

# **CONNAISSANCE de l'HEURE**

Bernard CHRISTOPHE ( Club Eclipse )

Les Rencontres du Ciel & de l'Espace 2006

# CONNAISSANCE de l'HEURE

- Le ciel, la lune, le soleil ( le mouvement de la terre )
- Clepsydras , Sabliers
- 15s, 16s Horloges
- 18s Déterminations des longitudes: Satellites de Jupiter
- Tables de la lune
- Chronomètre marine ( Harrison )
- 19s, 20s Améliorations des horloges mécaniques
- Améliorations des instruments de passage
- 1955 Horloges atomiques ( fluctuations de la rotation terrestre )
- Aujourd'hui :

# COMPARAISON d 'HORLOGES

- Le TAI est une moyenne de 260 horloges atomiques du monde entier.
- La mesure des dérives de chaque horloge se fait par comparaison aux horloges du système GPS ( on prend évidemment en compte la position des satellites la transmission, l ' ionosphère, les effets relativistes, etc. )
- Toutes ces mesures sont enregistrées pendant 1 mois, 1/2 mois est nécessaire au calcul du TAI ( précision  $\sim 1$  nsec )
- A l 'Observatoire de Paris on génère le UTC(OP) dont l 'erreur au TAI  $< 50$  nsec
- [echelledetemps1.pdf](#)

l'anomalie moyenne du Soleil exprimée en radians est  $M = 6,240\,060 + 6,283\,019\,552t$  ; le temps  $t$  est compté en années juliennes à partir de J2000 :  $t = (dj - 2\,451\,545)/365,25$ , avec  $dj$ , la date considérée, exprimée en jours juliens.

On remarque que midi correspond à la valeur 0 h du temps solaire. On appelle *temps civil* d'un lieu le temps solaire moyen de ce lieu, augmenté de 12 heures. L'introduction du temps civil permet d'éviter le changement de quantième au milieu de la journée.

Le *Temps universel* (UT) est le temps civil de Greenwich.

#### CONVERSION DU TEMPS SIDÉRAL EN TEMPS MOYEN (et vice versa)

La relation entre les mesures d'une même durée exprimées en temps sidéral et en temps moyen est :

$$\text{mesure en temps sidéral} = \text{mesure en temps moyen} \times 1,002\,737\,9 ;$$

ou

$$\text{mesure en temps moyen} = \text{mesure en temps sidéral} \times 0,997\,269\,6.$$

#### ÉCHELLES DE TEMPS

La mise en œuvre de nombreux étalons atomiques de fréquence, depuis 1955, a permis de définir de nouvelles échelles de temps ayant des qualités métrologiques très supérieures à celles de temps astronomiques. On distingue maintenant les échelles de base suivantes :

le *Temps atomique international* TAI qui est la mesure du temps la plus régulière qu'on sache réaliser ;

le *Temps universel* UT1 qui repose sur la rotation de la Terre et qui reflète les irrégularités de cette rotation (UT a été défini précédemment ; l'indice 1 précise qu'il est rapporté au pôle mobile de la Terre) ;

le *Temps universel coordonné* UTC, qui tout en ayant les qualités métrologiques du TAI, représente à moins d'une seconde près le UT1.

En outre, les astronomes utilisent pour leurs travaux de mécanique céleste :

le *Temps des éphémérides* TE, fondé sur le mouvement orbital de la Terre autour du Soleil ;

le *Temps terrestre* TT, basé sur le TAI et décalé de façon à prolonger le TE.

Par ailleurs, les décisions de l'Union Astronomique Internationale, en 1991, ont conduit à introduire deux échelles de temps définies dans le cadre

de la théorie de la relativité générale comme des temps-coordonnées. Ceux-ci correspondent respectivement à des systèmes de coordonnées qui ont leur origine spatiale au centre de masse de la Terre et au barycentre du système solaire ; ils sont désignés respectivement Temps-coordonnée géocentrique TCG et Temps-coordonnée barycentrique TCB et doivent être utilisés comme argument de la théorie pour le calcul d'éphémérides respectivement géocentriques et barycentriques.

Voici quelques précisions sur ces échelles de temps et leur usage :

le *Temps atomique international* TAI est une échelle scientifique que les astronomes utilisent pour l'interprétation dynamique des mouvements des astres naturels et artificiels. Aucun signal horaire ne le diffuse directement. Mais on verra plus loin, à propos du Temps universel coordonné, comment on peut dater les observations en TAI, l'exactitude relative étant de 10 à 20 nanosecondes ;

le *Temps universel* UT1 est nécessaire pour fixer la position de la Terre dans son mouvement de rotation. Il sert pour la navigation et la géodésie astronomiques, pour la navigation spatiale. En astronomie, il faut le connaître pour interpréter les éclipses, les occultations, les mesures de périodes de pulsars. En géophysique, il est, par comparaison au TAI, un témoin des irrégularités de la rotation terrestre. La précision ultime avec laquelle on peut l'obtenir actuellement est de 0,01 ms. Mais ceci demande d'avoir accès au TAI avec une précision au moins aussi bonne et aux publications du Service international de la rotation terrestre (IERS)<sup>(1)</sup>. On verra cependant qu'on l'obtient directement à 0,1 s près par les signaux horaires du système UTC ;

le *Temps universel coordonné*<sup>(2)</sup> UTC n'est autre que le TAI, mais décalé d'un nombre entier de secondes, de façon à se conformer approximativement au UT1. Les signaux horaires radio émis en haute fréquence, essentiellement destinés aux navigateurs, diffusent UTC ; si l'on tient compte du temps de propagation, les incertitudes peuvent être réduites à 1ms environ. Mais il est maintenant bien plus pratique de faire appel aux émissions des satellites du « Global Positioning System » (GPS) ; avec des récepteurs appropriés on obtient en permanence et sans aucune correction UTC à  $1\mu\text{s}$

---

(1) IERS central bureau, Richard-Strauss-Allee 11, D-60598 Frankfurt/Main, Allemagne. IERS-EOC, observatoire de Paris, 61 avenue de l'observatoire, 75014 Paris.

(2) Lorsqu'il n'y a pas lieu de distinguer entre UTC et UT1, c'est-à-dire lorsqu'une précision d'une seconde suffit, la notation abrégée UT est admise. L'usage des initiales GMT (ou TMG) qui prête à confusion est fautif ; l'Union Astronomique Internationale a instamment demandé que GMT soit remplacé par les désignations appropriées, UT1, UTC, UT. Cette Union a aussi recommandé les désignations TAI, UT1, UTC, UT dans toutes les langues.

près environ. Si l'on a besoin d'une exactitude encore supérieure, il faut faire appel aux publications du Bureau international des poids et mesures (BIPM)<sup>(1)</sup> qui fournissent des corrections au temps du GPS. Les incertitudes sont alors réduites à 10 ou 20 ns. Ces méthodes donnent accès au TAI, après correction d'un nombre entier de secondes qu'il faut connaître. D'après les accords internationaux en vigueur, UTC ne doit pas s'écarter de plus de 0,9 s de UT1. Le tableau suivant donne la différence entre TAI et UTC depuis 1983.

Intervalle de validité	TAI – UTC
1 juillet 1983 - 1 juillet 1985 .....	22 s
1 juillet 1985 - 1 janvier 1988 .....	23 s
1 janvier 1988 - 1 janvier 1990 .....	24 s
1 janvier 1990 - 1 janvier 1991 .....	25 s
1 janvier 1991 - 1 juillet 1992 .....	26 s
1 juillet 1992 - 1 juillet 1993 .....	27 s
1 juillet 1993 - 1 juillet 1994 .....	28 s
1 juillet 1994 - 1 janvier 1996 .....	29 s
1 janvier 1996 - 1 juillet 1997 .....	30 s
1 juillet 1997 - 1 janvier 1999 .....	31 s
1 janvier 1999 - .....	32 s

Les temps en usage, transmis par exemple par les horloges parlantes et les stations de radiodiffusion des divers pays, dérivent de UTC par addition d'un nombre entier d'heures. UTC est donc la seule échelle de temps mondiale directement accessible aux observateurs et c'est celle dans laquelle doivent être datés les événements scientifiques, en particulier les observations astronomiques. La plupart des émissions de signaux horaires radio diffusent suivant un code simple, uniformisé et audible une correction appelée DUT1 qui permet de corriger UTC pour avoir UT1 avec une erreur maximale de 0,1 s. Les utilisateurs qui veulent connaître UT1 avec une précision encore meilleure doivent faire appel aux circulaires de l'IERS qui donnent des tables des valeurs de UT1–UTC. Pour avoir plus de détails, on peut consulter le Service international de la rotation terrestre ;

le *Temps des éphémérides* TE fut la meilleure représentation du temps uniforme avant l'apparition du temps atomique. Il reste, de ce fait, indispensable pour interpréter les observations anciennes. Pour les travaux sur les données récentes, il est remplacé par des échelles de temps liées au temps atomique dont la définition prend en compte les effets de la relativité générale. Ainsi les éphémérides géocentriques sont exprimées dans une échelle qui est en pratique TAI + 32,184 s. Cette échelle qui prolonge

(1) Bureau international des poids et mesures, Pavillon de Breteuil, 92312 Sèvres Cedex

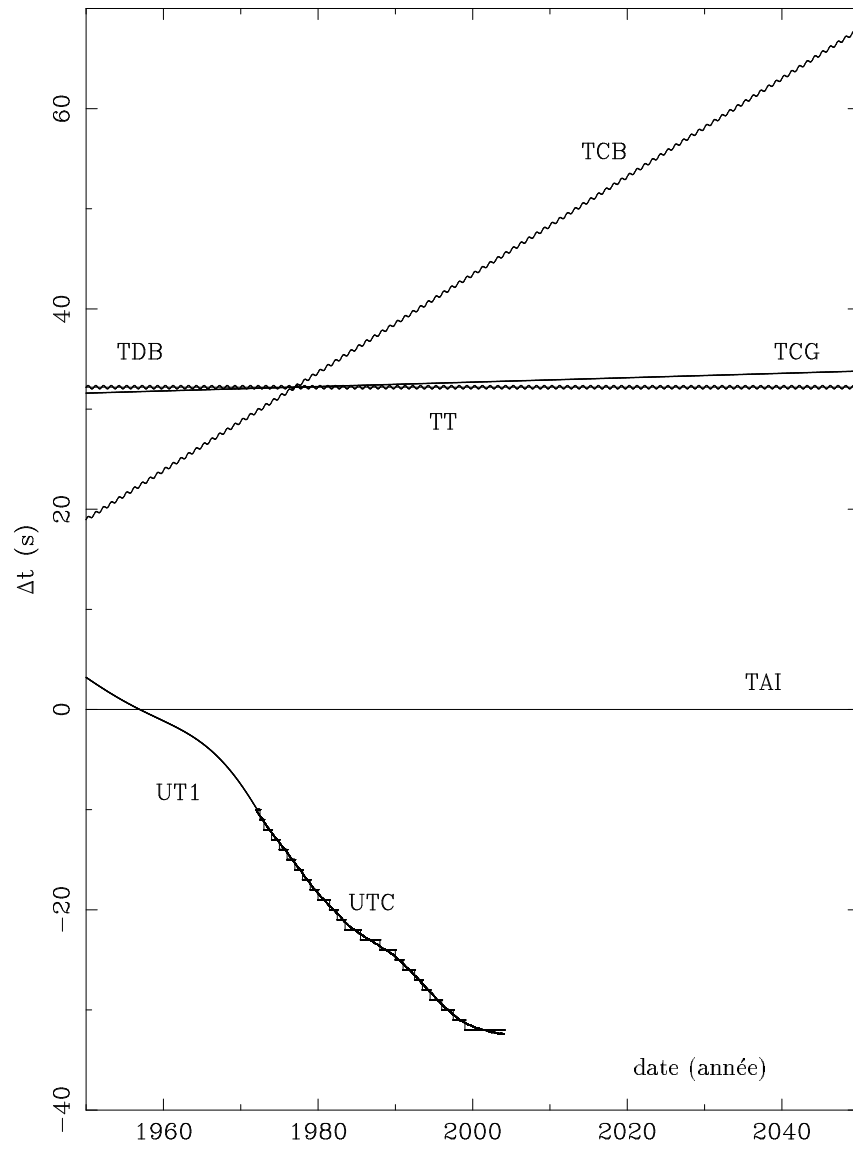


Fig. 8. – Différences entre les échelles de temps.  
Les termes périodiques de TDB et TCB sont amplifiés 100 fois  
dans les tracés graphiques.

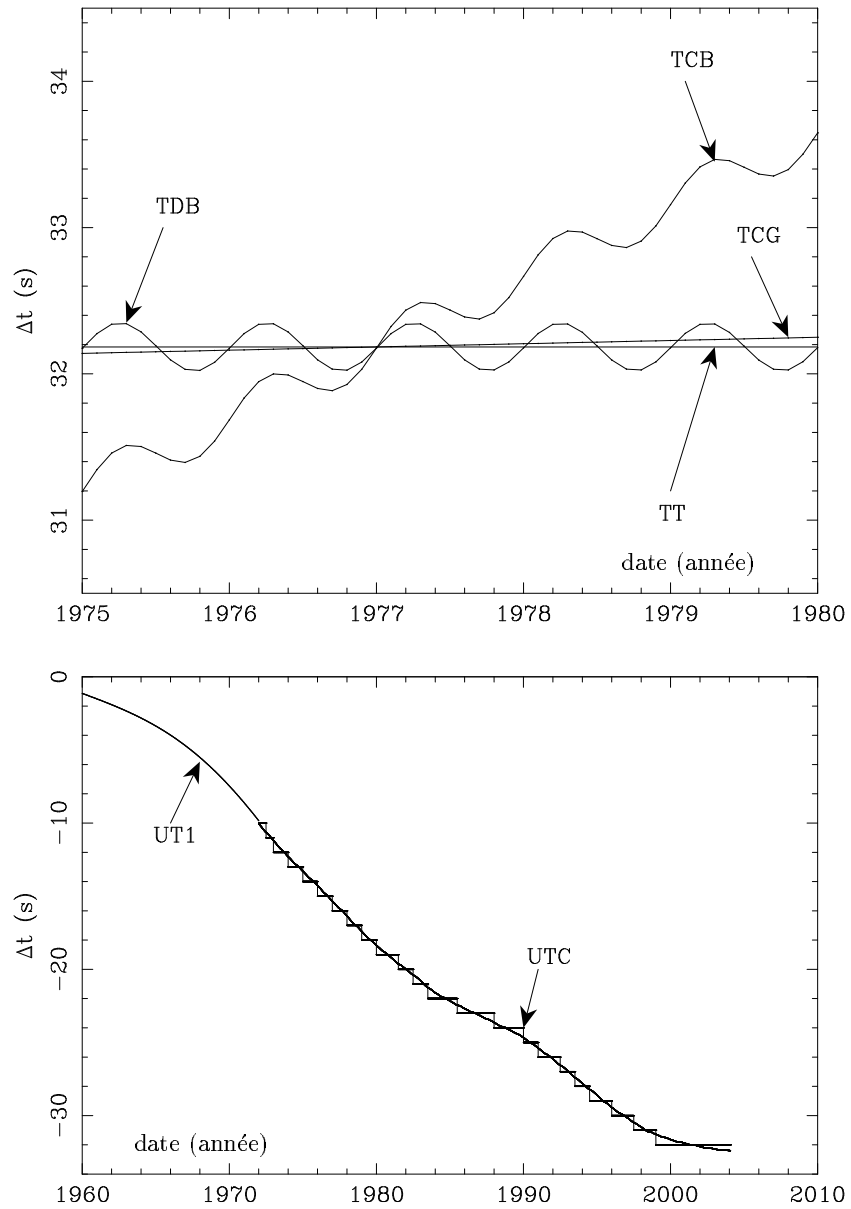


Fig. 9. – Différences en secondes par rapport au TAI.



le TE, depuis le 1 janvier 1977, a reçu le nom de Temps terrestre, TT. En 2005, on a approximativement  $TT - UTC = 64.2\text{ s}$ . C'est cette valeur qui a été utilisée pour les calculs de cette édition de l'Annuaire. La figure 8 donne sous forme graphique les différences des échelles de temps par rapport au TAI. La figure 9 montre deux extraits détaillés ;

le *Temps dynamique barycentrique* TDB est une échelle de temps-coordonnée recommandée par l'UAI en 1976 pour les éphémérides et les théories dynamiques rapportées au barycentre du système solaire. TDB diffère du temps terrestre TT par des termes périodiques et des termes de Poisson. En 1991, l'UAI a recommandé de remplacer TDB par le *temps coordonnée barycentrique* TCB.

### L'HEURE EN FRANCE

Selon la loi du 9 mars 1911, en vigueur jusqu'en 1978, l'heure légale en France était « l'heure temps moyen de Paris retardée de 9 m 21 s ». Dans la terminologie actuelle, cela signifiait que l'heure en France était pratiquement le Temps universel UT.

La loi de 1911 a été remplacée par un décret du 9 août 1978 qui stipule que « le temps légal est obtenu en ajoutant ou en retranchant un nombre entier d'heures au Temps universel coordonné. Un décret fixe ce nombre pour chaque partie du territoire de la République française en fonction des fuseaux horaires. Il peut l'accroître ou le diminuer pendant une partie de l'année. . . ».

Ce nouveau décret prévoit donc l'usage de l'heure d'été, apparue pour la première fois en 1916, comme cela a été précisé par le décret du 17 octobre 1979 qui fournit aussi l'heure légale de l'ensemble des territoires français.

On trouvera ci-après un tableau qui donne la correspondance entre l'heure légale métropolitaine et UT (ou UTC).

*Remarque.* — Dans la portion du territoire français occupée par les troupes allemandes (à partir du 9 mai 1940) la correction au Temps universel a été de 2 heures jusqu'au 2 novembre 1942 à 1 h UT (les horloges marquaient alors 3 h), date à laquelle la correction a été ramenée à 1 heure (les horloges ayant été portées à 2 h). Depuis cette date jusqu'à la fin de l'occupation allemande, les changements du temps en usage parus au *Journal Officiel* étaient valables pour toute la France.

L'époque à laquelle le temps en usage en zone occupée a été avancé de 2 heures a varié suivant les localités : par exemple à Paris, le 14 juin 1940 à 22 h UT, les horloges qui marquaient à ce moment 23 h ont été portées à 24 h (*Bulletin Municipal Officiel* du 15 juin 1940).

# HORLOGES pour l'amateur

- Les Horloges atomiques via un réseau de communication
  - L'horloge parlante
  - NTP Tardis, Dimension 4 and SNTP via Internet
  - Les émetteurs ondes longues DCF77, Allouis, MSF
  - GPS
- Les Horloges à Quartz
- L'horloge interne du PC
- Les Montres

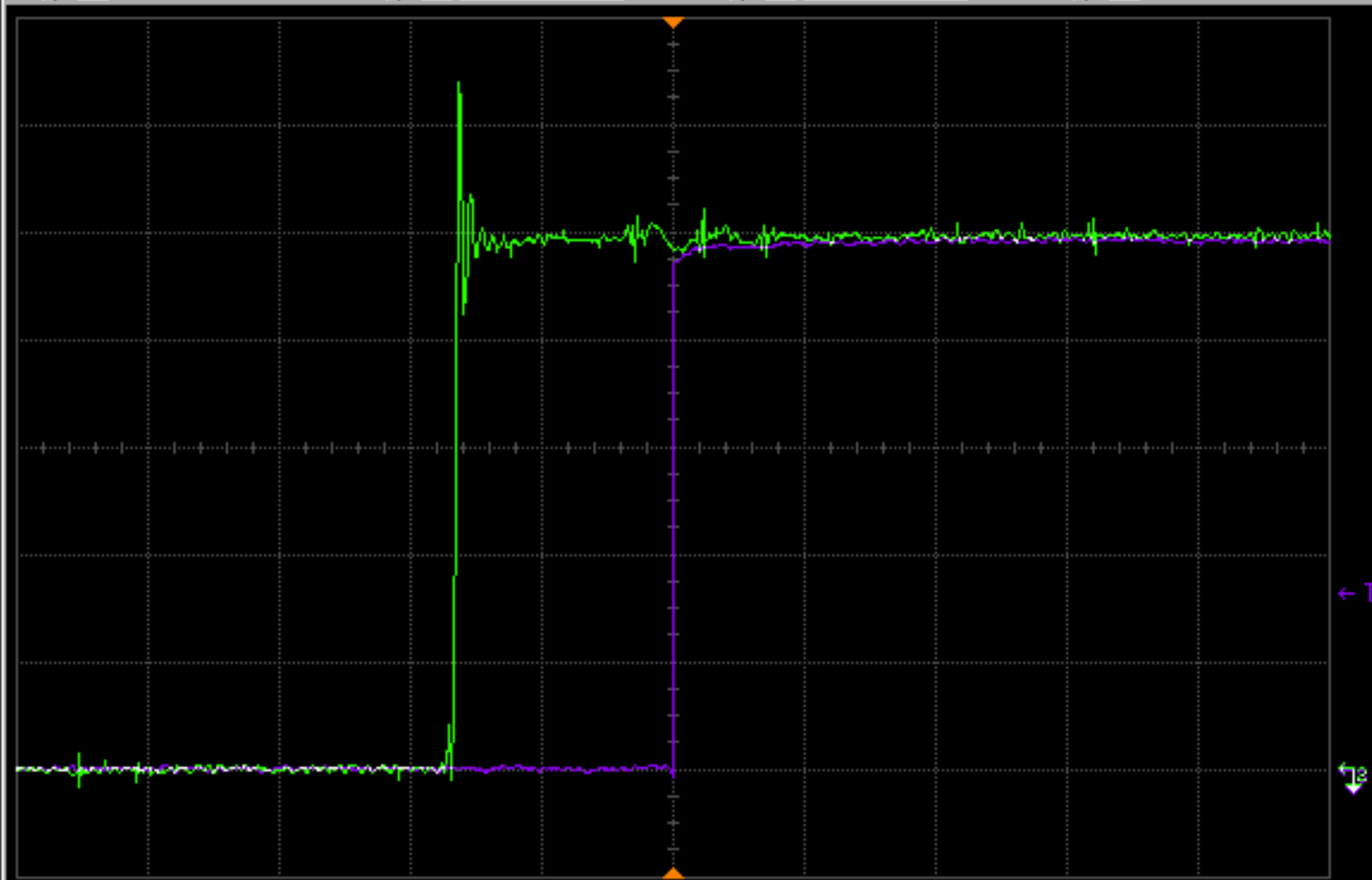
# ENREGISTREUR d 'EVENEMENTS TEMPORELS

- **ELECTRONIQUE** pilotée par un quartz standard du commerce
- **MEMOIRE** 2 Moctet , pas d'échantillonnage de 60µsec
- **DUREE** Enregistrement 125 sec, déclenchement manuel
- **OCTET**
  - bit0 PPS du GPS
  - bit1 DCF77 / Neol
  - bit2 NMEA
  - bit3 Signal à mesurer
  - bit4 à 7 1Hz, 10Hz, 100Hz, 1KHz générés par division du quartz interne
- **RESULTATS** : horloge DCF77 Neol , retard moyen 45.6msec ( rms 6msec)
- horloge quartz, donnée pour 1MHz, mesurée 1MHz - 5.76Hz
- en attente, horloge parlante, France-Inter

Acquisition is stopped.

100 MSa/s

1 On 2 On 1.00 V/div 3 On 1.00 V/div 4 On



H 1.00  $\mu$ s/div % ~ 0.0 s T 1.65 V

# HORLOGE PARLANTE

- **Avantages:**

- Horloge atomique UTC ( OP ) Temps Français
- Très simple
- Interface acoustique ( 1KHz )

- **Inconvénients:**

- Nécessite un accès filaire au téléphone
- Réseau GSM précision plus faible ?
- La communication est limitée dans le temps
- Peut-être occupée !

- **Précision :**

- A l'émission 10msec , < 50 msec sur le territoire national

# Conclusions:

- Le PC ne peut générer l'heure
- L'utilisation du PC doit se limiter à l'enregistrement des événements
- Le GPS est la source la plus précise
- C'est le choix de l'Eventaude
- <http://www.astrosurf.com/aude/eventaude/index.html>

# EventAude (1/4)

*Pages écrites par Nicolas et Guy Détienne*



# **Occultation Stereoscopia**



ASTEROIDAL OCCULTATION - REPORT FORM

```

+-----+-----+
|          EAON          | |          IOTA/ES          | |
|          |          | |          INTERNATIONAL OCULTATION          |
|          EUROPEAN ASTEROIDAL          | |          TIMING ASSOCIATION          |
|          OCCULTATION NETWORK          | |          EUROPEAN SECTION          |
+-----+-----+

```

1 DATE: 23/03/04 STAR:TYC 4970-01009-1 ASTEROID:STEREOSKOPIA N°: 566

2 OBSERVER: Name:Bernard Christophe, Jean-Marie Vugnion Abbr: CHR  
 Phone:33 344 81 17 26  
 E-mail: bchristo@club-internet.fr  
 Address: 7 rue de la Vallée 60340 Saint Sulpice

3 OBSERVING STATION: Nearest city: Saint Sulpice (close to Beauvais)  
 Station: UAI 947  
 Latitude: 49°21'04" (WGS84)  
 Longitude: 2°07'22"East (WGS84)  
 Altitude: 105m (read on a map)  
 Datum (WGS84 preferred):

Single, OR Double or Multiple station (Specify observer's name):  
 Double, refer to the attached report from Club Eclipse

```

4 TIMING OF EVENTS:      +-----+
|          |          | |          |
|          OCCULTATION RECORDED: POSITIVE          |
|          |          | |          |
+-----+

```

Type of event Occultation  
 Start observation Interrupt-start Disappearance Blink Flash  
 End observation Interrupt-end Reappearance Other  
 (specify)

					Comments
Event Code	Time (UT)	P.E.	Acc.		
	HH MM SS.ss	S.ss	S.ss		
S	- 02 45 57.434-	-	0.001:		
-	-	-	:		
D	- 02 46 44.780-	-	0.020:		
R	- 02 46 56.500-	-	0.020:		
-	-	-	:		
E	- 02 48 07.474-	-	0.001:		

Duration : 11.72  
 Mid-event : 02 46 50.64

Was your reaction time applied to the above timings?  
 No reaction time due to purely electronic recording process.

5 TELESCOPE: Type: Newton Aperture: 0.60m Magnification: 3.360m  
 Focal length  
 Mount:Eq Berceau Motor drive: yes

6 TIMING & RECORDING:

Time source: PPS from GPS  
Sensor: KAF 401e Audine Ethernauade  
Recording: CCD drive in drift scan mode with test read CCD software  
at 20ms rate  
Time insertion (specify): from PPS through ethernaude drive 0.001s  
accuracy  
Event insertion (specify):

7 OBSERVING CONDITIONS:

Atmospheric transparency: good Wind: fair Temperature: around 3°C  
Star image stability: 3 arcsec Minor planet visible: yes

8 ADDITIONAL COMMENTS:

The Signal on Noise Ratio is 6. the image and XLS files are  
available on request.

A second team from Club Eclipse recorded the event. The two  
telescopes were 3m apart