorsque les deux courbes coïncident, on peut relever la valeur des paramètres comme étant plausibles. Il s'agit essentiellement d'une démarche de recherche.
- Le transit observé est celui d'une exoplanète connue, dont les principales caractéristiques ont déjà été déterminées, avec plus ou moins de précision. La modélisation d'une telle

observation, à partir des paramètres connus, peut permettre soit d'améliorer la précision des dites caractéristiques, soit de débusquer d'éventuelles déviations/anomalies.

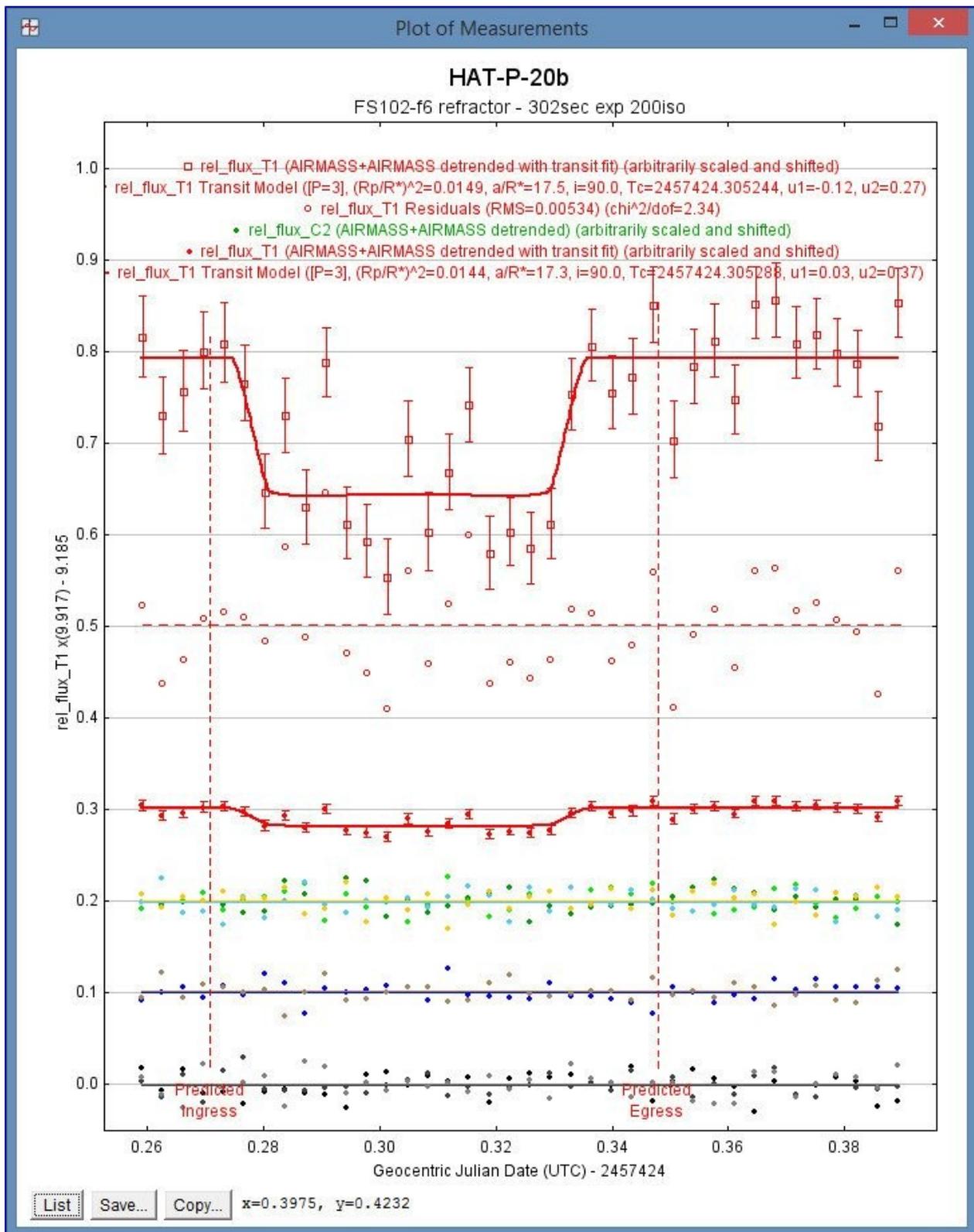
Inutile de préciser que la qualité des observations est primordiale ; à défaut il est toujours possible de moyenner plusieurs observations proches dans le temps pour réduire le « bruit ».

Comment allons-nous nous y prendre avec AIJ ?

Multi-plot Y-data									
Y-operand	Color	Symbol	Lines	Bin Size	Fit Mode	Trend Select	Trend Coefficient	Trend Dataset	
▼	red	box	<input type="checkbox"/>	1		<input checked="" type="radio"/>	0.0110355	AIRMASS	
▼	dark gre...	dot	<input type="checkbox"/>	1	off	<input checked="" type="radio"/>	-0.0038086	AIRMASS	
▼	green	dot	<input type="checkbox"/>	1	user	<input checked="" type="radio"/>	-0.0013540	AIRMASS	
▼	blue	dot	<input type="checkbox"/>	1		<input checked="" type="radio"/>	0.0006909	AIRMASS	
▼	light blue	dot	<input type="checkbox"/>	1		<input checked="" type="radio"/>	-0.0016128	AIRMASS	
▼	black	dot	<input type="checkbox"/>	1		<input checked="" type="radio"/>	-0.0019305	AIRMASS	
▼	dark gray	dot	<input type="checkbox"/>	1		<input checked="" type="radio"/>	-0.0004173	AIRMASS	
▼	gray	dot	<input type="checkbox"/>	1		<input checked="" type="radio"/>	0.0001347	AIRMASS	
▼	orange	dot	<input type="checkbox"/>	1		<input checked="" type="radio"/>	0.0037077	AIRMASS	
▼	brown	dot	<input type="checkbox"/>	1		<input checked="" type="radio"/>	0.0043126	AIRMASS	
▼	red	dot	<input type="checkbox"/>	1		<input checked="" type="radio"/>	0.0110355	AIRMASS	
▼	black	dot	<input type="checkbox"/>	1	off	<input checked="" type="radio"/>	0	▼	

Dans la table « *Multi-plot Y-data* », nous allons appeler le module spécifique de modélisation de transit en cliquant sur l'icône « transit » du « *Fit mode* », et nous ferons ceci pour les lignes 1 et 11, qui correspondent aux deux courbes montrant le transit à deux échelles différentes dans notre graphique. Immédiatement, deux nouvelles fenêtres s'affichent (elles sont identiques ; une pour chacune des deux courbes à modéliser), et le graphique est mis à jour.

Un point important : la modélisation du transit se fera entre les deux bornes temporelles données un peu plus haut dans la table « *Multiplot main* » (zone « *Fit and normalize region selection* » où nous avons indiqué les instants de début et de fin du transit).



Plusieurs remarques au sujet de cette fenêtre graphique mise à jour.

Les légendes ont été amendées, et l'on y retrouve le détail des paramètres utilisés par le programme pour tracer les courbes modélisées, qui apparaissent ici en rouge (en bleu à la première utilisation de ce module d'AIJ). La modélisation semble assez largement en décalage avec les observations obtenues ; en particulier le début du transit modélisé est en retard par rapport aux prévisions et la fin

semble très en avance, avec une durée totale du phénomène amoindrie. La forme du transit, également, ne nous semble pas très adéquate, quant à la profondeur ... il semble tout simplement qu'AIJ n'ait pas tenu compte de nos mesures les plus précises.

Enfin, une nouvelle série de points est venue se surajouter à l'intérieur même du transit (ceci n'est pas montré sur le graph ci-dessus). Il s'agit de la courbe de l'erreur résiduelle (« residuals »), une série de données très importantes, que nous avons choisi, pour plus de clarté, de présenter décalées un peu en dessous de la courbe principale (ici, cercles rouges).

Fit Setting, réglages de base

Nous l'avons vu, deux fenêtres labellisées « *Data set 1 Fit setting* » et « *Data set 11 Fit setting* » se sont ouvertes qui correspondent à la modélisation des deux courbes de notre transit. Deux courbes à deux échelles différentes, cela nous a paru intéressant pour cette fois, mais il ne s'agit que d'une option, et l'on fait absolument ce que l'on veut avec le programme ; le tout dépendant de ce que l'on souhaite démontrer au travers de nos courbes. Il pourrait être nécessaire, dans un article, sur un poster, par exemple, de montrer quatre fois le même phénomène avec une modélisation différente, ceci afin de représenter l'influence de tel ou tel paramètre.

Nous avons donc deux fenêtres de réglages à paramétrer.

Intéressons-nous à la partie inférieure de l'une de ces fenêtres.

Detrend Parameters									
Use	Parameter	Best Fit	Lock	Prior Center	Use	Prior Width	Cust	StepSize	
<input checked="" type="checkbox"/>	AIRMASS	-0.001909440388	<input type="checkbox"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	1.0	<input type="checkbox"/>	0.1	
<input checked="" type="checkbox"/>	AIRMASS	0.003126306227	<input type="checkbox"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	1.0	<input type="checkbox"/>	0.1	
<input type="checkbox"/>	AIRMASS		<input type="checkbox"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	1.0	<input type="checkbox"/>	0.1	

Fit Statistics				
Fit Statistics	RMS (norm)	chi ² /dof	BIC	chi ²
	0.005345	2.342969	101.9790	67.9461

Plot Settings						
<input checked="" type="checkbox"/> Show Model	<input checked="" type="checkbox"/> Show in legend	Line Color: red	Line Width: 1			
<input checked="" type="checkbox"/> Show Residuals	<input checked="" type="checkbox"/> Show in legend <input type="checkbox"/> Show Error	Line Color: red	Line Width: 1	Symbol: circle	Symbol Color: red	Shift: -37.0

Fit Control			
Fit Control	Fit Update Options: <input checked="" type="checkbox"/> Auto Update Fit <input type="button" value="Update Fit Now"/>	Fit Tolerance: 1.0E-8	Max Allowed Steps: 30,000 Steps Taken: 2693

Dans la zone « *Detrend parameters* », nous allons intégrer le facteur « Airmass » à deux reprises (correction quadratique) ; AIJ ajuste aussitôt la modélisation. Nous pourrions tenter aussi d'ajuster

la modélisation au moyen du paramètre « *Sky/pixel_T1* » en intégrant ce paramètre au niveau de la troisième ligne (actuellement « *Airmass* » non coché), puis observer l'effet produit sur notre graph. Le nombre de paramètres n'est pas fixe et peut être étendu si besoin (réglage depuis la fenêtre « *Multiplot main* » > « *Detrend var.* »).

Note : les paramètres disponibles sont définis (en anglais) dans la fenêtre « *Multi-plot main* » : menu Help>Data naming convention. D'autres détails sont donnés dans [l'article présentant AIJ \(Karen Collins 2016\)](#).

Depuis la zone « *Plot setting* » nous pouvons régler l'affichage des légendes, des courbes modélisées et l'apparition de la courbe d'erreurs résiduelles. Les courbes transit/erreurs résiduelles peuvent être découplées en réglant le « *Shif* » dans cette fenêtre, puis en jouant sur les facteurs « *Scale* » et « *Then shift* » dans la fenêtre « *Multi-plot Y-data* ».

Fit setting, paramètres avancés

La partie supérieure de la fenêtre « *Fit setting* » permet de régler très finement notre modélisation.

Avant tout choses, il va nous falloir trouver les paramètres orbitaux du couple HAT-P-20 étoile-planète et les caractéristiques principales de ce « *Hot Jupiter* ».

Plusieurs possibilités :

- Le site [ETD](#) donne des renseignements de base (période, époque etc ...) sur la page consacrée à notre exoplanète. Attention : un examen approfondi des données fournies par ce site a montré qu'il y avait des erreurs. A éviter si possible, donc.
- Le papier d'annonce de la découverte de la planète est la meilleure source possible, ainsi que les quelques articles qui ont pu paraître sur le sujet dans les mois ou l'année suivante, qui apportent souvent des précisions. Dans le bas de [la page dédiée aux observations de HAT-P-20 b, sur ETD](#), on trouve une référence à ce papier de découverte. Cliquer sur le lien (ici : GA Bakos et Al, 2010).
- Une requête sur [ArXiv.org](#) ou sur le [SAO/NASA ADS](#) peuvent nous permettre d'arriver au même résultat.
- Le [NASA exoplanet archive](#) permet d'afficher les données dans des tables.

HAT-P-20b–HAT-P-23b: Four Massive Transiting Extrasolar Planets

G. Á. Bakos (1,2), J. Hartman (1), G. Torres (1), D. W. Latham (1), Géza Kovács (3), R. W. Noyes (1), D. A. Fischer (4,5), J. A. Johnson (6), G. W. Marcy (7), A. W. Howard (7), D. Kipping (1,8), G. A. Esquerdo (1), A. Shporer (9), B. Béky (1), L. A. Buchhave (10) G. Perumilly (1), M. Everett (1), D. D. Sasselov (1), R. P. Stefanik (1), J. Lázár (11), I. Papp (11), P. Sári (11) (1) Harvard-Smithsonian CIA, Cambridge, MA, USA, (2) NSF Fellow, (3) Konkoly Observatory, Budapest, Hungary, (4) Astronomy Department, Yale University, New Haven, CT, (5) Department of Physics and Astronomy, San Francisco State University, San Francisco, CA, (6) California Institute of Technology, Department of Astrophysics, Pasadena, CA, (7) Department of Astronomy, UC Berkeley, Berkeley, CA, (8) UCL, Dept. of Physics, London, UK, (9) LCOGT, Santa Barbara, CA, (10) Niels Bohr Institute, Copenhagen University, Denmark (11) Hungarian Astronomical Association, Budapest)

(Submitted on 19 Aug 2010)

We report the discovery of four relatively massive (2–7 MJ) transiting extrasolar planets. HAT-P-20b orbits a $V=11.339$ K3 dwarf star with a period $P=2.875317\pm 0.000004$ d. The host star has a mass of 0.760 ± 0.03 M_{\odot} , radius of 0.690 ± 0.02 R_{\odot} , $T_{\text{eff}}=4595\pm 50$ K, and metallicity $[Fe/H]=+0.35\pm 0.06$. HAT-P-20b has a mass of 7.246 ± 0.167 M_{J} , and radius of 0.867 ± 0.033 R_{J} yielding a mean density of 13.76 ± 1.50 g cm^{-3} , which is the second highest value among all known exoplanets. HAT-P-21b orbits a $V=11.685$ G3 dwarf on an eccentric ($e=0.2280\pm 0.016$) orbit, with a period of $P=4.124481\pm 0.000007$ d. The host star has a mass of 0.95 ± 0.04 M_{\odot} , radius of 1.10 ± 0.06 R_{\odot} , $T_{\text{eff}}=5586\pm 60$ K, and $[Fe/H]=+0.01\pm 0.08$. HAT-P-21b has a mass of 4.063 ± 0.161 M_{J} , and radius of 1.024 ± 0.092 R_{J} . HAT-P-22b orbits the $V=9.732$ G5 dwarf HD233731, with $P=3.212220\pm 0.000009$ d. The host star has a mass of 0.92 ± 0.03 M_{\odot} , radius of 1.04 ± 0.04 R_{\odot} , $T_{\text{eff}}=5302\pm 60$ K, and metallicity of $+0.24\pm 0.05$. The planet has a mass of 2.147 ± 0.061 M_{J} , and compact radius of 1.080 ± 0.058 R_{J} . The host star also harbors an M-dwarf companion at a wide separation. Finally, HAT-P-23b orbits a $V=12.432$ G0 dwarf star, with a period $P=1.212884\pm 0.000020$ d. The host star has a mass of 1.13 ± 0.04 M_{\odot} , radius of 1.20 ± 0.07 R_{\odot} , $T_{\text{eff}}=5905\pm 80$ K, and $[Fe/H]=+0.15\pm 0.04$. The planetary companion has a mass of 2.090 ± 0.111 M_{J} , and radius of 1.368 ± 0.090 R_{J} (abridged).

Comments: 21 pages in emulatej style, 16 figures, 14 tables, 4 panels

Subjects: Earth and Planetary Astrophysics (astro-ph.EP), Solar and Stellar Astrophysics (astro-ph.SR)

DOI: 10.1088/0004-6370/742/2/116

Cite as: arXiv:1008.3388 [astro-ph.EP]

(or arXiv:1008.3388v1 [astro-ph.EP] for this version)

Submission history

From: Gaspar A. Bakos [view email]

[v1] Thu, 19 Aug 2010 20:00:56 GMT (85kb)

Which authors of this paper are endorsers? | Create a MetaJar (What is MetaJar?)

Link back to: arXiv, form interface, contact.

Download:

- PDF
- PostScript
- Other formats

(None)

Current browse context:

astro-ph.EP

< prev | next >

new | recent | 1008

Change to browse by:

astro-ph

astro-ph.SR

References & Citations

NASA ADS

Bookmark (what is this?)

TABLE 14
ORBITAL AND PLANETARY PARAMETERS FOR HAT-P-20b–HAT-P-23b

Parameter	HAT-P-20b	HAT-P-21b	HAT-P-22b	HAT-P-23b
Light curve parameters				
P (days)	2.875317 ± 0.000004	4.124481 ± 0.000007	3.212220 ± 0.000009	1.212884 ± 0.000002
T_c (BJD _{UTC}) ^a	$2455080.92661 \pm 0.00021$	$2454996.41312 \pm 0.00069$	$2454930.22001 \pm 0.00025$	$2454852.26464 \pm 0.00018$
T_{14} (days)	0.0770 ± 0.0008	0.1530 ± 0.0027	0.1196 ± 0.0014	0.0908 ± 0.0007
$T_{12} = T_{34}$ (days) ^a	0.0137 ± 0.0009	0.0184 ± 0.0029	0.0144 ± 0.0013	0.0105 ± 0.0007
a/R_*	11.17 ± 0.29	9.60 ± 0.71	8.55 ± 0.35	4.14 ± 0.23
c/R_*	31.32 ± 0.22	14.81 ± 0.15	18.97 ± 0.09	24.90 ± 0.12
R_p/R_*	0.1284 ± 0.0016	0.0950 ± 0.0022	0.1065 ± 0.0017	0.1169 ± 0.0012
b^2	$0.398^{+0.032}_{-0.034}$	$0.298^{+0.089}_{-0.118}$	$0.217^{+0.052}_{-0.065}$	$0.105^{+0.053}_{-0.049}$
$b \equiv a \cos i/R_*$	$0.631^{+0.025}_{-0.028}$	$0.546^{+0.074}_{-0.139}$	$0.466^{+0.052}_{-0.083}$	$0.324^{+0.070}_{-0.101}$
i (deg)	86.8 ± 0.2	87.2 ± 0.7	$86.9^{+0.6}_{-0.5}$	85.1 ± 1.5
Limb-darkening coefficients^b				
a_1 (linear term)	0.4719	0.2976	0.3587	0.2524
b_1 (quadratic term)	0.2174	0.3131	0.2831	0.3426
a_g	0.7080	0.5311
b_g	0.1165	0.2539
RV parameters				
K (m s^{-1})	1246.0 ± 8.1	548.3 ± 14.2	313.3 ± 4.2	368.5 ± 17.6
k_{RV}^c	0.012 ± 0.004	0.147 ± 0.011	-0.008 ± 0.008	-0.048 ± 0.023
h_{RV}^c	-0.007 ± 0.008	-0.175 ± 0.019	0.004 ± 0.016	0.090 ± 0.052
e	0.015 ± 0.005	0.228 ± 0.016	0.016 ± 0.009	0.106 ± 0.044
ω (deg)	317 ± 130	309 ± 3	156 ± 66	118 ± 25
RV jitter (m s^{-1})	15.7	26.4	9.9	34.7
Secondary eclipse parameters (derived)				
T_s (BJD _{UTC})	2455082.385 ± 0.007	2454998.865 ± 0.029	2454931.809 ± 0.016	2454852.834 ± 0.018
$T_{s,14}$	0.0764 ± 0.0010	0.1163 ± 0.0068	0.1204 ± 0.0032	0.1064 ± 0.0095
$T_{s,12}$	0.0134 ± 0.0009	0.0117 ± 0.0015	0.0145 ± 0.0014	0.0129 ± 0.0020
Planetary parameters				
M_p (M_{J})	7.246 ± 0.187	4.063 ± 0.161	2.147 ± 0.061	2.090 ± 0.111
R_p (R_{J})	0.867 ± 0.033	1.024 ± 0.092	1.080 ± 0.058	1.368 ± 0.090
$C(M_p, R_p)^d$	0.50	0.28	0.36	0.56
ρ_p (g cm^{-3})	13.78 ± 1.50	$4.68^{+1.59}_{-0.99}$	$2.11^{+0.40}_{-0.29}$	1.01 ± 0.18
$\log g_p$ (cgs)	4.38 ± 0.03	3.98 ± 0.08	3.66 ± 0.05	3.44 ± 0.05
a (AU)	0.0361 ± 0.0005	0.0494 ± 0.0007	0.0414 ± 0.0005	0.0232 ± 0.0002
T_{eq} (K)	970 ± 23	1283 ± 50	1283 ± 32	2056 ± 66
Θ^e	0.794 ± 0.031	0.413 ± 0.038	0.179 ± 0.010	0.062 ± 0.004
F_{per} ($10^8 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$) ^f	2.06 ± 0.20	10.0 ± 1.5	6.33 ± 0.67	50.0 ± 11.4
F_{ap} ($10^8 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$) ^f	1.94 ± 0.19	3.96 ± 0.66	5.91 ± 0.60	32.7 ± 2.7
$\langle F \rangle$ ($10^8 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$) ^f	2.00 ± 0.19	6.12 ± 0.97	6.12 ± 0.62	40.3 ± 5.3

^a T_c : Reference epoch of mid transit that minimizes the correlation with the orbital period. It corresponds to $N_{\text{tr}} = -16$. BJD is calculated from UTC. T_{14} : total transit duration, time between first to last contact; $T_{12} = T_{34}$: ingress/egress time, time between first and second, or third and fourth contact.

^b Values for a quadratic law, adopted from the tabulations by [Sjoberg \(2005\)](#) according to the spectroscopic (SME) parameters listed in [Table 12](#).

^c Lagrangian orbital parameters derived from the global modeling, and primarily determined by the RV data.

^d Correlation coefficient between the planetary mass M_p and radius R_p .

^e The Safronov number is given by $\Theta = \frac{1}{2}(V_{\text{esc}}/V_{\text{orb}})^2 = (a/R_p)(M_p/M_*)$ (see [Laganek & Hartman \(2002\)](#)).

^f Incoming flux per unit surface area. $\langle F \rangle$ is averaged over the orbit.

Rentrons maintenant les différents paramètres dont nous avons connaissance dans les champs correspondants, en commençant en haut à gauche de la fenêtre.

La période est égale à 2.875317 d. Il s'agit du seul paramètre vraiment indispensable à AIJ pour modéliser un transit. Si vous ne souhaitez pas entrer dans le détail de la modélisation tel que montré ci-dessous, entrez uniquement ce paramètre et ignorez la suite de ce tutoriel. AIJ fonctionnera alors en mode automatique ... Sachez toutefois que vous passerez à côté de la raison d'être d'AIJ.

Par convention l'excentricité est fixée à 0 (orbite circulaire) ; la dernière valeur publiée (Deming et al, 2015, citée sur NASA Exoplanet Archive) est égale à 0.171, avec $\omega = 322\text{deg}$.

Le type spectral de l'étoile hôte est K3 (par défaut, K5 valeur approchée), mais ceci n'aura pas d'influence pour cette fois ; nous pouvons passer. (Note : nous détaillerons l'usage des paramètres stellaires au travers des exercices proposés en bas de page)

La valeur « *Baseline flux* » est fixée par nos observations ; nous n'y toucherons pas.

Le rapport des rayons $R_{\text{planète}}/R_{\text{étoile}}$ nous est connu (R_p/R_*) et nous pouvons renseigner le champ correspondant après avoir cliqué sur « *Lock* ». Attention : AIJ demande la valeur au carré, soit : 0.01648656 (= 0.1284 x 0.1284). Il s'agit en fait de la profondeur du transit, que le site ETD donne pour 0.0204, valeur que nous pourrions essayer ultérieurement.

A/R_* , demi grand-axe de l'orbite de HAT-P-20 b = 11.17

T_c correspond à l'instant du milieu du transit. La valeur donnée dans le champ vert a été déterminée automatiquement par AIJ ; nous avons vu un peu plus haut, à l'examen du graph, que la modélisation semblait erronée à ce niveau. Faisons donc confiance, pour cette fois, aux instants donnés par ETD et cochons la case « *Lock* », puis (si le calcul n'est pas automatique) entrons l'instant du milieu du transit en JD : 2457424.309375. En cas de doute, nous pourrions nous affranchir d'ETD et recalculer cette valeur en la dérivant des valeurs données dans l'article de référence (*Epoch + n Period*).

L'inclinaison du plan orbital, vu depuis la Terre, est $i=86.8\text{ deg}$ (« *Inclination* »)

Quad LD u_1 et u_2 : il s'agit du facteur assombrissement du limbe stellaire. Retenons la valeur quadratique = 0.2174 pour u_1 , seul terme connu, et adoptons par défaut la valeur proposée par AIJ pour u_2 .

Lorsque nous en avons terminé avec cette première feuille, il convient de renseigner la seconde feuille « *Fit setting* » (data 11) ; nous reprendrons les mêmes valeurs.

NOTE : d'autres précisions concernant le « *model-fit* » sont disponibles dans les réponses données aux exercices énoncés en bas de page ; nous invitons vivement le lecteur à ne pas passer ces paragraphes.

Data Set 1 Fit Settings

File Auto Priors

rel_flux_T1

User Specified Parameters (not fitted)

Orbital Parameters **Host Star Parameters (enter one)**

Period (days): 2.875317 Cir: Ecc: 0.171 ω (deg): 322.0
 Sp.T.: K5V Teff (K): 4340 J-K: 0.720 R* (Rsun): 0.720 M* (Msun): 0.670 ρ* (cgs): 2.500

Transit Parameters

Enable Transit Fit Auto Update Priors Extract Prior Center Values From Light Curve, Orbit, and Fit Markers

Parameter	Best Fit	Lock	Prior Center	Use	Prior Width	Cust	StepSize
Baseline Flux (Raw)	0.075294759	<input type="checkbox"/>	0.075255899	<input type="checkbox"/>	0.01505118	<input type="checkbox"/>	0.075255899
$(R_p / R_*)^2$	0.016486560	<input checked="" type="checkbox"/>	0.01648656	<input type="checkbox"/>	0.009113447	<input type="checkbox"/>	0.01648656
a / R_*	11.170000000	<input checked="" type="checkbox"/>	11.17	<input type="checkbox"/>	7.0	<input type="checkbox"/>	1.0
T_C	2457424.309375000	<input checked="" type="checkbox"/>	2457424.309375	<input type="checkbox"/>	0.015	<input type="checkbox"/>	0.01
Inclination (deg)	86.800000000	<input checked="" type="checkbox"/>	86.8	<input type="checkbox"/>	15.0	<input type="checkbox"/>	1.0
Quad LD u1	0.217400000	<input checked="" type="checkbox"/>	0.2174	<input type="checkbox"/>	1.0	<input type="checkbox"/>	0.1
Quad LD u2	0.791115114	<input type="checkbox"/>	0.3	<input type="checkbox"/>	1.0	<input type="checkbox"/>	0.1
Calculated from model	b: 0.517 t14 (d): 0.069354 t14 (hms): 01:39:52 t23 (d): 0.048490 tau (d): 0.010432 ρ* (cgs): 5.3294 (e)SpT: M0V Rp (Rjup): 0.90						

Detrend Parameters

Use	Parameter	Best Fit	Lock	Prior Center	Use	Prior Width	Cust	StepSize
<input checked="" type="checkbox"/>	AIRMASS	-0.001693149307	<input type="checkbox"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	1.0	<input type="checkbox"/>	0.1
<input checked="" type="checkbox"/>	AIRMASS	-0.002131915561	<input type="checkbox"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	1.0	<input type="checkbox"/>	0.1
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	0.0	<input type="checkbox"/>	1.0	<input type="checkbox"/>	0.1

Fit Statistics

Fit Statistics: RMS (norm): 0.005757 chi²/dof: 2.304806 BIC: 100.9104 dof: 34 chi²: 78.3634

Plot Settings

Show Model Show in legend Line Color: red Line Width: 1

Show Residuals Show in legend Show Error Line Color: red Line Width: 1 Symbol: circle Symbol Color: red Shift: -37.0

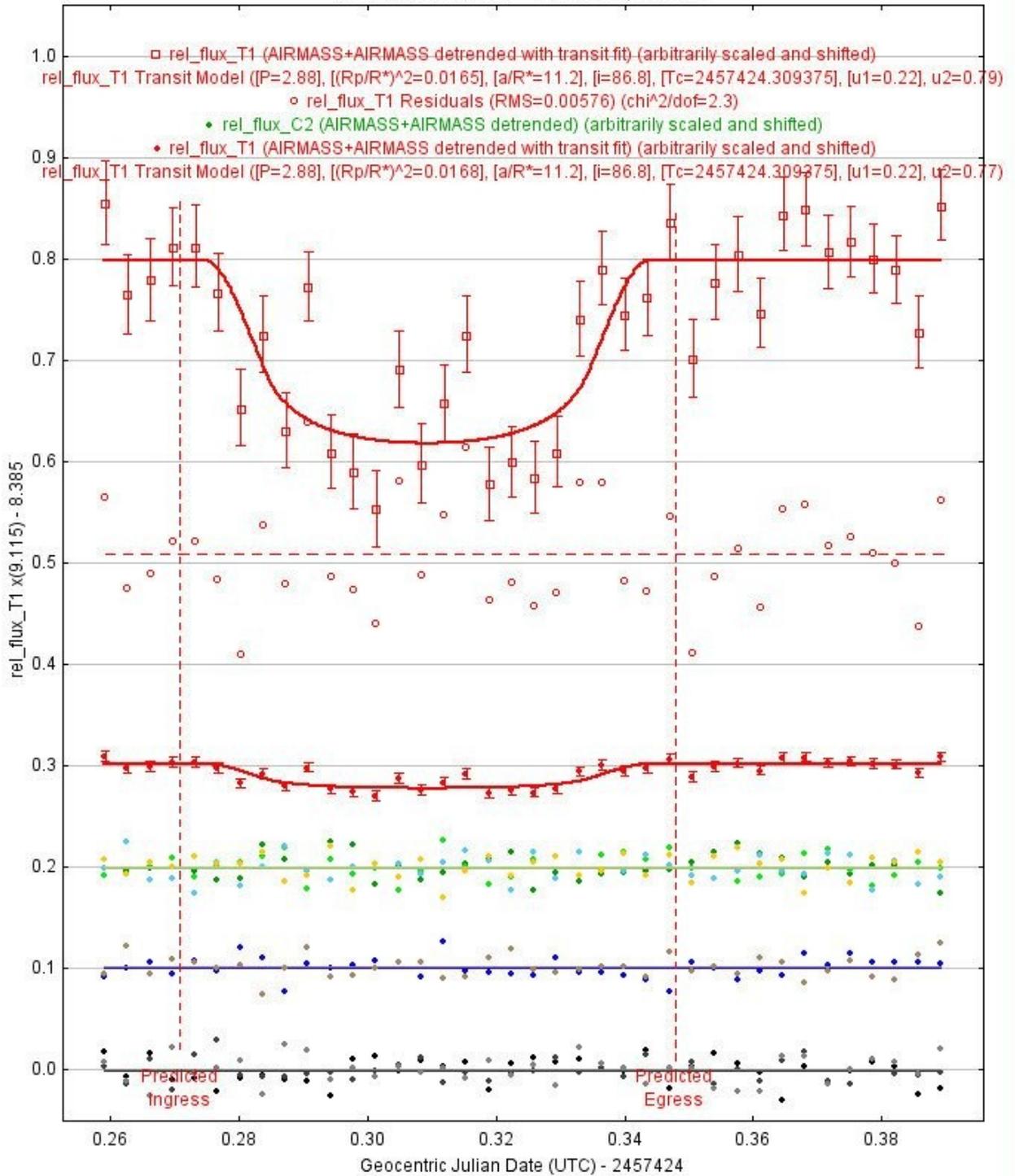
Fit Control

Fit Control: Fit Update Options: Auto Update Fit Update Fit Now Fit Tolerance: 1.0E-8 Max Allowed Steps: 30,000 Steps Taken: 226

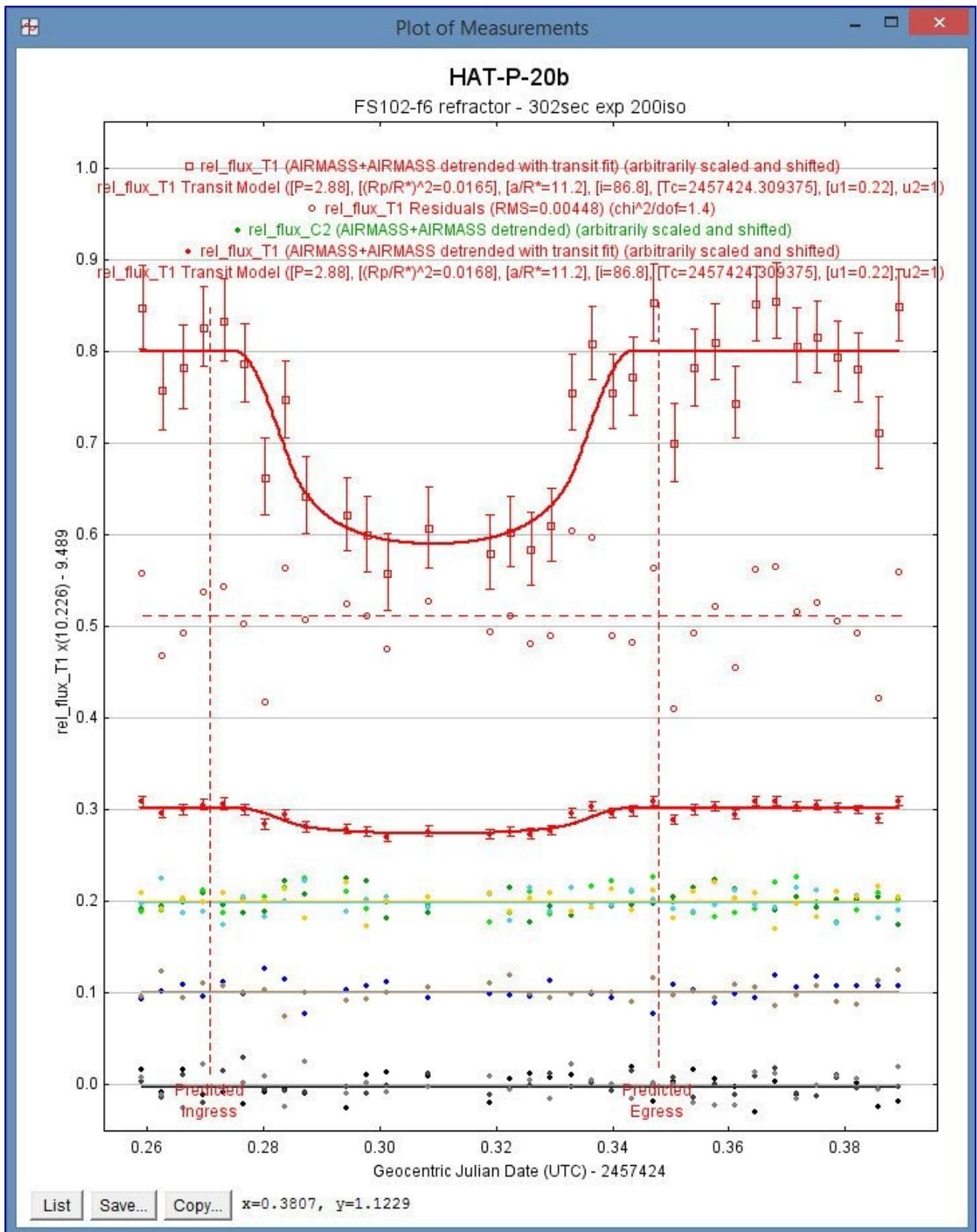
Plot of Measurements

HAT-P-20b

FS102-f6 refractor - 302sec exp 200iso



List Save... Copy... x=0.3749, y=1.1128



Notre courbe a déjà meilleure allure. S'il n'était trois ou quatre mesures en cours de transit, dégradées par des passages de nuages d'altitude (qu'il est possible de supprimer), nous pourrions être relativement satisfait du résultat. La suppression de ces points litigieux apporte d'ailleurs un gain immédiat à notre modélisation, ainsi qu'on peut le constater sur la courbe ci-dessus. Seule

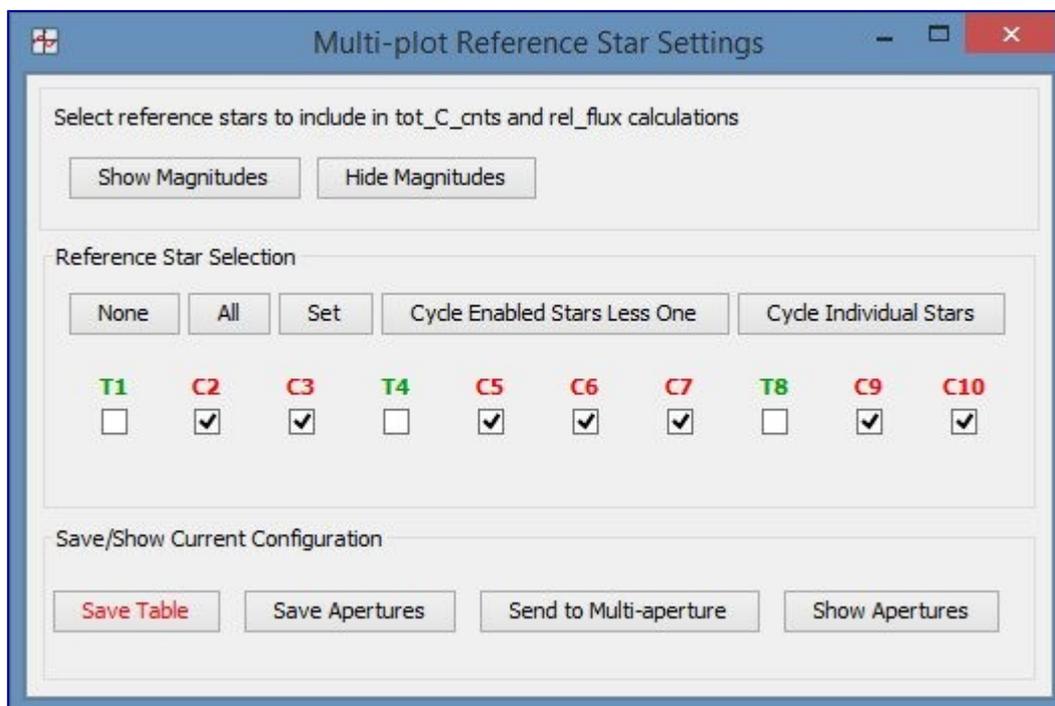
demeure la question de savoir s'il est éthique de supprimer des données manifestement erronées. On doit pouvoir répondre à cette interrogation au cas par cas, et dans tous les cas de figure, mentionner le fait et le justifier.

Encore quelques détails

Il nous reste un point à prendre en considération avant de publier notre courbe, que nous avons un peu trop vite balayé au début de ce tutoriel : vérifier que les étoiles de comparaison que nous avons choisies n'étaient pas variables.

AIJ nous offre une solution simple, qui pourrait suffire en première analyse, avant que de consulter une documentation de référence.

La toute petite fenêtre « *Multi-plot reference star settings* » permet d'inclure/extraire une ou plusieurs comp's d'un panel de référence. Il suffit de décocher une comp (qui devient verte) pour supprimer son influence dans l'analyse ; les valeurs sont automatiquement ajustées dans le graphique. Il est ainsi possible de comparer des étoiles deux à deux pour vérifier qu'aucune n'a pas de variabilité à court terme.



Exercices

Nous l'avons vu, le site ETD donne la profondeur du transit de HAT-P-20 b comme étant égale à 0.0204, valeur que nous ne retrouvons pas dans l'article de référence, ni sur le *NASA Exoplanet Archive*, qui propose 0.0102. Pourtant, les observations archivées sur ETD « tournent » volontiers

aux environs de 0.020. Dans ces conditions, que valent nos propres observations ? Quel impact peut avoir la profondeur du transit sur les autres données, au travers de la modélisation proposée par AIJ, à savoir : durée du transit, rayon et masse de la planète, erreur résiduelle. Quels sont les autres paramètres qui peuvent avoir une influence notable sur la modélisation ? Quels contrôles avons-nous sur la qualité du modèle proposé ?

Faites des essais en modifiant à la hausse, à la baisse certains critères, et cherchez où se situent les limites de cette modélisation.

Réponses ci-dessous (faire apparaître en mettant en surbrillance) :

- Tous paramétrages égaux, par ailleurs, à ceux donnés plus haut dans cette page, lorsque nous jouons un peu avec la valeur de la profondeur $(R_p/R^*)^2$ nous voyons bien que l'erreur résiduelle (« *Residuals RMS* ») est la plus basse, demeurant en dessous de 0.0045 (voir dans la fenêtre « *Fit settings* » la ligne « *Fit statistics* »), pour des valeurs de profondeur comprises entre 0.014 et 0.0173. Dans ces conditions, le modèle proposé épouse aux mieux nos données, tout en « collant » à peu près correctement aux valeurs publiées. Avec une profondeur égale à 0.0160, le rayon calculé de la planète (R_p) est égal à 0.87 R_j ($R_{Jupiter}$) (voir dans la fenêtre « *Fit settings* » la ligne « *Calculated from model* »), ce qui correspond exactement la valeur donnée dans le papier de référence. On est donc loin d'une profondeur à 0.0204.
- Le rayon de notre planète (et par conséquent sa masse, à densité égale) peut augmenter dans une large proportion et vite devenir « hors de contrôle » lorsqu'on intègre les valeurs physiques observées de l'étoile hôte. Les auteurs de l'article de découverte citent une étoile hôte de classe spectrale K3 pour HAT-P-20, avec une température égale à 4595K \pm 80, une masse = 0.760 M_{sol} et un rayon = 0.690 R_{sol} . Il nous faut contenir la température de l'étoile à 4300 K pour conserver à la planète son diamètre $R_p = 0.87 R_j$. Il est un peu dommage que l'on ne puisse pas découpler dans une certaine mesure les valeurs physiques de l'étoile hôte (temp/R/M ...), mais c'est un choix de l'auteur du soft.
- De fait, les valeurs des différents paramètres stellaires de la séquence principale proposés ici sont liés entre eux et tirés du « *Allen's Astronomical Quantities 4th edition* ». Le seul véritable critère à prendre en considération, s'il est connu, c'est le rayon stellaire R^* dont l'influence est directe sur le R_p au travers de la profondeur du transit – son influence s'étendant également à la durée du phénomène. Les autres paramètres ne sont là, finalement, que pour obtenir une estimation du R^* , lorsque ce critère est inconnu : ainsi, si l'on entre une température de 4595K pour notre étoile hôte, le soft renvoie la valeur $R^* = 0.757$, assez proche de la valeur estimée par l'observation spectrale/photométrique ($R^* = 0.690$) ; mieux que laisser la case en blanc, donc. Si l'on rentre la valeur déterminée par l'observation $R^* = 0.690$ (papier de référence), pour une profondeur égale à 0.0170, on obtient encore un $R_p = 0.87 R_j$, avec une erreur résiduelle = 0.00449, ce qui semble le meilleur compromis possible si l'on choisit de s'aligner sur les observations archivées sur ETD, à condition d'enlever 4 valeurs litigieuses de nos observations. En revanche, la durée du transit modélisée n'évolue guère. Enfin, si l'on passe à une profondeur égale à 0.0204, comme le propose ETD, le R_p passe à 0.96 R_j , tandis que la durée n'évolue pas encore de façon significative. Note : la valeur R^* n'est pas utilisée pour le model-fit ; elle sert uniquement à préciser la valeur R_p .

- Si l'on essaye d'intégrer le paramètre « *Sky/pixel_T1* » (valeur du fond de ciel par pixel) dans notre modélisation (« *Detrend parameters* »), qui est un peu le reflet de la qualité du ciel pendant l'observation, le modèle change très peu ; seule l'erreur résiduelle est un peu diminuée. Même chose en ce qui concerne le paramètre « *Width_T1* » (largeur de la cible). Le facteur *Airmass* apparaît comme le facteur le plus déterminant dans cette simulation ; si l'on n'en tient pas compte, le modèle s'enlise très rapidement.
- Introduire de nouveaux paramètres dans notre modélisation peut améliorer le résultat final, nous l'avons vu. Il y a lieu de penser, toutefois, qu'un certain risque d'ajouter du bruit (artéfacts) existe aussi. Autrement dit, surcorriger n'est pas bon. Dans ce cas, déterminer si l'introduction d'un nouveau paramètre de « *detrending* » est intéressant ou nocif est essentiel. Comment y parvenons-nous avec une modélisation sous AIJ ? Le critère à surveiller est le « *BIC* », qu'on retrouve dans la zone « *Fit statistics* ». Le *BIC*, ou « *Bayesian information criterion* » permet d'évaluer le niveau de pertinence de l'introduction d'un nouveau facteur dans une modélisation (pour en savoir plus [en anglais](#), [en français](#) – la page en français étant malheureusement un peu juste). Voyons ce que cela donne en pratique : dans la zone « *Detrend parameters* » de notre fenêtre « *Fit settings* », supprimons tous les paramètres actuellement actifs : *Airmass/Airmass/Sky/pixel_T1/Width_T1/tot_C_cnts* que nous avons pu y appliquer. La valeur du *BIC* devrait être égale à 119.3019, si les autres paramètres n'ont pas été modifiés, et si toutes les valeurs sont présentes (y compris les 4 mesures erronées obtenues en cours de transit). Supprimons maintenant nos 4 valeurs abusives ; le *BIC* descend à 95.2755, ce qui est très bon (on s'en était douté rien qu'à regarder la convergence augmenter entre nos données et le fit, sur le diagramme). Introduisons maintenant un premier facteur *Airmass* et le *BIC* descend encore à 68.1554 : correct ! Introduisons ensuite un second facteur *Airmass* : le *BIC* passe à 68.2261, ce qui est mauvais. En effet, l'introduction d'un nouveau facteur doit amener à une baisse minimale de 2 points pour être considérée comme pertinente ; avec une baisse supérieure à 10 points, le critère est excellent. Nous pouvons donc supprimer ce second facteur *Airmass*. En essayant les autres critères, nous pouvons voir également leur faible utilité dans le cadre de notre observation de HAT-P-20 b.
- Karen Collins conseille de se limiter à un ou deux « *detrending factors* » dans la plupart des cas. Quatre facteurs, c'est clairement trop. Le facteur « retournement de la monture au méridien » (« *Meridian_flip* »), par contre, est essentiel lorsqu'il y a lieu.

Selon les critères de qualité en vigueur sur ETD , comment qualifier notre observation ? Quelles solutions pour améliorer notre courbe ?

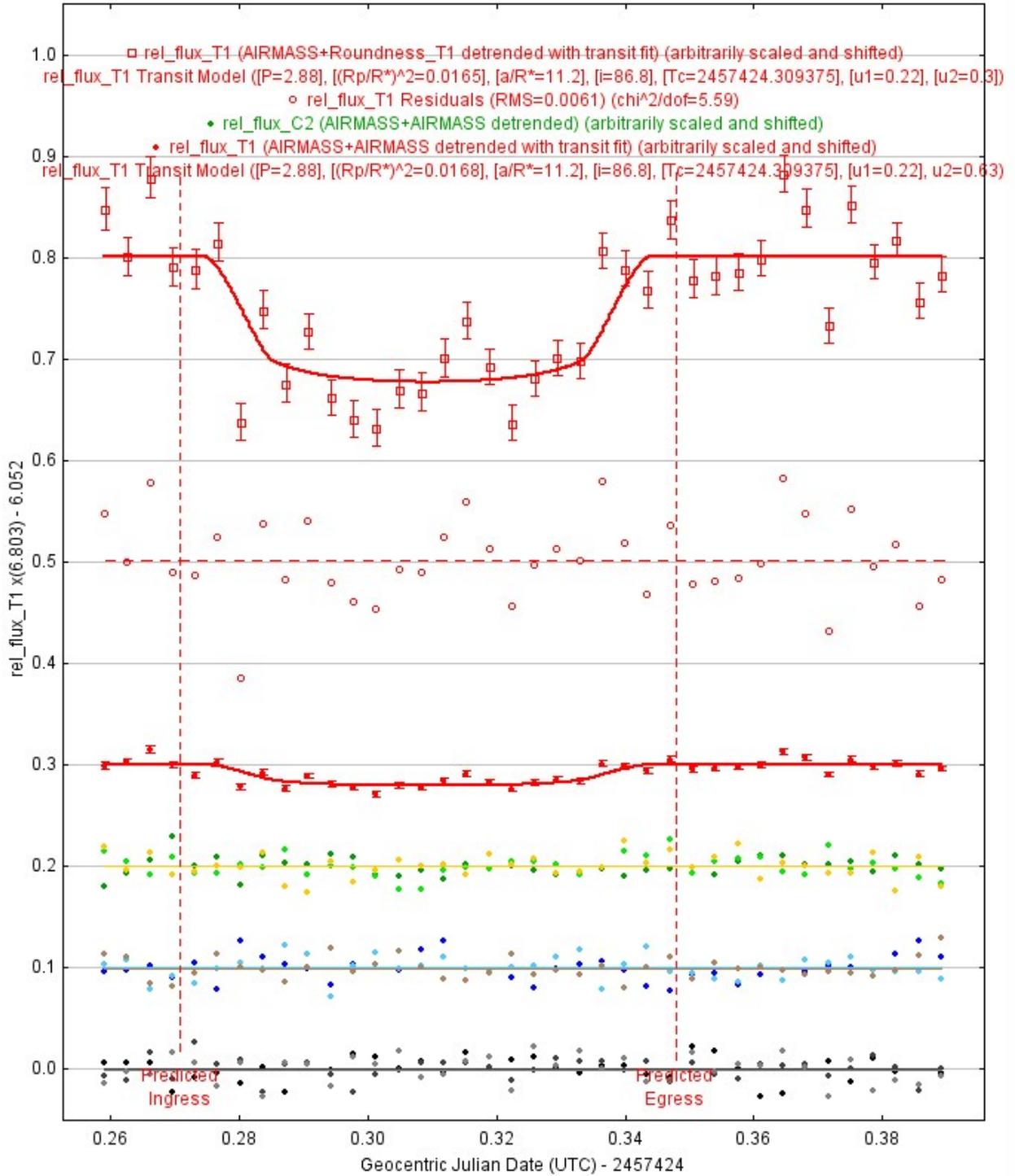
- La durée observée du transit (100 minutes au lieu de 111) et la profondeur ne sont pas conformes aux observations archivées sur ETD. Notre observation ne vaut sans doute pas mieux que 4 ou 5, *a priori*, selon les critères ETD. Nous sommes un peu en limite de ce qu'il est possible de faire avec un diamètre de 102mm + APN. Mais nous pouvons encore jouer sur la qualité du ciel et n'observer que lors de nuits réellement photométriques ; surtout, il faudrait changer de ciel, en troquant une périphérie d'agglomération de 50000 habitants avec son terrain de football éclairé comme en plein jour à moins de 200m, et sa zone d'hypermarchés, son hôpital au coin de la rue, pour un vrai ciel

de campagne. Réjouissons-nous toutefois d'obtenir un résultat, sinon véritablement utile d'un point de vue scientifique, du moins satisfaisant au regard des conditions d'acquisition de la séquence.

- Diminuer le temps de pose devrait améliorer la résolution temporelle et permettre de mieux distinguer les instants du transit, à condition que le bruit de mesure n'augmente pas.
- Travailler en « Clear » à l'APN plutôt qu'en « V Johnson » permet en théorie de doubler le signal ; pas tout à fait dans la réalité, car le signal dans le rouge est davantage perturbé par la pollution lumineuse qu'en V. De fait, le rapport signal/bruit (Source_SN_T1) compris précédemment entre 231 et 276 selon les images, passe à 345/420, soit un facteur 1.55 environ, lorsque nous utilisons tout le potentiel de nos images, ce qui est un gain appréciable en terme de qualité. Il ne nous est pas même utile de supprimer des valeurs jugées précédemment un peu litigieuses, en raison de passages de nuages.
- Publier nos données sur le site [ETD Transit](#) est facile ; nous utilisons une sauvegarde partielle, et le tour est joué en quelques clics bien sentis : (Fenêtre « *Multiplot Main* » File>Save data subset to file : temps héliocentrique, flux relatif, et erreurs). Très rapidement, le site nous retourne un modèle qui s'éloigne assez largement de celui que nous venons de construire sous AIJ, et de ce à quoi nous nous attendions en matière de résultat : durée calculée par ETD à 109.6 +-7.3 minutes et profondeur égale à 0.0242 +-0.0042 ... Autrement dit, nos observations sont tout à fait compatibles avec ce qui était attendu ... ce qui nous surprend tout même un peu. La modélisation effectuée par le site est assurément différente de celle effectuée par AIJ.

HAT-P-20b

FS102-f6 refractor - 302sec exp 200iso

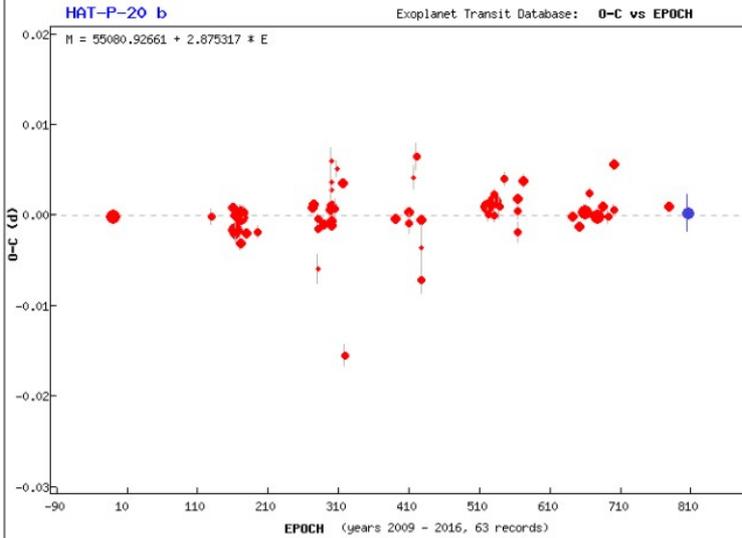


List

Save...

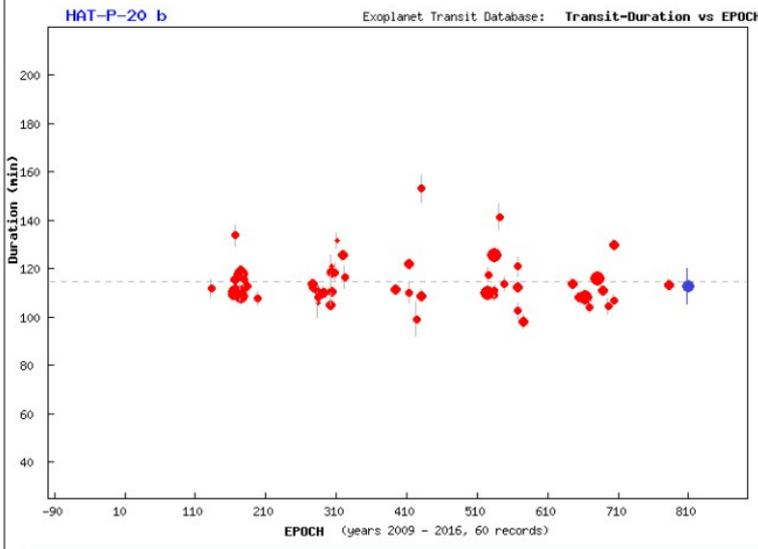
Copy...

x=0.3890, y=0.9129



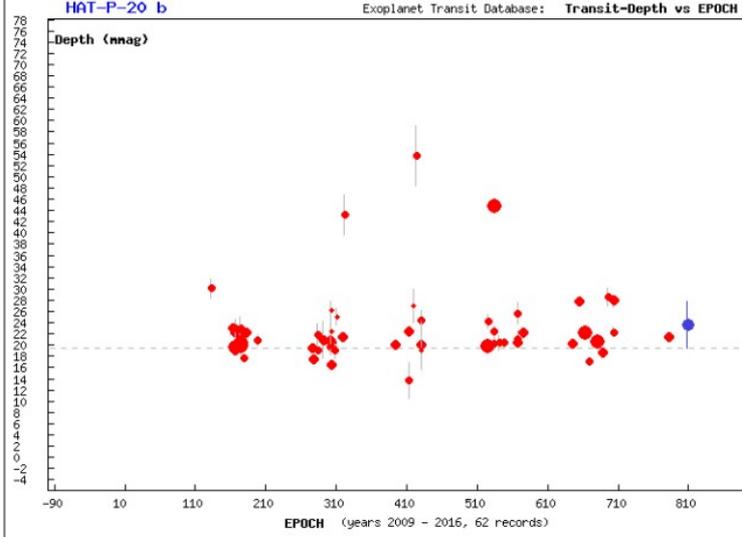
data quality indicator

- 1 - best
- 2
- 3
- 4
- 5 - worst



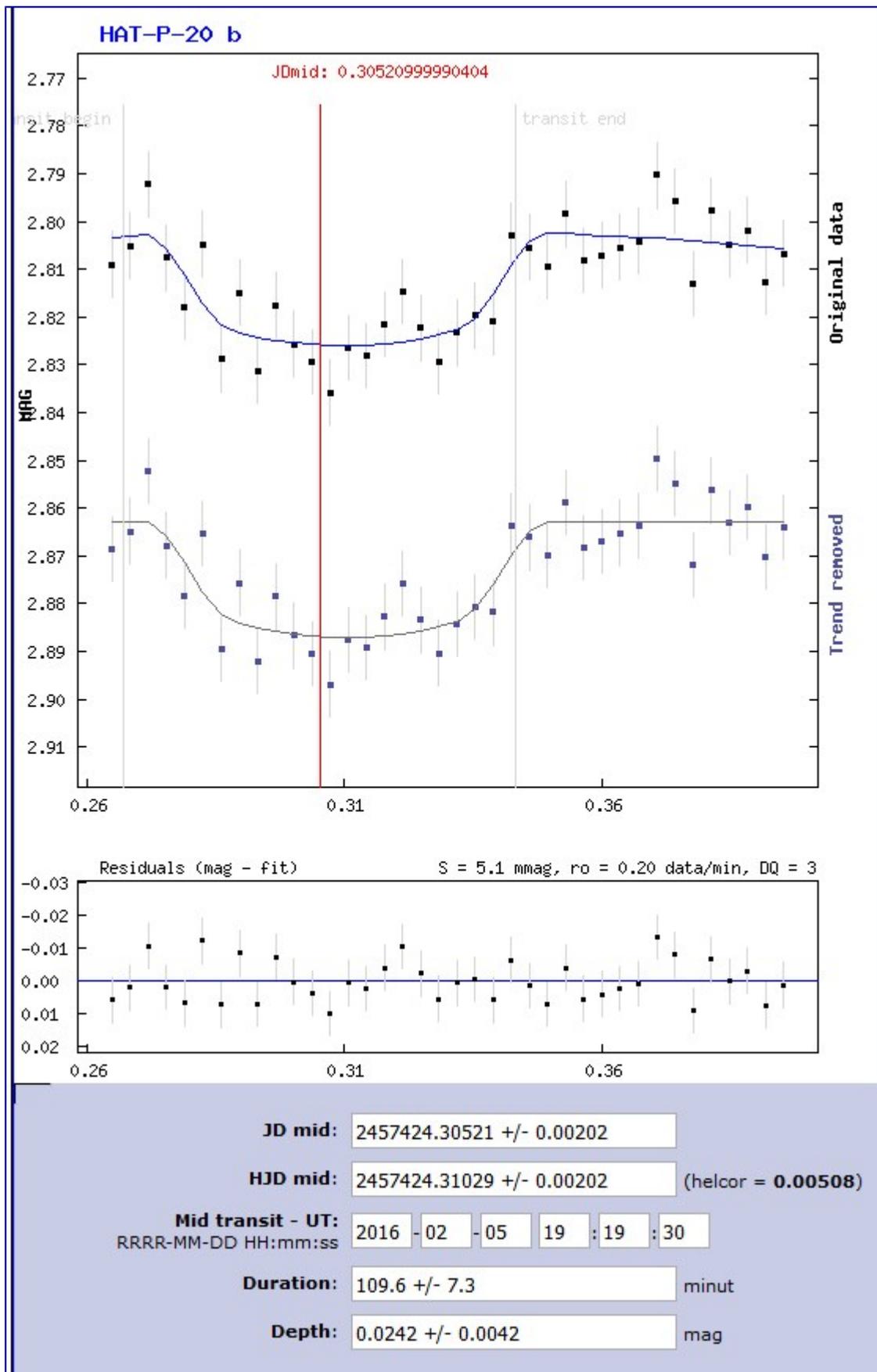
data quality indicator

- 1 - best
- 2
- 3
- 4
- 5 - worst



data quality indicator

- 1 - best
- 2
- 3
- 4
- 5 - worst



En réalité, il existe bel et bien quelques variables dans notre champ, qu'il faut éviter de sélectionner en tant que comps. Pouvez-vous déterminer lesquelles et vous assurer qu'elles ne figurent pas dans

la liste des compes sélectionnées pour cette manipulation ? Au passage, évaluez le risque en utilisant l'une ou l'autre de ces variables.

- ASAS J072756+2401.6 est localisée à 22' de notre cible ; magnitude 11.2, amplitude 0.16, période 36 jours. bien isolée, d'éclat proche de celui de HAT-P-20, nous aurions pu l'inclure dans nos compes par mégarde. Nous avons préféré lui choisir une proche voisine. Maintenant, sa période longue et sa faible amplitude ne présentaient pas un gros risque pour nos mesures.
- GSC 01910-00661, localisée à 13' de notre cible, était une variable plus dangereuse. Binaire à éclipse de période 2.7 j, elle eut pu poser problème. Fort heureusement, son éclat (12.42), et sa proximité à une autre étoile, ne la prédisposait pas à être choisie *a priori*.
- Une vingtaine d'autres variables sont situées à moins de 60' de la cible ; elles en général trop faibles pour être choisies en tant que comp. Il en est cependant deux auxquelles les possesseurs d'instruments à grand champ devraient faire attention. Lesquelles ?

That's all, folks !